韓國精密工學會 2001年度 春季學術大會論文集 pp.41~44 KSPE 01S010

폴리곤 기반 역공학 시스템의 후처리 기능에 관한 연구

박진표*, 박광현, 최영 (중앙대학교 기계공학부), 전용태, 노형민 **(KIST CAD/CAM)**

A study on the post-processing functions in a polygon-based reverse engineering system

Jin Pyo Park *, Kwang Hyun Park, Young Choi (Chungang Univ), Yongtae Jun, Hyung-Min Rho (KIST)

ABSTRACT

In reverse engineering, the whole surfaces of the three-dimensional (3D) product are measured using 3D positional scanners. The raw triangle meshes constructed from a scanned point set are not well suited for direct use in the downstream activities This is because the amount of triangle meshes may be very large (from millions to hundreds of millions) and usually distorted by scanning error. Furthermore, the triangle meshes may contain several holes that must be filled. Thus, several solutions have to be addressed and implemented before a complete CAD models can be acquired.

This paper discusses on the algorithms of decimation, smoothing, and hole-filling that are crucial to refine the triangle meshes. Several examples are also given and discussed to validate the system.

Key Words · Reverse Engineering(역공학), Decimation(데이터 감소), Smoothing(스무딩), Hole-filling (구멍메움)

1. 서론

최근 자동차, 가전, 전자, 항공 등 거의 모든 제조관련 분야에 걸쳐서 역설계 기술이 널리 사용되고 있다. 역설계란 이미 기존에 있는 제품으로부터 3 차원 측정을 통하여 측정 데이터를 얻은 후 이로부터 신속하게 CAD 모델을 생성하는 기술이다.

이러한 역설계 기술을 이용하여 모델링 작업을 수행하는 데에는 많은 문제들을 내포하고 있다. 우선 광학 레이저 스캐너로부터 점 데이터를 얻는 과정에 있어서 측정 데이터의 누락이나 측정 에러, 또는 필요 이상으로 많은 데이터 측점으로 인하여 모델링 능률 저하를 생각할 수 있고 registering /merging 같은 서로 다른 이미지를 합치는 과정에서의 에러도 예측할 수 있다 이렇듯 점 데이터 만으로 물체를 모델링 한 후에 생길 수 있는 여러 문제들을 보정하기 위해서는 여러 종류의 후처리 작업이 필요하게 된다.

우선 초기 생성한 방대한 메쉬의 크기를 줄여줌으로써 작업수행능력을 향상시키기 위한 단계와 초기 보정 되지 않은 모델링 객체의 측정에러 및 registering/merging 후에 생기는 에러에 대한 smoothing 과정이 요구된다 또한, 측정 장비나 측정환경 또는 삼각화 과정의 영향으로 인해 발생하는 누락 데이터에 대한 메쉬 재생성 과정 등도 필요하다.

이번 연구에서는 인체의 흉상 데이터를 측정하여 3 차원 모델링 작업을 수행하는 데 있어 필요한 후처리 기능 중 decimation, smoothing, hole-filling 에 대해 기술한다

2. Decimation

2.1 관련연구

역설계 과정에서 프로세스의 효율성을 증대 시키기 위해 데이터의 크기를 줄이는 방법들 중에서 메쉬의 삼각 데이터를 줄이는 방법 중 대표적인 연구는 Schroeder[1]가 제안한 decimation 이다 이 방법은 우선 국부적인 메쉬 형상 정보에 기반해서 vertex 를 분류하고, 특정한 decimation 을 위한 조건을 만족하게 되면 그 vertex 를 사용하는 모든 삼각 데이터와 그에 해당하는 모든 vertex 를 지우므로서 데이터의 양을 줄인다. 이로 인해 생긴 빈 영역은 local triangulation 을 형성함으로써 다시 채워지게 된다. 이 과정은 원래 메쉬에서 퍼센트 비율을 이용한 제거나 decimation 정도치의 최대값을 주는 termination condition 이 만족할 때까지 vertex 제거 과정을 반복하게 된다. 그러나 이 방법은 삼각화

알고리즘을 재사용한다는 점에서 프로세스에 부담으로 작용하게 되고 전역적 위상정보를 고려하지 않고 국부적인 위상정보만을 유지하면서 메쉬를 간략화 함으로 결과적으로 생성된 메쉬의 질이 떨어질 수 있다

Vertex 를 기반으로 한 surface tiling 방법을 제시한 Turk[2]는 축소하고자 하는 vertex 의 수만큼 후보 vertex 를 메쉬 위에 골고루 배분한 후 최초 메쉬에 충실한 축소된 메쉬를 구하였으며, Luebke[4]는 Hierarchical dynamic simplification (HDS) 알고리즘을 제안하였다. HDS 알고리즘은 빠른 간략화 속도를 나타내나 메쉬의 형태에 영향을 덜 주는 vertex 가 영향을 더 주는 vertex 보다 나중에 간략화 되는 경우가 생기게 되서 메쉬 질의 저하를 예상할 수 있게 된다.

2.2 알고리즘 구현과 실행 예

본 연구에서는 데이터의 크기를 줄이는 연구 중 삼각화 과정을 재사용 하지 않고 적은 비용으로 기하학 데이터를 제거해주고 곡률을 고려함으로써 메쉬의 형태가 초기 형태와 유사한 H. Hoppe[3]의 연구를 적용하였다. Hoppe 의 이론은 Edge collapse 과정을 통해서 모델의 메쉬를 줄여주는 것이다.

즉, Fig. 1 과 같이 두개의 점 데이터 u, v 가 선택되고 그 중 하나를 다른 vertex 로 'collapsed'시켜주고 원하는 폴리곤의 수만큼 줄일 때까지 반복하게 된다. 이 과정에 있어서 에지를 collapse 한 후에 생성된 면의 orientation 이 바뀌거나 aspect ratio 가 나빌 수가 있다. 이렇듯 모델의 원래의 이미지에서 최소의 변형을 가져오기 위해서는 collapse 할 에지를 선택하는 방법이 중요하다.

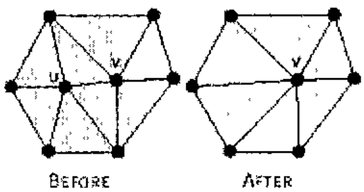

Fig 1 Edge collapse decimation [3]

곡률이 큰 영역은 많은 삼각 메쉬들을 포함해야 하고 상대적으로 평활한 영역은 적은 수의 메쉬로 표현할 수 있다는 점을 생각해 볼 수 있다. 따라서, 에지의 길이에 곡률텀을 곱한 값을 기준으로 하면 이웃 하는 vertex 가 멀면 멀수록 또는 곡률이 크면 클수록 cost 값이 증가하게 하였다. 모든 에지에 대해 리스트를 만들어서 우선 작은 cost 값을 가지는 에지를 반복적으로 collapse 를 하게 되면 원하는 만큼의 데이터를 줄일 수 있다.

Fig. 2 는 원래 데이터를 보여주며, Fig 3 과 Fig 4 는 원래 데이터의 70% 와 10%만을 남기고 메쉬를 줄인 결과를 각각 보여주고 있다 Cost 값을 기준으로 원래의 형상에 영향을 미치지 않는 에지를 우선적으로 제거해주기 때문에 데이터를 줄인 후에도 기존의 형상이 보존됨을 볼 수 있다.


Fig. 2 Original polygons

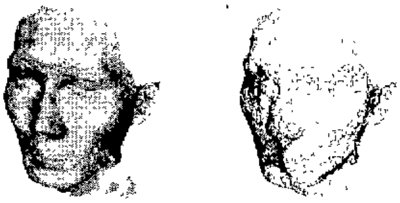
Fig 3 Face model showing 70% of original polygons

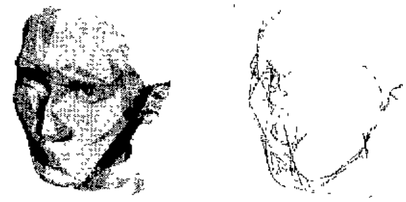
Fig. 4 Face model showing 10% of original polygons

3. Smoothing

3.1 관련연구

메쉬 데이터로부터 노이즈나 데이터의 진동(oscillation)을 제거하기 위한 smoothing 의 여러 방법들이 제시되고 있다.

Smoothing 의 가장 보편적인 접근 방법으로 Laplacian smoothing 이 있다. 이 방법은 메쉬의 각 vertex 를 주변 vertices 와의 평균을 나타내는 인수값의 차이만큼 반복적으로 이동시켜 준다. Laplacian smoothing 의 특징은 빠르고 간단하다는 점인데 이러한 단순함 때문에 많은 사람에 의해 수정된 연구가 진행되어지고 있다

Taubin[8]은 vertex 를 움직이기 위한 기준이 되는 인수값에 변형을 가해 두개의 인수로 계산을 해서 기존의 Laplacian smoothing 이 형상을 변형 수축시킨다는 단점을 보안하는 논문을 제시했다.

Laplacian smoothing 의 수정 연구 중 중대한 발

전은 평균 곡률을 이용한 방법이다. 이 방법은 모든 vertex 를 vertex 에서 평균 곡률의 근사치만큼 normal 방향으로 이동시켜준다. Normal 방향으로 이동시킴으로써 기존의 연구에 반해 mesh irregularity 를 증대 시키는 단점이 있는 반면에 원래의 데이터에서 형상의 변형을 막아주는 효과가 있다. 이러한 곡률을 이용한 smoothing 의 방법에서 많은 연구가 진행 중이고 본 연구에서 적용한 방법 역시 곡률을 이용하였다.

3.2 알고리즘 구현과 실행 예

본 연구에서 제시한 smoothing 방법은 S.Karbacjer 와 G.Hausler[10]에 의해 연구된 방법을 기반으로 적용하였다.

우선 sampling 값이 충분히 밀집되어서 인접 포인트들 사이의 곡면의 곡률 변위를 무시할 수 있다고 가정한다. 이 가정으로 기본적인 곡면은 circular arcs 의 메쉬로 근사화 되어질 수 있다. 이러한 가정은 normal 이나 곡률 같은 smoothing 에서 요구하는 계산에 모두 적용된다.

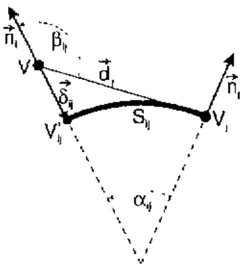

Fig. 5 Cross section S through a constantly curved surface. The position of vertex **V** is not measured correctly.

Fig 5 에서 **V** 는 측정된 에러 값이다. 여기서 위치 V_i'로 이동시키기 위한 δ값은 다음과 같이 구한다.

$$\delta_{ij} \approx d_{ij} \frac{\cos(\beta_{ij} - \frac{1}{2}\alpha_{ij})}{\cos(\frac{1}{2}\alpha_{ij})},$$

목적 vertex 의 주변 vertices 와의 사이에서 모두 δ값을 구한 후 근사모델로부터 V 의 변위를 최소화하기 위해서 δ값들의 평균을 구한다.

$$\Delta n \cong \frac{1}{2N}\sum_{i}^{N}\delta_{i}$$

여기서 N 은 V 의 주변 vertices 의 개수이다. Δn 이 영(zero)에 점차 수렴할 때까지 반복수행을 하게 되면 circular arc 근사로부터 모든 vertices 의 전체 오차를 줄일 수가 있다. 실제 수행에서는 적당 수렴 조건을 줘서 그 값까지 Smoothing 을 하도록 설계하였다. Fig. 6(a) 와 (b) 는 각각 원래의 형상과 스무딩 후의 형상을 보여준다.

Fig. 6 (a) Noisy image (b) Smoothed image

4. 구멍 메움 (hole filling)

4.1 개요

측정기를 통해 물체의 점 데이터를 얻을 경우 측정 대상의 형상변화나 측정환경의 영향 때문에 완벽한 데이터를 얻지 못한다. 이러한 현상은 대개의 경우 측정시의 대상물의 빛 반사나 측정대상의 concave(오목)한 부분의 측정이 불가능 하기 때문에 발생한다. 양질의 모델링을 위해서는 이러한 손실부분에 대해 유효한 삼각형 데이터 재생성 과정이 반드시 필요하다.

4.2 구멍 메우기 알고리즘과 실행 예

전체적인 과정은 먼저 데이터 손실부를 삼각 메쉬로 메우고 메워진 부위의 메쉬를 subdivision 하여, 최종적으로 앞에서 제시한 smoothing 을 적용함으로써 해결할 수 있다.

손실데이터가 포함된 데이터를 이용해 삼각화를 진행했을 경우, 손실 부위는 일정한 간격에 데이터가 손실되어 있는 갭(gap)의 형태와 형상 부분부분에 구멍(hole)이 뚫려 있는 형태, 두 가지로 나타난다 (Fig. 7). 손실 데이터 복구를 위해 가장 먼저 해야 할 일은 이와 같은 갭과 구멍을 그림과 같이 topological operation 을 통해 삼각 메쉬로 메우는 작업이다.

Fig. 7 Closing gaps and holes in triangle meshes

손실 부위에 새로이 생성된 삼각형 데이터를 subdivision 함으로써 손실 부위의 형상 복원을 기대할 수 있다. 본 연구에 적용한 subdivision 은 에지 split 을 통해 생성되는 새로운 점 데이터의 이상적

인 위치를 결정하는 과정을 반복하여 수행하였다.

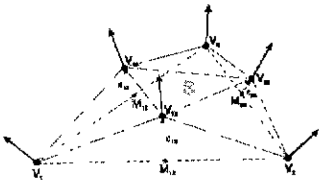

Fig. 8 Splitting triangle by subdivision

즉, Fig. 8 과 같이 먼저 삼각형의 각 에지의 가운데 점을 split 한다(M_{ij}). 이 과정을 통해 원래의 삼각형은 4 개로 쪼개진다. 다음으로 smoothing 에 사용한 circular arc interpolation 을 이용하여 새로이 생성한 에지의 가운데 점을 새로운 위치(V_{ij})로 옮긴다. 아래의 식과 같은 Cost Function(ε_{ij})을 이용해 위의 과정을 반복함으로써 실제 곡면과의 error 를 줄일 수 있다.

$$\varepsilon_{ij} = \| V_{ij} - M_{ij} \|$$

마지막으로 subdivision 을 통해 생성된 메쉬에 smoothing 과정을 적용하면 실제에 가까운 형상을 복원하게 된다. Fig. 9 는 먼저 hole 을 flat triangle 로 메우고 메워진 triangle 의 normal 을 subdivision 과 smoothing 작업을 반복하여 hole 들을 메운 결과를 보여준다.

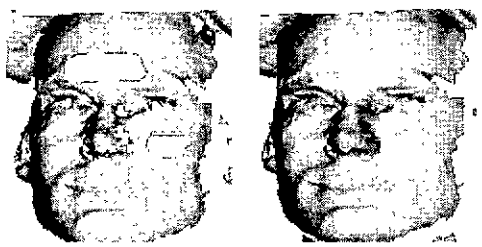

Fig. 9 Mesh with holes & hole-filling process

5. 결론

본 연구에서는 초기 메쉬를 생성한 후에 생기는 여러 문제점들을 수정하기 위해서 polygon reduction (decimation), smoothing, hole-filling 등의 후처리 기능의 알고리즘을 몇 가지 실행 예를 들어 검토/구현하였다. 데시메이션 기능은 edge collapse 개념을 도입하여 구현하였는데, 프로세스의 성능이 양호하였으며 기존의 형상을 유지시키는 데이터 감소를 적절히 수행할 수 있었다. 곡률 정보를 이용하여 전체 형상을 smoothing 하는 기능을 구현하여 에러 부분을 효율적으로 제거하였으며, 구현된 smoothing 기능과 subdivision 기능을 반복 적용하여 메쉬 정보내의 hole 들을 메우는 작업을 하였다 본 연구에서 적용한 알고리즘들은 초기 메쉬의 형상정보에서 적은 변형을 가져오면서도 비교적 빠른 프로세스의 성능을 보여주었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 기술개발용역사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. W.J.Schroeder, J.A. Zarge, W. E. Lorensen, "Decimation of Triangle Meshes", Computer Graphics Vol 26, pp. 65-70, July 1992
2. Turk, G., "Re-Tiling of poluygonal surfaces", Computer Graphics, Vol 26, pp. 55-64, July 1992
3. Hoppe, H, "Progressive Meshes", SIGGRAPH'96, pp.99-108
4. Luebke, D. and C. Erikson, "View-Dependant Simplification of Arbitrary Polygonal Environments", SIGGRAPH'97, pp.199-207
5. Stan Melax, "A simple, Fast, and Effective polygon reduction algorithm", Game Developer, 1998
6. 신창민, "곡률을 고려한 공간분할법에 의한 메쉬 간략화", 고려대학교, 1997
7. 공창환, 김창헌, "LOD Rendering 과 전송을 위한 Mesh 의 Multiresolution 표현", '98 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집 pp 17-182
8. G. Taubin, " A signal processing approach to fair surface design", In Computer Graphics (SIGGRAPHII 95 Processings), pp. 852-857, 1985
9. Yutaka Ohtake, Alexander G Belyaev, L A Bogaevski, "Polyhedral Surface Smoothing with Simultaneous Mesh Regularization", Geometric Modelling and Processing 2000, 2000
10. S Karbarcher, G. Hausler, "A new approach for modeling and smoothing of scattered 3D data", http://www. uni-erlangen de/osmin/haeusler/ people/sbk/sbk_home_e.htm
11. S. Karbarcher, S. Seeger, G. Hausler, "A non - linear Subdivision Scheme for Triangle Meshes", http://www unierlangen.de/osmin/haeusler/people/sbk/sbk_home_e.html