

STL 메쉬를 이용한 자유곡면의 레이저 측정경로 생성 연구

손석배*(광주과학기술원 대학원 기전공학과), 김승만(광주과학기술원 대학원 기전공학과), 이관행(광주과학기술원 기전공학과)

STL mesh based laser scan planning system for complex freeform surfaces

Seokbae Son*(Graduate School, Dept. of Mechatronics, K-JIST), Seungman Kim(Graduate School, Dept. of Mechatronics, K-JIST) and Kwan H. Lee(Dept. of Mechatronics, K-JIST)

ABSTRACT

Laser scanners are getting used more and more in reverse engineering and inspection. For CNC-driven laser scanners, it is important to automate the scanning operations to improve the accuracy of capture point data and to reduce scanning time in industry. However, there are few research works on laser scan planning system. In addition, it is difficult to directly analyze multi-patched freeform models. In this paper, we propose an STL (Stereolithography) mesh based laser scan planning system for complex freeform surfaces. The scan planning system consists of three steps and it is assumed that the CAD model of the part exists. Firstly, the surface model is approximated into STL meshes. From the mesh model, normal vector of each node point is estimated. Second, scan directions and regions are determined through the *region growing* method. Also, scan paths are generated by calculating the minimum-bounding rectangle of points that can be scanned in each scan direction. Finally, the generated scan directions and paths are validated by checking optical constraints and the collision between the laser probe and the part to be scanned.

Key Words : Laser scanning(레이저 측정), STL mesh(STL 메쉬), Scan planning(측정 계획), Region growing(영역확장)

1. 서론

전산역설계(reverse engineering) 기술은 실제 파트를 측정을 통해서 점데이터를 얻고, 이로부터 3차원 CAD 모델을 재생성 하는 일련의 기술을 의미한다. 최근 복잡한 자유곡면에 대한 수요가 늘어나면서 전산역설계 기술은 보편적으로 이용되는 기술로 자리잡아가고 있다. 전산역설계 기술은 크게 측정, 점데이터 처리, 모델링으로 구성되며, 정확한 모델 생성을 위해서는 특히 최초 데이터 획득 과정인 측정이 중요하다고 하겠다. 또한 전산역설계 기술은 측정데이터에 기반을 두고 있으므로 제품의 형상검사와도 밀접한 관계가 있어, 높은 정밀도를 갖는 패속 제품 개발의 핵심이 된다^[1].

이와 같은 전산역설계와 형상검사(inspection)를 위해서 다양한 종류의 측정기가 사용되고 있다. 전통적으로 접촉식 측정 장비인 CMM(Coordinate Measuring Machine)이 널리 사용되었으며, 최근 자유

곡면의 측정에 있어 3 차원 레이저 스캐너와 같은 비접촉 측정 장비가 많이 보급되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 자유곡면의 STL 메쉬를 이용한 레이저 측정 계획 생성 시스템을 개발하였다. STL 메쉬는 현재 패속 조형 시스템의 사실상 표준으로 사용되고 있는 포맷으로 기본적으로 삼각형망의 노드와 법선벡터로 구성되어 있다. 본 논문에서는 측정대상물의 CAD 모델이 존재한다고 가정하였으며, 실제 제품검사를 위한 측정에서는 대부분 CAD 모델이 존재한다. 개발된 측정계획 생성 시스템은 크게 세 부분으로 구성된다. 첫째, 자유곡면으로 구성된 CAD 모델을 근사하여 STL 메쉬를 생성한다. 생성된 STL 메쉬에서 측정할 부분을 선택하고, 각 삼각형 노드에 대한 법선벡터를 구한다. 둘째, 추출된 점데이터와 법선벡터 정보에 영역확장 방법을 적용하여 측정방향과 각 방향에 대한 영역을 구한다. 이 과정에서 측정장비에 대한 파라미터를 고려

하게 된다. 마지막으로, 생성된 측정방향에 대해서 측정경로를 생성하고, 솔리드 모델을 이용하여 충돌 및 광학적 제약 조건들을 검증하게 된다.

2. 레이저 측정시스템

본 연구에 사용된 레이저 스캐너의 개략도를 다음 Fig. 1 에 보였다. 본 레이저 스캐너는 3 축 CNC 에 의해서 구동되며, 15mm 길이의 stripe 타입의 레이저를 파트에 조사하고, 두개의 CCD 카메라에 의해서 영상을 획득한다. 영상데이터를 이미지 처리한 후 삼각법을 적용하여 최종적으로 3 차원 점데이터를 얻게 된다.

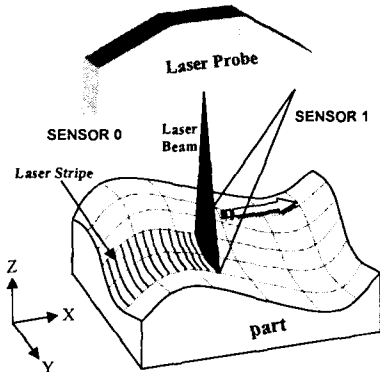


Fig. 1 Laser scanning system

곡면위의 한 점이 레이저 스캐너로 측정되기 위해서는 다음과 같은 조건들을 만족하여야 한다^[2].

- (1) View angle 조건: 측정점의 곡면 법선 벡터와 레이저광이 이루는 각도가 일정 값 이하이어야 한다.
- (2) Field of view (FOV) 조건: 측정점이 레이저 stripe 안에 존재해야 한다.
- (3) Depth of view (DOV) 조건: 측정점이 광원으로 부터 일정한 거리 범위 안에 존재해야 한다.
- (4) Occlusion-free 조건: 입사광과 반사광이 파트 등에 의해 가려지지 않아야 한다.
- (5) 파트와 프로브가 충돌하지 않아야 한다

3. STL 메쉬로부터 곡면상의 점 샘플링

3.1 STL 메쉬의 구조

STL 메쉬는 쾌속조형 장비에 사용되는 표준 파일 포맷이며 Fig. 2 와 같은 구조를 가지고 있다. Fig. 2 는 육면체에 대한 STL 모델 생성 예를 보여주고 있다. STL 은 특성상 위상정보를 가지고 있지 않고, 단지 모델을 이루는 삼각형의 꼭지점과 법선벡터 정보만을 가지고 있다. 꼭지점 정보가 반복적으로 나타나기 때문에 삼각형의 수에 따라서 모델의 크기가 아주 커지는 특징이 있다. 하지만 그 구조가 간단하고 사람이 읽을 수 있어 널리 이용되고 있다.

```

solid ascii
facet normal 1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000
outer loop
vertex 2.675427e+001 3.231609e-001 5.080000e+001
vertex 2.675427e+001 -2.215139e-001 5.080000e+001
vertex 2.675427e+001 -2.215139e-001 0.000000e+000
endloop
endfacet
facet normal 1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000
outer loop
vertex 2.675427e+001 -2.215139e-001 0.000000e+000
vertex 2.675427e+001 3.231609e-001 0.000000e+000
vertex 2.675427e+001 3.231609e-001 5.080000e+001
endloop
endfacet
endsolid
    
```

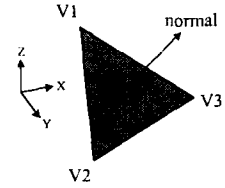


Fig. 2 STL file format

3.2 STL 메쉬 생성

STL 파일의 포맷이 정해져 있다고 하더라도 STL 메쉬를 생성하는 방법은 정해져 있지 않다. 그러므로 각 CAD 소프트웨어마다 다른 파라미터를 이용하여 STL 파일을 생성하며, 그 결과도 서로 다르다. Fig. 3 에 하나의 자유곡면에 대해서 같은 공차 (0.01mm)를 주고 생성한 STL 모델을 보였다. 예에서 보듯이 생성된 삼각형의 수와 형상은 서로 다를 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 3(c)와 같이 곡면의 곡률을 반영하는 방식을 선택하였다.

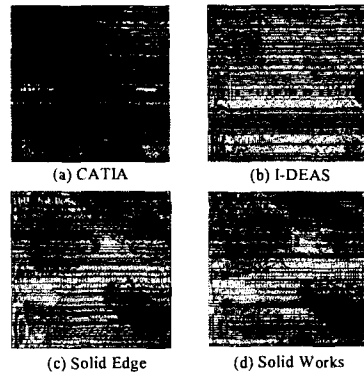


Fig. 3 Example of STL file generation

3.3 꼭지점의 법선벡터 계산

STL 메쉬가 생성된 다음에는 먼저 측정할 영역을 선택하여야 한다. 그리고 선택된 영역에 대해서 꼭지점에 대한 법선벡터를 계산해주어야 한다. STL 메쉬의 경우 삼각형에 대한 법선벡터는 존재하지만 각 꼭지점에 대한 법선벡터는 존재하지 않으므로 주변의 삼각형으로부터 근사하여 얻는다(Fig. 4).

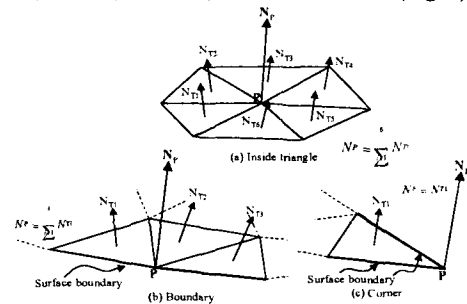


Fig. 4 Normal vector estimation

3.4 꼭지점의 법선벡터 계산 결과

다음의 Fig. 5는 STL 메쉬 모델 생성 및 법선벡터 계산의 예를 보여주고 있다.

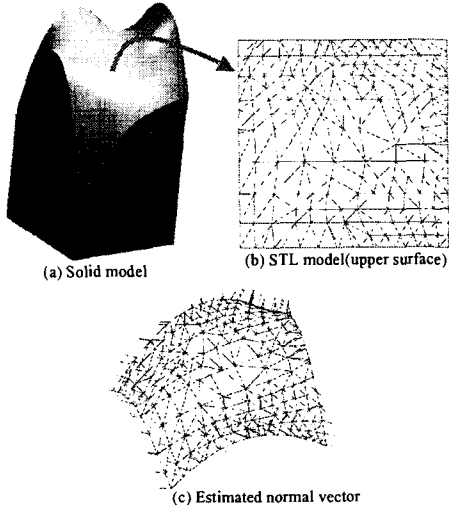


Fig. 5 STL mesh generation of test part

4. 측정계획 생성 및 제약조건 검증

4.1 측정계획 생성을 위한 흐름도

STL 메쉬로부터 측정영역과 각 노드에 대한 법선벡터 계산이 끝나면 Fig. 5와 같은 순서에 따라서 측정계획을 수립하게 된다. 자세한 내용은 다음 절에서 설명하도록 하겠다.

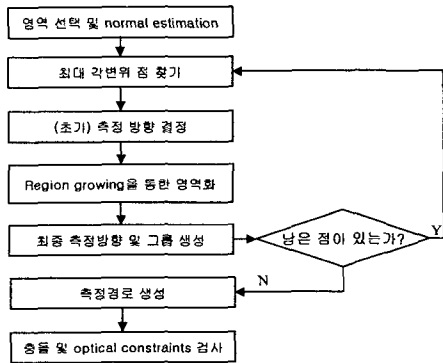


Fig. 6 Flowchart of scan plan generation

4.2 측정방향 및 경로 생성

4.2.1 Critical points 계산

측정방향 및 영역의 결정을 위해서는 먼저 Fig. 5(c)와 같은 꼭지점과 법선벡터 정보로부터 critical points를 찾아야 한다. Critical points는 전체 꼭지점들 가운데서 법선벡터 간의 각 변위가 가장 큰 두 점이 된다(Fig. 7). Critical points를 시작으로 전체 점데이터를 탐색하여 같은 방향에서 측정할 수 있는 영역들을 구한다.

는 영역들을 구한다.

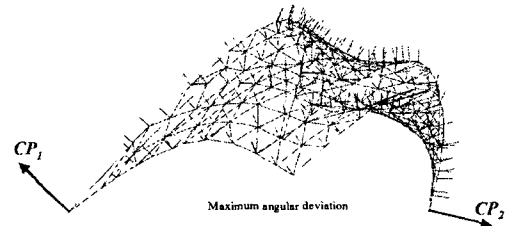


Fig. 7 Finding critical points (CP_1 and CP_2)

4.2.2 영역 확장에 의한 측정방향 결정

측정방향을 구하기 위해서 앞 절에서 구한 critical points를 이용한다. 두개의 critical points를 중심으로 view angle 만큼 영역을 확장하여 초기 측정영역 및 측정방향을 구한다(Fig. 8). 다음으로 초기 측정방향을 시작으로 점차적으로 영역을 확장하게 되는데, 최초에 사용하는 작은 view angle 보다 작은 값을 사용하며, 최종적으로 view angle과 같아지면 영역확장이 종료된다. 이 과정에서 critical points는 각 영역에 항상 포함되어야 한다. 영역확장이 종료된 후 점들이 남아 있다면, 이 점들만을 대상으로 반복적으로 위의 알고리즘을 적용한다.

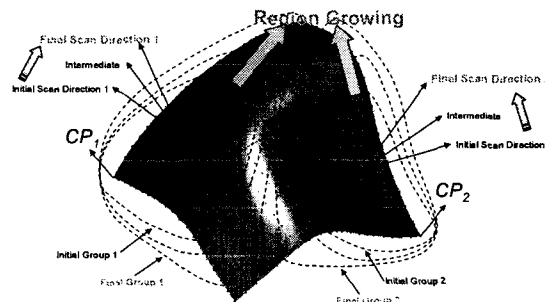


Fig. 8 Region growing process

4.2.3 측정 경로 생성

측정방향이 구해지면 이 방향에 맞게 실제로 레이저 프로브를 이동시키는데 필요한 경로를 생성한다. 먼저 대상점들을 측정방향을 따라서 평면에 투영하고, 최소 바운딩 사각형을 구한다. 다음으로 바운딩 사각형을 레이저 길이로 나누고, 나누어진 각각의 사각형에서 경로의 시작점과 끝점을 계산한다(Fig. 9). 최종적으로 2차원 정보를 3차원으로 변환한다.

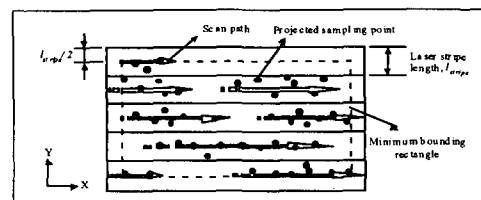


Fig. 9 Scan path generation

4.3 충돌 및 가림현상 검사

지금까지 측정계획을 생성하는 일련의 과정에 대해서 설명하였다. 다음으로는 이렇게 생성된 측정계획이 실제로 장비에 다운로드 되어 충돌이나 가림이 없는 지를 검증하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위해서 프로브와 대상파트를 솔리드로 모델링하였고, 프로브가 측정경로를 따라서 움직이면서 실시간으로 측정가능성을 분석하였다. 가림현상 검증을 위해서 지름이 작은 실린더 형상을 프로브에 추가한 것이 특징이다.

5. 실험결과

실험을 위하여 Fig. 10 과 같은 팬 모델을 이용하였다. 그리고 소프트웨어 모듈은 SolidEdge 의 API 와 Visual Basic 을 사용하여 개발하였다. 여러 개의 곡면 가운데 3 개를 선택하여 실험에 이용하였다.

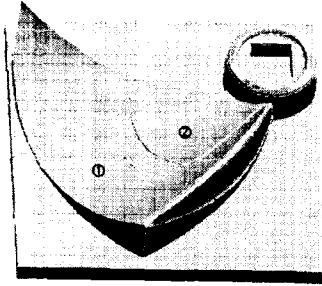


Fig. 10 A fan model

위의 팬 모델로부터 STL 모델을 생성하고, 대상부분을 선택한 후 해당영역에 대해서 점들의 법선벡터를 계산하였다.

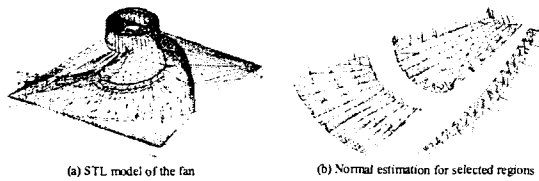


Fig. 11 STL model generation of fan model

다음 단계로는 영역확장 방법을 이용하여 측정방향과 각 방향별 영역을 계산하였다. Fig. 12 에서 보듯이 점 모양과 십자 모양으로 방향을 구분하였으며, 측정방향은 벡터 형태로 보였다.

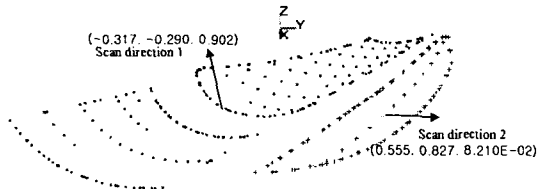


Fig. 12 Result of scan direction generation

Fig. 13 은 측정방향 1 에 대해서 측정경로를 생성

한 결과이다. 이 측정경로는 충돌 검사나 실제 측정기 구동을 위해서 사용된다.

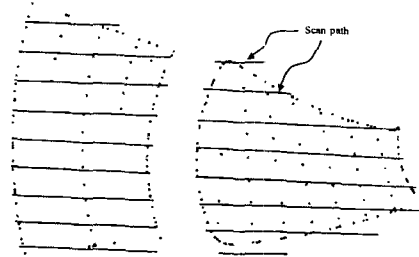


Fig. 13 Result of scan path generation for scan direction 1

마지막으로 Fig. 14 는 충돌 및 가림현상 검증과정을 보여주고 있고, 각각의 측정경로를 따라서 이루어진다. 이러한 과정을 거친 후 측정계획은 실제 측정에 이용될 수 있다.

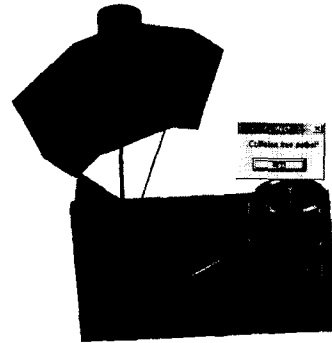


Fig. 14 Collision and occlusion checking

5. 결론

본 연구에서는 자유형상 파트의 STL 매쉬를 이용한 레이저 스캐너 측정계획 생성 시스템을 개발하였다. 제안된 방법에서는 3 차원 기하정보를 직접적으로 이용하는 방법보다는 매쉬라는 단순화된 모델을 이용함으로써 시스템을 계산 시간을 줄이고 사용자의 이해를 높였다. 또한 솔리드 모델을 이용한 프로브와 파트의 충돌 및 가림현상을 검증함으로써 사용자가 사전에 일어날 수 있는 문제를 알 수 있고, 이를 바탕으로 오류가 없는 측정계획을 만들 수 있는 특징이 있다.

참고문헌

1. T. Várady, R. R. Martin and J. Cox, "Reverse engineering of geometric models — an introduction", *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 255-268, 1997
2. Seokbae Son, Hyunpung Park, and Kwan H. Lee, "Automated Laser Scanning System for Reverse Engineering and Inspection", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, No. 8, pp. 889-897, 2002