

점군 절단 알고리즘

박형태*, 장민호**, 박상철***

Slicing a Point Cloud

Hyeong T. Park*, Min H. Chang** and Sang C. Park***

ABSTRACT

Presented in the paper is an algorithm to generate a section curve by slicing a point cloud which may include tens of thousands of points. Although there are couple of previous results, they are very sensitive on the density variations and local noising points. In the paper, three technological requirements are identified; 1) dominant point sampling, 2) avoiding local vibration, and 3) robustness on the density changes. To satisfy these requirements, we propose a new slicing algorithm which is based on a node-circle diagram. The algorithm has been implemented and tested with various examples.

Key words : Slicing, Point cloud, Reverse engineering, Rapid prototyping

1. 서 론

측정 기술은 프로브를 형상에 접촉하여 측정하는 접촉식 측정에서 광학을 이용한 비접촉 측정으로 이

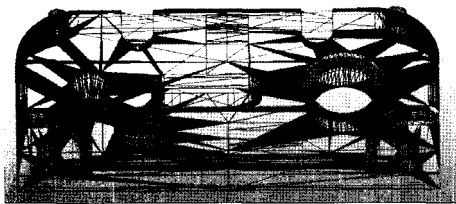


Fig. 1(a). CAD model of a part.

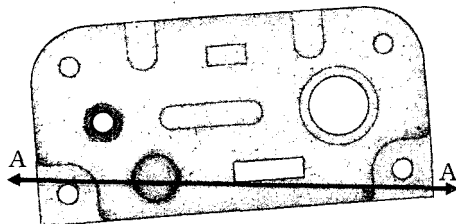


Fig. 1(b). Measured Point Cloud.

동하는 과정에 있으며 기존의 방식보다 측정의 용이성 및 정확도 면에서 향상되고 있다. 높은 정밀도를 이용해 생산된 파트로부터 측정된 Fig. 1(b)과 같은 3차원 점 데이터와 원래 캐드 모델(Fig. 1(a))과의 비교를 통하여 보다 정밀한 고품질의 제품 생산을 가능하게 하였다. 또한 생산된 제품의 측정을 통해 반대로 캐드 모델을 생성하는 Reverse Engineering^[1,2]과 이 과정을 통해 파트 형상의 prototype을 빠르게 보여주는 Rapid Prototyping^[3]을 가능하게 함으로써 제품 개발의 노력과 시간을 단축시킬 수 있게 되었다.

이런 관점에서 주목받고 있는 비접촉 광학 측정에 의해 생성된 점 데이터를 처리하는 과정에 관한 것이 본 논문의 범위이다.

이와 같은 광학 측정 장치에 의해 얻어진 형상의 점 데이터를 처리하는 분야에 관한 다양한 이슈가 존재하며 그 중 점군의 임의 절단면의 계산 및 도시는 점군으로부터 특정 부분의 형상 정보를 파악하는 관점에서 중요한 의미를 가지고 있다. 그 방법으로 절단면을 도식하기 위해 형상을 무수한 삼각형으로 표현하는 Triangulation^[4-6], 혹은 평면으로 나타내는 Surface Reconstruction^[7] 같은 전 처리 과정 후에 각 삼각형 혹은 평면과 절단 평면과 교차하는 직선을 나타내는 방법을 생각해 볼 수 있다. 그러나 Triangulation 혹은 Surface Reconstruction 과정 자체가 과도한 계산 과정을 필요로 하며 또 그 결과도 불완전한 것이

*학생회원, 아주대 산업정보시스템공학부

**중신회원, (주)솔루션닉스

***교신저자, 중신회원, 아주대 산업정보시스템공학부

- 논문투고일 : 2006. 08. 08

- 심사완료일 : 2007. 03. 22

사실이다¹⁾. 따라서 임의 형상의 점 데이터에 대해 그 절단면을 나타내기에는 무리가 있다.

본 논문은 앞서 언급한 전 처리 과정을 배제한 측정된 점군에서 임의의 절단면을 직접 계산 및 도식하는 효율적이고 강력한 알고리즘을 도출하는 것에 그 목적을 둔다.

2. 기존 연구

본 장에서는 점군으로부터 임의 절단면을 직접 도식하는 기본적인 알고리즘과 Sun¹⁸⁾이 제시한 알고리즘을 살펴보자.

한편, 점군 절단 시 절단 방향은 최종 절단 커브의 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 즉, 점군의 길이 방향과 절단 평면 근처에서의 기하학적 형상의 특성에 따라 결과 차이가 크게 나타날 수 있다는 것이다. 또한 측정 기구의 Resolution에 따라 다른 점 밀도를 가진 점군이 생성되며 이는 일정한 절단 공차의 평면으로 점단 커브를 생성할 때, 일관된 결과가 주어지지 않는다는 것을 의미한다.

따라서 점군의 절단 방향이나 점 밀도에 따라 다른 절단 공차에 기인한 다양한 결과가 도출되는 것이 사실이며 본 논문에서는 이러한 요소들이 입력으로 주어진다 고 가정한다.

2.1 기본적인 절단면 도식 알고리즘

우리는 점군으로부터 절단면을 도식하는 다음과 같은 상식적이며 기본적인 알고리즘을 생각해 볼 수 있다(Fig. 2).

알고리즘의 첫 번째 단계로, 절단 평면에서 사용자 입력 거리안의 공차 공간에 놓인 점들을 추출한다.

둘째, 추출된 점을 절단 평면에 projection시킨다.

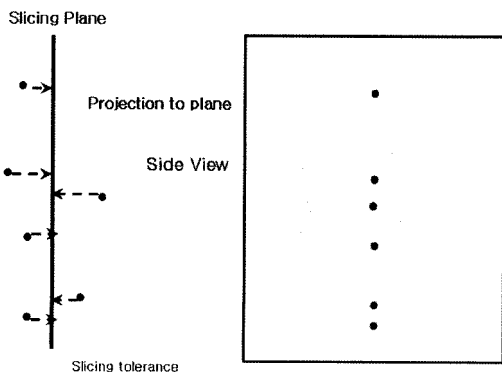


Fig. 2. Basic slicing algorithm.

셋째, projection시킨 점들을 가까운 순서대로 연결한다.

앞서 Fig. 1(b)의 점군에 대해 기본 알고리즘을 적용하여 절단면 A-A를 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다.

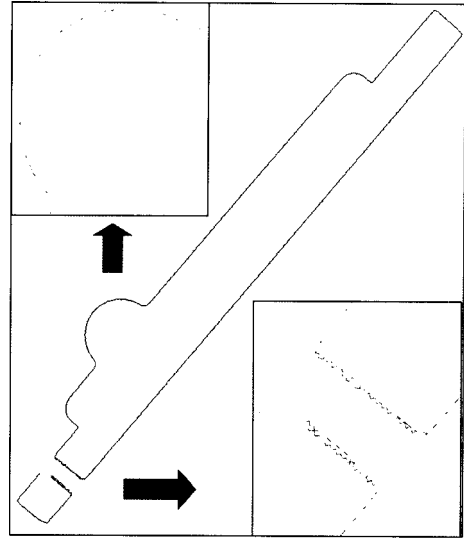


Fig. 3. Slicing result of Basic algorithm.

결과에서 볼 수 있듯 절단면이 비교적 잘 나온 부분과 그렇지 못한 부분이 있다. 이것은 점 밀도 차이에 기인한다. 점 밀도가 높은 부분의 경우 많은 점들이 projection되고 그 점들을 연결하는 커브는 지그재그 형태의 떨림을 보여준다. 따라서 우리는 많은 점이 추출된 부분에서는 절단면에 점을 선택적으로 반영할 필요성을 느낀다. 과도하게 추출된 점을 모두 반영할 경우 Fig. 3과 같이 떨리는 형태의 커브로 나타날 것이기 때문에 많은 점들 중에서 형상 정보를 잘 반영하는 좋은 점을 선택적으로 연결할 필요가 있는 것이다. 반대로 점이 드물게 추출될 경우 물론 좋은 점 우선으로 연결하다가 점이 거의 없을 경우엔 좋은 점이 아니더라도 연결하여 절단 커브가 끊이지 않도록 해야 할 것이다.

2.2 Point-pair intersection 알고리즘

Sun¹⁸⁾은 다음 알고리즘을 제시한다. 그것의 첫 단계로, 절단 평면의 앞, 뒤로 사용자 지정의 작은 공차 공간을 주어 그 공간 안에 놓이는 점을 추출한다. 두 번째 단계로 Fig. 4에 보이는 것처럼 임의의 점과 반대편에 있는 점 중에서 가장 가까운 짝을 찾는다. 그리고 그 두 점을 연결한 선과 절단 평면과의 교점을 구한다. 이런 식으로 모든 점에 대해 그 짝을 구한 후

절단 평면과 교점을 구한다. 마지막 단계로 구해진 교점들을 가까운 순서대로 연결한다.

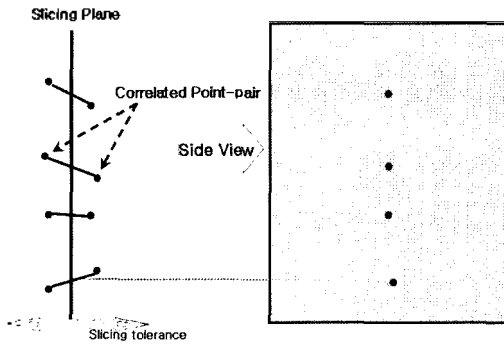


Fig. 4. Point-pair intersection algorithm.

Sun이 제안한 알고리즘의 경우 점 밀도가 조밀하고 비교적 간단한 형상의 예에는 잘 적용될지 모른다. 그러나 점군의 밀도는 모든 부분에 대해 조밀성과 균일성이 보장되지 않기 때문에 일반적인 알고리즘과는 거리가 있다. Sun의 알고리즘을 절단면 A-A에 적용했을 경우 Fig. 5(a)와에서 보는 것과 같이 반대편 공간에서 짝을 찾지 못한 점이 엉뚱한 곳에서 짝을 이루거나 혹은 Fig. 5(b)에서와 같이 절단 평면을 기준으로 양쪽 두 공간 중에서 한쪽 영역에만 점들이 편중돼 존재할 경우 짝이 없는 부분의 형상은 누락되어 의도되지 않는 커브를 절단면으로 나타내게 된다.

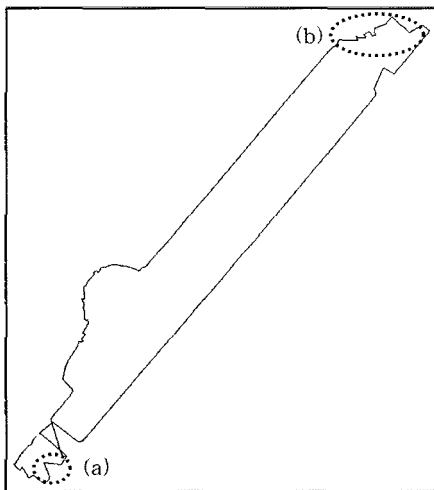


Fig. 5. Result of Point-Pair Intersection algorithm.

3. 새로운 알고리즘의 접근

우리는 기존 연구의 한계점에 대한 고찰과 문제의

본질적 특성을 유심히 관찰함으로써 새로운 알고리즘의 가능성을 찾아볼 수 있다. 절단면 계산 및 도식에서 제기되는 요구사항 및 문제점을 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 절단 평면과 교차하는 점군의 점은 절단면의 계산 및 도식에 매우 부족하다. 때문에 사용자 입력의 허용공차 안의 점들을 추출하며 이때 절단면 계산 시 보다 정확한 절단면을 구하기 위해 절단 평면에서 가까운 점을 더 영향력 있는 점으로 반영해야 한다.

둘째, 절단면은 부드러운 곡선 형태로 나타내어져야 한다. 원래 형상이 지그재그 형태일 수도 있으나 곡선이나 직선으로 나타내어질 부분에서는 Fig. 3과 같은 떨리는 커브가 아닌 매끄러운 곡선이어야 한다. 따라서 특정 부분에서 점 밀도가 높아 많은 점이 추출될 경우 조건없이 아무 점을 추적함으로써 커브가 떨리는 것을 지양하고 첫째 조건인 가까운 점 위주로 추적 하는 동시에 부드러운 방향성 추적의 제약 조건을 가져야 할 것이다.

셋째, 형상에 따라 또는 형상의 특정 부분에 따라 다른 점 밀도에 대해 강건하게 절단면을 도식할 수 있어야 한다. Fig. 3의 기본 알고리즘은 점 밀도가 조밀한 부분에서 지그재그 형태로 절단면이 나왔으며 Fig. 5의 Pair-link 알고리즘에서는 점 밀도가 낮은 부분에서 짝을 찾지 못한 점이 다수 생기면서 절단 형상이 생략되고 있다. 따라서 제안되는 알고리즘은 이런 다양한 점 밀도에서도 밀관되게 절단면을 도출해 낼 수 있어야 할 것이다.

앞서 언급한 기존 알고리즘의 한계점 및 새로운 알고리즘의 요구사항을 만족하기 위해 우리는 두 가지 설계 변수를 생각할 수 있다.

첫째, 절단 평면과의 거리에 따라 각 점에 가중치를 부여 한다. 절단 평면과 임의의 점과의 거리가 가까울수록 절단면 도식에 큰 영향력을 주도록 하여 보다 정확한 절단 커브의 도출을 가능하게 한다.

둘째, 각 점을 중심으로 하며 사용자가 입력 한 절단 공차를 반지름으로 하는 구를 정의한다. 그리고 구와 절단 평면과의 교원들을 도식한다. 여기서 도식된 원들이 서로 교차하면 교차되는 모든 원을 하나의 그룹으로 하고 각 원들의 중심과 중심을 잇는 Node map을 만든다. 이렇게 형성된 Node-circle diagram의 한 그룹에서 가중치가 높은 점 위주, 또 절단 커브가 떨림이 나지 않는 우선순위로 추적하여 절단면을 구한다.

모든 점은 Node-circle로 인해 연결 돼 있음으로 점

밀도가 낮은 부분에서는 절단 커브가 끊기는 것을 막을 수 있고 점이 조밀한 부분에서는 절단 커브가 떨어지지 않도록 절단 커브의 점을 선택적으로 추적할 수 있다. 따라서 다양한 점 밀도에 대해 강건성(Robustness)을 확보할 수 있다.

본 장의 요약이자 논문의 핵심은 Fig. 6과 같으며 알고리즘의 보다 상세한 설명은 다음 장에 이어진다.

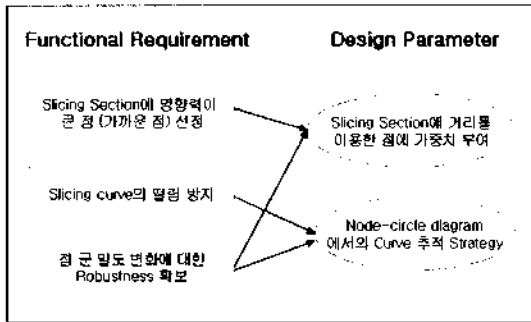


Fig. 6. Design parameter for new algorithm.

4. 새로운 알고리즘의 도출

앞서 언급한 문제점을 보완하기 위한 Design Parameter로 제시하는 Node-Circle diagram의 설계 순서는 다음과 같다.

Node-Circle Algorithm

// 입력 : 점 데이터, 절단 평면, 절단 공차.

// 출력 : 절단면을 나타내는 커브.

- Step 1) 절단평면, 사용자 지정 절단 공차 = 2δ
- Step 2) 절단평면과 공차 안에 놓인 점들의 추출.
- Step 3) 반지름 = δ , 각 점이 중심인 구 형성
- Step 4) 각 구와 절단 평면과의 교원 도시.
- Step 5) 서로 연결된 Circle group 지정
- Step 6) For(각 Circle group에 대해서...)
 - Step 6-1) group의 초기 원 선택.
 - Step 6-2) 가중치가 큰 원을 따라 매끄러운 방향의 커브 추적.
 - Step 6-3) 변수에 커브 저장.
- Step 7) 각 group에서 산출된 커브를 연결.
- Step 8) 최종 절단면을 나타내는 커브 출력.

아래 Fig. 7은 Step 1에서 Step 4까지 과정을 나타낸다.

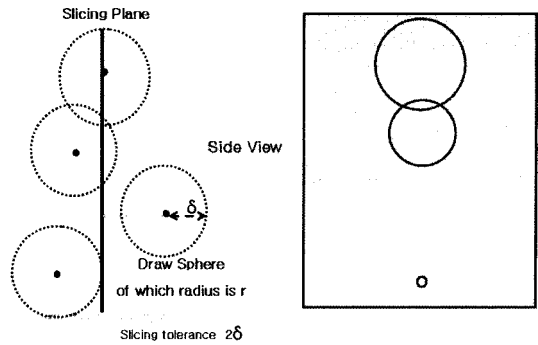


Fig. 7. Sphere depend on the distance.

여기서 Step 4를 나타내는 Fig. 7의 오른쪽 그림을 보면 각 원의 크기는 점과 절단 평면과의 거리를 반영한다. 즉, 절단평면에서 거리가 가까운 점(좀 더 정확한 형상 정보를 지닌 점)일수록 교원의 반지름은 크다.

교원을 도시한 후 서로 연결된 원들끼리 하나의 group으로 지정하는 단계가 Step 5이며 Fig. 8은 그런 두 개의 Circle group을 예로 보여준다. Fig. 8(a)는 여러 원으로 구성된 하나의 그룹이며 Fig. 8(b)는 단 두 개의 원으로 구성된 그룹이다.

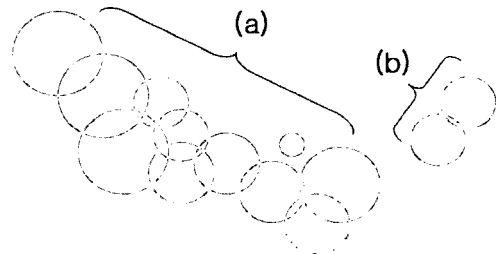


Fig. 8. Making circle groups.

한 절단평면에는 복수개의 Circle group이 형성될 것이며 각 그룹에서는 Step 6의 과정을 통해 커브를 생성한다. Step 6의 첫 번째 과정은 Fig. 9에 보이는 것처럼 한 Circle group에서 절단 커브를 추적하기 초기 시작 원을 정하는 것이다.

초기 시작 원은 Group에 속한 원들의 중심에서 가장 멀리 떨어져 있으면서 동시에 하나의 노드를 가진 원이 되어야 한다. 그리고 그 노드의 방향은 자신이 속한 Circle Group의 중심 방향을 향해야 한다.

여기서 Circle Group의 중심은 모든 원의 중심의 평균 위치이며 초기 시작 원의 노드와 중심 방향과의 각의 차이가 90° 이내일 경우 초기 시작 원으로 채택하였다(Fig. 9).



Fig. 9. Select initial circle of a group.

다음은 초기원에서 영향력이 큰 원 위주(가까운 원)로, 비슷한 크기의 원일 경우 매끄러운 커브를 나타내는 기준으로 원의 중심들을 잇는 노드를 따라 추적한다. 여기서 반지름 차이가 0.005 mm 이내일 경우 비슷한 원으로 정의하였으며 매끄러운 커브 방향은 이전 노드와 새로운 노드가 될 후보 노드와의 각도 차이가 180에 가까울수록 매끄러운 커브라고 규정하는 법칙으로 노드 추적을 수행 하였다. 이렇게 하여 도출된 커브는 Fig. 10의 아래와 같다.

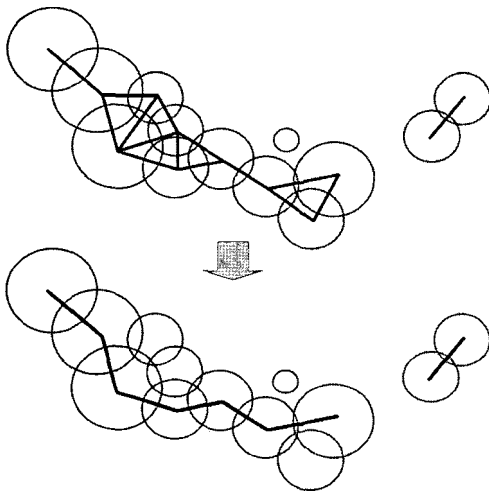


Fig. 10. Node-circle diagram.

마지막으로 Step 7은 각 Circle group에서 산출된 커브의 양 끝을 가장 가까운 다른 커브의 끝점과 연결한다.

5. 알고리즘 결과

Node-circle 알고리즘의 결과는 Fig. 11과 같다. 기

존 연구에서 살펴본 두 가지 알고리즘과 달리 점 밀도가 다른 부분들에 대해서 일관적으로 매끈한 절단면을 나타내 주고 있다. 점 밀도가 높은 부분에 대해서는 좀 더 형상을 잘 반영하는 좋은 점을 선택적으로 연결 하여 절단 커브의 떨림을 방지하고 있으며, 밀도가 낮은 부분의 경우 weight가 낮은 점이라도 연결하여 형상의 절단면이 누락되지 않고 표현되고 있다. 곡선 부분 역시 앞의 알고리즘 보다 부드럽게 나타나고 있다.

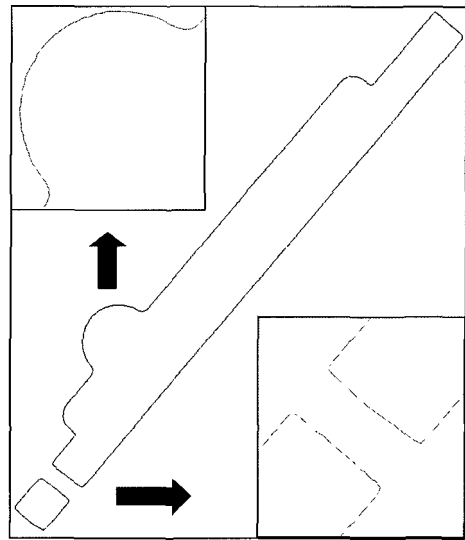


Fig. 11. Node-circle algorithm.

6. 결 론

본 연구는 3차원 비접촉 광학 측정기에 의해 측정된 점 데이터의 처리에 관한 연구로써 측정된 점군에서 Triangulation이나 Surface Reconstruction 같은 복잡하고 비효율적인 계산 과정을 거치지 않고 직접 절단면을 도시하는 효율적인 알고리즘을 제시한다. 나타내어질 절단면은 원래의 형상에 매우 근접해야 되지만 점군의 특성상 임의의 절단 평면과 만나는 점의 개수는 소수에 불과하다. 따라서 절단면과 일정 공차 안에 존재하는 점들로써 절단면을 최대한 정확하게 나타내는 것이 본 연구의 목적이다.

점군의 범위에 따라 다른 점 밀도 차이를 극복하기 위해 각 점을 중심으로 하는 일정 크기의 구를 형성하고 구와 절단 평면과의 교원을 도시하는 Node-circle diagram을 나타낸다. 점이 밀집된 부분에서는 점과 절단 평면과의 거리에 따라 할당된 가중치가 큰 원을 따라 가는 매끄러운 절단 커브를 추적하고 점이 드문 부

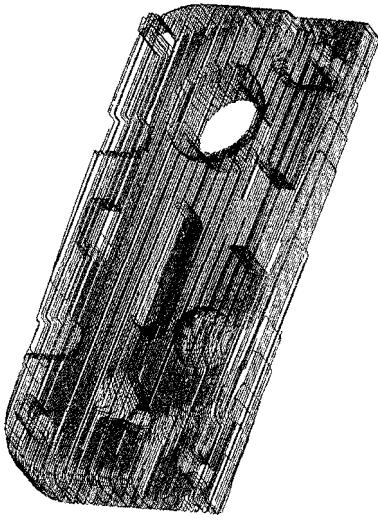


Fig. 12. Sliced sections of multiple layers.

분에서는 Node-circle의 연결 고리에 의해 절단커브가 끊이기 않게 표현되도록 한다.

Fig. 12는 점군을 절단하는 하나의 절단 평면이 아닌 형상 전체에 걸쳐 무수한 절단 평면에 의해 절단된 단면들을 보여 준다.

한편, 앞서 언급했듯 점군 절단 시 절단 방향과 특정 부분 형상의 고려는 본 논문에서 미리 주어진 입력으로 간주 하였으나 점군을 둘러싸는 최소의 직육면체를 정의하여 그 길이 방향으로 절단 방향을 설정하는 방법들을 고려하여 자동화하는 방법, 점군 전체를 Triangulation하지 않고 절단 평면 근처의 점군만을 local하게 Triangulation하여 절단 커브를 도출하는 방법, 그리고 도출된 절단 커브가 실제의 점군과 얼마나 정확하게 반영하는 가를 측정하는 방법들에 대한 언

구는 본 논문의 다음 과제가 될 것이다.

참고문헌

1. Varady, T., Martin, R. R. and Cox, J., "Reverse Engineering of Geometric Models", *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 255-268, 1997.
2. Li, L., Schemenauer, N. and Peng, X., "A Reverse Engineering System for Rapid Manufacturing of Complex Objects", *Robotics Comput Integre Manufact.* Vol. 18, No. 1, pp. 53-67, 2002.
3. Yan, X. and Gu, P., "A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 4, pp. 307-318, 1996.
4. Cignoni, P., Montani, C. and Scopigno, R., "A Fast Divide and Conquer Delaunay Triangulation Algorithm in E.", *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 5, pp. 333-341, 1998.
5. Chen, Y. H., Ng, C. T. and Wang, Y. Z., "Generation of an STL File from 3D Measurement Data with User-controlled Data Reduction", *Int. J. Adv. Manufact Technol.*, Vol. 15, No. 2, pp. 127-131, 1999.
6. Lee, S. H., Kim, H. C., Hur, S. M. and Yang, D. Y., "STL File Generation from Measured Point Data by Segmentation and Delaunay Triangulation", *CAD*, Vol. 34, No. 10, pp. 691-704, 2002.
7. Hoppe, H., Derosc, T., Duchamp, T. and McDonald, J., "Surface Reconstruction from Unorganized Points", *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2, pp. 71-76 1992.
8. Sun, Y., Guo, D., Jia, Z. and Liu, W., "B-spline Surface Reconstruction and Direct Slicing from Point Clouds", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 27, pp. 918-924, 2006.
9. Shin, H. Y., Park, S. Y. and Park, E. J., "Direct Slicing of a Point Set Model for Rapid Prototyping", *Proceeding of CAD04*, 2004.



박 형태

2005년 8월 아주대학교 산업공학과 학사
2005년 9월 -현재 아주대학교 석사 과정
관심분야: CAD/CAM, FMS, PLC



장 민 호

1991년 서울대학교 기계설계학과 학사
1993년 미국 MIT 기계공학과 석사
1996년 미국 MIT 기계공학과 박사
1996년~2001년 KIST CAD/CAM연구센터 선임연구원
2001년~현재 (주)솔루신닉스 연구소장
관심분야: CAD/CAM, Design, Reverse Engineering, Digital Inspection



박 상 철

1994년 KAIST 산업공학과 학사
1996년 KAIST 산업공학과 석사
2000년 KAIST 산업공학과 박사
2001년~2004년 미국 DaimlerChrysler FTM research engineer
2004년~현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부 교수
관심분야: CAD/CAM, Virtual Manufacturing System, Discrete Event System Modeling & Simulation