

메쉬 간략화를 통한 지형데이터의 가변 해상도 모델구축

유동윤^o, 마상백

한양대학교 전자계산학과

A Construction of Variable resolution model of terrain data by Mesh Simplification

Dong-Yun Yoo, Sang-Back Ma

Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문은 방대한 양의 데이터로 이루어진 삼각형 메쉬의 특성을 유지하면서 보다 적은 양의 데이터로 간략화된 메쉬를 생성해내는 기법을 제안한다. 메쉬 간략화는 기본적으로 에지 축약에 의해서 이루어지며, 에지 축약에 의해 발생하는 에리는 원본 메쉬의 질과 간략화된 메쉬의 평균 평면간의 거리를 사용하여 측정한다.

또한 본 논문에서 제안한 메쉬 간략화 기법을 사용하여 다단계의 해상도를 가지는 메쉬를 빠르게 구하기 위한 가변 해상도 모델을 구현한다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽 분야에서 다각형은 복잡한 물체를 표현하는 데 있어서 가장 널리 사용되는 그래픽 요소이다. 그 중에서도 삼각형은 여러 그래픽 하드웨어나 소프트웨어에서 기본적으로 지원되는 가장 기본적인 다각형이며, 삼각형을 이용하여 물체를 표현한 것은 삼각형 메쉬(triangle mesh)라고 한다.

복잡한 물체를 정밀하게 표현하기 위해 삼각형 메쉬를 사용할 경우 삼각형의 평면성으로 인해 방대한 양의 삼각형을 필요로 한다. 그러나 수 만개 혹은 수백 만개의 데이터를 포함하는 삼각형 메쉬를 직접 사용하는 것은 현재의 그래픽 시스템으로도 실시한 렌더링 처리에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 원본 메쉬의 특성을 유지하면서 보다 적은 양의 데이터를 이용하여 동일한 물체를 표현하는 메쉬 간략화에 대한 연구를 수행하며, 다단계 해상도의 메쉬 표현을 위하여 가변 해상도(variable resolution) 모델을 구축한다.

2. 메쉬 간략화

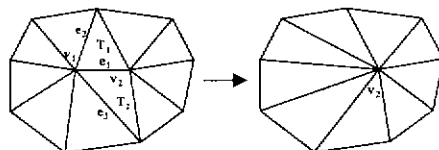
2.1 에지 축약

에지 축약(edge collapse)이란 한 에지에 연결된 두 개의 점을 하나의 점으로 합치는 것을 의미한다. [1],[2]에서는 에지 축약시 에리를 최소화할 수 있는 새로운 점을 구하여 두 개의 점을 한 점으로 이동시키는 기법을 사용하여 간략화 작업시 많은

양의 새로운 점을 생성하게 된다. 메쉬 간략화에서는 축약시에 기존의 점들은 제거됨으로 정보의 양이 증가하는 문제가 없으나, 가변 해상도 모델의 경우 간략화 과정에서 발생하는 모든 변화에 대한 정보를 유지하므로 새로운 점을 생성할 경우 정보의 양이 상당히 증가하게 된다.

본 논문에서는 이러한 정보의 증가를 줄이기 위해 [그림1]에서와 같이 새로운 점을 생성하지 않고 에리가 적은 방향으로 점 v_1 을 점 v_2 로 이동시키는 방법을 사용하였다.

한번의 에지 축약에 의하여 한 개의 점 v_1 , 두 개의 삼각형 T_1, T_2 와 세 개의 에지 e_1, e_2, e_3 가 제거되고 v_1 에 연결되어 있던 모든 에지는 v_2 에 연결되게 된다.



[그림 1] 에지 축약과 재구성

2.2 에리 측정 기법

본 논문에서는 원본 메쉬의 점들과 간략화된 메쉬의 평균 평면과의 거리 차를 이용하는 지역적인 에리 측정 기법을 사용한

다.

[그림2]에서와 같이 제거된 점들은 간략화된 메쉬의 삼각형 각각에 포함된다. 이 점들과 축약에 의해 재분할된 삼각형들의 평균 평면과의 거리중 최대치가 에지 축약의 예러가 된다.

거리 측정 방법은 [3]에서 제인한 기법을 수정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\vec{N} = \sum \vec{n}_i, \quad \bar{x} = \frac{\sum \vec{x}_i A_i}{\sum A_i}$$

\vec{n}_i : 삼각형의 수직 벡터, \vec{N} : 삼각형들의 평균벡터

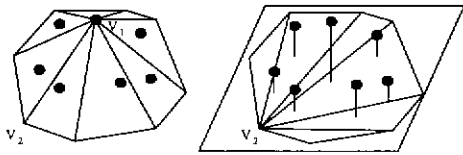
\vec{x}_i : 삼각형의 중심 벡터, \bar{x} : 삼각형들의 중심

A_i : 삼각형의 면적

이고 각 점에서 평면까지의 거리 d는

$$d = |\vec{N} \cdot (\vec{V} - \bar{x})|$$

이 된다.



[그림 2] 에지 축약 방법

2.3 전체적인 알고리즘

메쉬 간략화의 전체적인 수행과정은 다음과 같다

1. 집의 특성 계산.
2. 축약 가능한 에지 선택 및 정렬.
3. 에지 축약과 영역 재구성.

메쉬 간략화는 1에서 3까지의 단계를 원하는 수준의 간략화가 이루어질 때까지 반복하여 수행하며, 각 단계의 세부적인 처리 내용은 다음과 같다.

2.3.1 점의 특성

메쉬상의 점들은 [4]에서와 같이 경계(boundary), 모서리(peak), 능선(ridge) 혹은 평면(normal)의 특성중 하나를 갖는다. 이러한 특성은 축약 가능한 에지의 선택에 영향을 준다. 즉 모서리는 다른 집으로 축약시키지 않고, 경계와 능선은 각각 경계 또는 능선을 따라서만 축약이 이루어진다.

점의 특성은 그 점에 연결된 에지를 공유하는 두 개의 삼각형간의 수직 벡터를 비교하여 각의 차이가 특정값 이상인 경우 특정 에지라고 하고 이러한 에지의 수에 따라 특성을 결정한다. 따라서 위의 특정값에 따라서 간략화되는 정도의 차이가 나타나게 된다.

2.3.2 축약 가능한 에지 선택 및 정렬.

메쉬 간략화는 반복적인 에지 축약을 통해 이루어진다. 따라

서 축약할 에지를 선택하는 것은 매우 중요하다

에지의 선택은 첫째, 에지의 축약으로 인해 위상학적 오류가 발생하지 않아야 하며, 둘째, 한 점과 이웃하는 점들을 연결하는 에지 중에서 가장 짧은 에지를 선택한다는 두 가지 기준에 따라 이루어진다

선택된 에지에 대하여 축약 후에 발생하는 에러를 2.2에서 제시한 방식에 따라 계산하고 그 값에 따라 정렬한다.

2.3.3 에지 축약과 영역 재구성

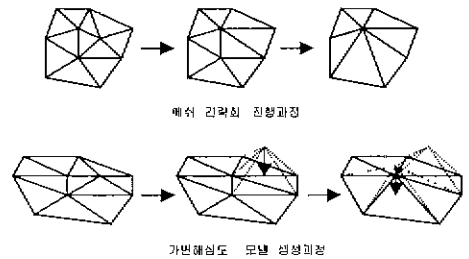
에지 축약이 수행되면 [그림 1]과 같이 영역이 재분할되며 다음의 3가지 과정을 거치게 된다. 첫째, 축약 전의 삼각형들에 포함된 모든 점들을 재분할된 삼각형들 각각에 재할당한다. 둘째, 변경된 영역의 경계 점들에 대한 특성을 재계산한다 셋째, 경계 점들에 대해서 축약 가능한 에지를 다시 선택한다 이러한 과정을 반복하면서 메쉬 간략화가 수행된다

3. 가변 해상도 모델

[5]에서 제시한 가변 해상도 모델이란 기하학적 정보를 유지하여 LOD(Level of Detail) 표현을 구하는 최근에 개발된 기법이다.

가변 해상도 모델은 간략화 과정중 메쉬상에 발생하는 위상학적인 변화에 대한 정보를 유지하는 계층적인 구조를 가지며, 검색을 통하여 원하는 해상도의 모델을 구할 수 있다.

또 하나의 특징으로 가변 해상도 모델은 보다 적은 양의 데이터로 시각적으로 차이가 없는 다단계 해상도 모델을 구할 수 있다.



[그림 3] 메쉬 간략화와 가변해상도 모델 생성 과정

3.1 가변 해상도 모델 구조

가변 해상도 모델은 한번의 간략화를 통하여 구축된다. 메쉬 간략화의 경우 [그림3]의 (가)와 같이 위상학적인 변화를 유지하지 않는데 반하여 가변 해상도 모델은 [그림 3]의 (나)에서와 같이 축약에 따른 변경된 위상학적 정보를 변경 전의 부분에 덧붙여 가는 계층적인 구조를 이룬다

3.2 가변 해상도 모델의 검색

가변 해상도 모델이 유지하는 모든 삼각형들은 각각 자신의

생성시 에러(birth error)와 소멸시 에러(dead error)값을 가지며, 모델의 검색은 원하는 수준의 에러 값이 생성시 에러와 소멸시 에러 사이에 위치하는 모든 삼각형을 찾는 과정이라고 할 수 있다. 다단계 해상도 모델은 에러 값을 위치에 따라 다르게 하여 구할 수 있다.

4. 실험 결과.

실험에는 U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey에서 제공하는 지형 데이터를 사용하였으며 Pentium PC에서 OpenGL 라이브러리를 사용하여 실험하였다.

[그림 5]는 [그림 4]를 약 81% 간략화시킨 결과이다. 결과에서 보여주듯이 [그림 5]는 [그림 4]의 특징을 여전히 유지하고 있음을 알 수 있다.

[표 1]은 [3]에서 제시한 방법과 본 논문에서 제시한 방법을 사용하여 메쉬 간략화를 수행한 후 [6]에서 제시한 에러 측정 방법을 이용하여 평균에러를 비교한 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 본 논문의 방법이 보다 적은 평균에러를 가지는 간략화된 메쉬를 만들어 낼 수 있었다.

[표 1] 평균 에러 비교

		간략화 비율/ 평균 거리차		
Devils lake, North Dakota	Error Metric	62%/7.78	70%/8.84	81%/10.78
	My Method	62%/6.71	70%/7.88	81%/9.62
Lovelock, Nevada	Error Metric	63%/9.62	70%/11.03	82%/13.27
	My Method	63%/8.66	70%/10.37	82%/13.30

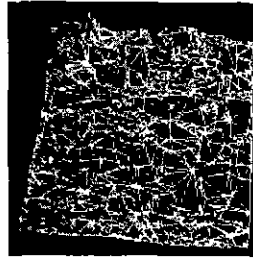
[그림 6]과 [그림 7]은 단순히 메쉬 간략화를 통하여 만들어진 메쉬결과와 본 논문에서 제시한 메쉬 간략화 기법을 이용하여 가변 해상도 모델을 구축한 결과를 보여준다. [그림 7]은 시점(view point)을 오른쪽 하단에 위치시킨 상태에서 구한 모델로서 [그림 7]의 오른쪽 하단 부분은 [그림 6]의 오른쪽 하단보다 많은 수의 삼각형으로 표현되었고, 왼쪽 상단으로 갈수록 적은 수의 삼각형으로 표현되었다.



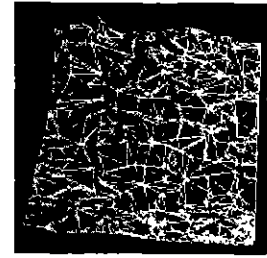
[그림 4] 원본 메쉬



[그림 5] 간략화된 메쉬



[그림 6] 단일 해상도 모델



[그림 7] 다단계 해상도 모델

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 원본 메쉬상의 점과 간략화된 메쉬상의 평균 평면과의 거리를 에리수준으로 보고 간략화하는 방법을 제시하였다. 실험 결과 제시한 방법이 동일한 간략화 수준에서 보다 낮은 평균 에러율을 나타냈다.

또한 가변 해상도 모델의 데이터 양을 줄이기 위하여 원본 메쉬의 점들만을 사용하였으나 간략화된 메쉬가 상당히 좋은 결과를 생성하였다.

향후 연구 과제로는 병렬 시스템 환경하에서 가변해상도 모델의 구축과 검색방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 한번 구축된 모델의 지속적인 이용을 위한 병렬 시스템 환경에 알맞은 데이터 구조의 개발이 지속적으로 연구되어야 할 분야이다.

참고문헌

- [1] Hugues Hoppe, Tony DeRose, Tom Duchamp, John McDonald, and Werner Stuetzle, Mesh optimization. In *ACM Computer Graphics Proc. Annual Conference Series, (Siggraph '93)*, pages 19-26, 1993
- [2] M Garland and P.S. Heckbert, Surface Simplification using quadric error metrics. In *Comp. Graph Proc., Annual Conf. Series (SIGGRAPH 97)*, ACM Press, 1997.
- [3] William J. Schroeder, Jonathan A Zarge, and William E. Lorensen, Decimation of triangle meshes. In Edwin E. Catmull, editor, *ACM Computer Graphics(SIGGRAPH '92 Proceedings)*, volume 26, pages 6-12 1995.
- [4] M.E. Algori and F. Schmitt, Mesh Simplification *Computer Graphics Forum (Eurographics '96 Proc.)*, 15(3):78-86, 1996.
- [5] P Cignoni, E. Puppo, R Scopigno, Representation and Visualization of Terrain Surfaces at Variable Resolution , *The Visual Computer*, 13, 5, July 1997
- [6] E Puppo, R. Scopigno, Simplification, LOD and Multiresolution Principles and Applications, *Eurographics'97 Tutorial Notes PS97 TN4, Eurographics association*