

MultiTriangulation에서의 가변 LOD 추출

양수정^{*}, 마상백
한양대학교 전자계산학과

Extraction variable Level-of-Detail on MultiTriangulation

Su-Jung Yang, Sang-Back Ma
Dept. of Computer Science & Engineering, Han-Yang University

요 약

간소화된 메쉬의 다중해상 표현은 실시간으로 원하는 해상 메쉬의 렌더링이 가능하고 저해상 메쉬에서 고해상 메쉬로의 전환이 시각적인 연속성을 갖는다. 또 메쉬의 공간마다 다른 해상도의 표현이 가능하다. 본 논문에서는 기존의 다중해상모델의 특징과 단점을 알아보고 다중모델링 이슈를 제시한다. 효율적인 가변 LOD를 위한 기존의 다중해상 모델을 일반화시킨 MT(MultiTriangulation)를 제시한다. MT의 구조적 특징, MT에서의 선택적 상세화와 시점과의 거리에 따른 가변 LOD 질의를 알아본다.

1. 서 론

비행 시뮬레이션, Visualization, GIS, CAD, 이미지 처리, 가상현실 등과 같은 현대의 컴퓨터 그래픽 응용에서는 다단계의 가변해상 모델링이 적합하다.

지금까지 다단계 근사표현을 위한 여러 모델이 제시되어 왔다. Layered model[1,5]은 몇 개의 다단계 해상 메쉬만을 생성한 후 각각의 메쉬를 독립적으로 저장하므로 다음 해상 메쉬로의 전환이 시각적으로 매끄럽게 못했다. 다중해상모델(multiresolution model)은 원하는 해상도의 범위 내에서 다음 단계 해상 메쉬로의 전환이 시각적으로 거의 연속적이다. 가변 LOD(Level of Detail)은 동일 객체상의 공간마다 서로 다른 해상도를 적용시켜 관심 영역은 고해상도로 표현(Selective Refinement)[2]하고, 시점에서 가까운 부분은 고해상도로 먼 곳은 저해상도로 표현한다. 본 논문에서 제시하는 MT는 기존의 다중해상 모델을 일반화시킨 framework이다.

2절에서는 다단계 근사표현의 구축 과정을 알아보고, 3절에서는 기존의 다중해상모델의 특징을 트리형식 모델(tree-like model)과 점진적 모델(evolutionary model)로 분류하여 설명하고 다중해상

모델링의 고려사항을 알아본다. 4절에서는 MT[6,7]의 구조와 제공되는 특성, 가변 LOD 추출 알고리즘을 살펴본다.

2. 다단계 모델 구축 과정

다단계 모델의 구축과정은 실제물체를 다각형으로 근사해서 생긴 표면메쉬를 간소화(simplification)/세분화(refinement)에 의해 특정 해상 메쉬를 생성한 후 생성된 일련의 로컬메쉬를 조합해서 다중해상 모델을 구축한다.

이때, 고해상의 원본메쉬에서 점차적으로 간소화해서 저해상 메쉬를 생성하는 것은 간소화이고 몇 개의 다각형과 점으로 구성된 저해상 메쉬에서 점차 세분화시켜 고해상 메쉬 표현을 생성하는 것은 세분화이다. 근사모델 생성시 원본메쉬와의 근사오리(approximation error)가 최소화되도록 간소화/세분화해야 한다. 간소화/세분화 알고리즘에 의해 전체적인 다중모델의 형태(shape)가 결정된다.

3. 기존의 다중해상 모델

3.1 트리형식 모델

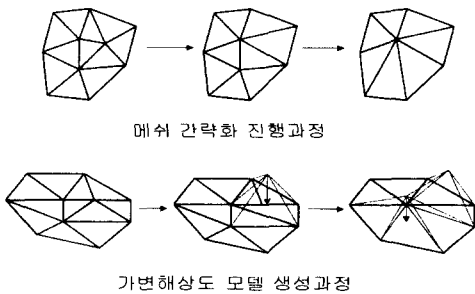
트리형식 모델[4]은 세분화/간소화 연산을 나타내는 arc와 세분화/간소화 연산에 의한 국부적 변경 결과인 로컬메쉬를 나타내는 노드로 구성된다. 트리의 계층구조는 세분화/간소화에 의한 국부적 변경의 우선순위와 포함관계를 표현한다.

정규 분할과 비정규 분할 방식으로 나뉜다. 정규적 분할에는 Quadtree, Quaternary Triangulation, Hierarchies of right triangles등이 있고 비정규적 분할에는 Adaptive Hierarchical triangulation이 있다.

정규 분할의 정규적 구조에는 구조, 위상, 셀 간의 우선순위가 함축적으로 저장되므로 vertex만을 코드화해도 필요한 정보가 얻어지므로 저장공간이 적게 드는 장점이 있으나, 위상적으로 제한되고 비정규 분할보다 적응성(adaptivity)이 낮다. 비정규 분할은 적응성이 높으나, 선택적 상세화의 어려움과 명백한 구조정보와 트리 순환 시 노드간의 인접 정보가 필요하므로 많은 저장 비용이 든다.

3.2 점진적 모델

간소화나 세분화에 따른 국부적 변경 정보를 변경 전의 메쉬에 점진적으로 덧붙여 나간다. [그림1]은 예지축약에 의해 변경된 위상 정보를 변경 전의 부분에 덧붙이는 계층구조를 이룬다.



[그림 1] 메쉬 간략화와 다단계 모델 생성

모든 삼각형들은 생성 시 에러와 소멸 시 에러를 갖게 되어 원하는 가변해상도의 추출 시 원하는 수준의 에러 값이 생성 시 에러와 소멸 시 에러 사이에 위치하는 모든 삼각형을 찾아서 그 삼각형들로 메쉬를 구성한다.

점진적 모델에는 Delaunary pyramids, Linear Sequence, Hierarchies of vertex, Progressive model, Explicit & implicit MT, Hypertriangulation 등이 있다.

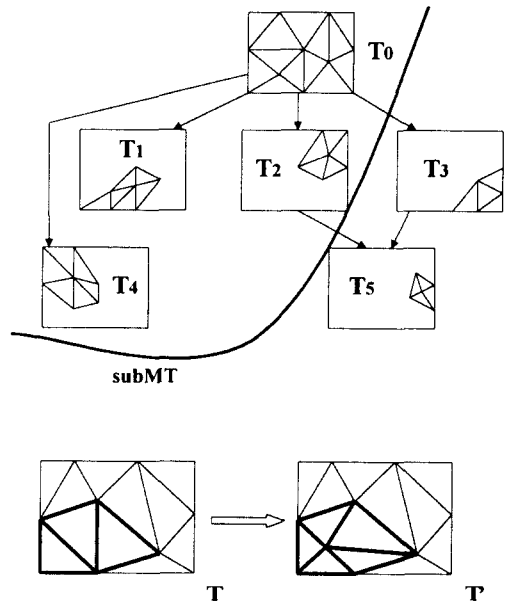
3.3 다중해상 모델링 이슈

데이터 분포가 정규적이면 정규 분할방식으로 모델링하나, 정밀 모델링에서는 비정규 분할 모델이 적당하다. 가능한 다양한 해상도로 메쉬 표현을 갖추도록 하고 좁고 긴 셀의 형태는 피하고 셀은 규칙적으로 유지한다. 트리형식 모델은 좁고 긴 셀을 생성할 수 있다.

4. MT

4.1 MT의 구조

MT[그림 2]의 노드는 삼각메쉬, arc는 부분적인 정렬을 나타내는 레이블된 DAG이다. subMT은 MT의 루트노드를 포함하고, T_i 가 subMT에 포함된 경우 T_i 의 모든 부모노드도 subMT에 포함되는 MT의 서브그래프이다. T는 boundary mesh로 최고 해상 메쉬는 MT의 leaf 노드 전체를 포함하는 boundary mesh이다.



[그림 2] MT의 구조와 boundary mesh

4.2 MT의 특성

- (1) 선택적 상세화: 메쉬 공간마다 다른 해상도를 갖는 가변 LOD를 실시간으로 얻는다. 공간상의 각 점마다 허용 근사오차, 즉 임계값을 다르게 주어 가변 LOD를 얻어낼 수 있다. 보통 시점에 근접한 영역이나 관심영역 근처에서는 정확도가 높고 해상도로 표현한다.

- (2) 지역성: 윈도우, 점, 선으로 표현된 관심영역만을 추출해서 표현할 수 있다.
- (3) 동적 갱신: 관심영역과 임계값이 달라질 때마다 동적으로 메쉬를 갱신한다.
- (4) 점진적 전송: 관심영역의 해상도를 점진적으로 높이거나 원하는 해상도에서 인터럽트 할수 있다.

4.3 MT상의 가변해상 모델 추출

가변해상 메쉬 추출의 결과가 표면 전체에 대해 전역적으로 정의될 수 있고, 또는 관심 영역에 대해서만 정의될 수 있다. 본 논문의 가변해상 모델 추출은 전역적으로 정의된 메쉬로 제한한다.

4.3.1 초점조건과 정확조건

가변 LOD 추출을 위한 MT상의 질의는 관심영역의 고해상 표현을 위해 초점조건(Focus condition)을 시점과의 거리에 따른 해상도 변화를 위해 정확조건(Accuracy condition)을 제시한다.

초점조건: 관심영역은 점, 선, window등으로 나타날 수 있다. 삼각메쉬 내의 각 삼각형이 초점영역(focus set)과 교차하면 active하다.

정확조건: 각 삼각형의 근사에러가 주어진 임계값보다 작으면 valid하다. 시점과의 거리에 따라 시점에서 가까운 곳은 높은 임계값을 주어 고해상도로 표현하고, 시점에서 먼 곳은 낮은 임계값을 주어 저해상도로 표현한다.

4.3.2 가변해상 메쉬 추출 알고리즘

MT상의 가변 LOD 추출은 관심영역과 교차되는 삼각형이 임계값을 만족시키는 최소한의 삼각형으로 구성된다. ;

정적 메쉬 추출은 MT의 루트에서부터 cut을 leaf 노드 방향으로 너비우선 검색한다. 질의 시에 cut이 이전 질의에 대한 cut과 유사해도 MT의 루트부터 다시 검색하는 단점이 있다.

Algorithm 1. 정적 메쉬 추출

1. It begins from the root.
2. If some active triangle t of the current mesh is not valid, then
 - .get the MT node T_i refining t.
 - .recursively add to the current subMT all parents of T_i
 - .add T_i to the current subMT.
3. Repeat until either all active triangles are valid

동적메쉬 추출은 이전에 구해진 cut에서 인자의 변화를 갱신해나간다. 세분화와 간소화 두 단계로 나눌 수 있다.

Algorithm 2. 동적 메쉬 추출

세분화: 현재의 subMT에서 정적 메쉬 추출과 같은 방식으로 모든 active 삼각형 valid될 때까지 현재의 subMT에 노드를 추가하면서 세분화시킨다.

간소화:

1. Check all the nodes which are leaves of the current subMT.
2. If a leaf node T_i can be removed without getting some invalid active triangle, then remove T_i and update the current mesh.

5. 결 론

지금까지 다중해상 모델을 일반화시킨 MT의 구조적 정의와 초점조건에 의한 선택적 상세화와 정확조건에 의한 시점에 따른 가변해상 모델 추출에 대해 살펴보았다.

MT는 기존에 제시된 다중해상 모델의 특성들을 일반화시킨 모델로 현대의 다중해상 모델링의 요구 조건인 선택적 상세화, 지역성(locality), 동적 갱신, 점진적인 전송의 요건들을 만족시킨다.

MT의 저장 비용은 다중해상도의 실시간 응용에서 가장 큰 이슈가 된다. 보통 저장 비용과 자료구조의 효율성은 반비례한다. 작은 오버헤드를 갖는 치밀한 자료구조의 사용이 필수적이다. 이에 대한 연구가 계속 진행되어야 한다.

[참고 문헌]

- [1] P.Cignoni, E. Puppo, R. Scopigno, "Representation and Visualization of Terrain Surfaces at Variable Resolution", *The Visual Computer*
- [2] Leila De Floriani, "Selective Refinement of Surface meshes: Data Structures and Algorithms"
- [3] Heckbert, P., and Garland,M. "Survey of surface simplification algorithm". Tech. rep., Carnegie Mellon University-Dept. of Computer Science, 1997
- [4] De Floriani, L.,Puppo, E and Magillo, P "Simplification, LOD and Multiresolution Principles and Applications"
- [5] Ferguson, R, Economy, R., "Continuous terrain level of detail for visual simulation". In *Proceedings of the 1990 Image V Conference(1990)*, pp 145-151
- [6] De Floriani, L., Puppo,E, "Efficient Implementation of Multi-Triangulations."
- [7] De Floriani, L. .Puppo,and Magillo,P. "Building and Traversing a surface at variable resoluoin"