

3D 문화재 데이터의 LOD 기반 상세정보 브라우징 기술

Detailed-information Browsing Technology based on Level of Detail for 3D Cultural Asset Data

정정일*, 조진수**, 황보택근***

경원대학교 전자계산학과*, 경원대학교 컴퓨터공학과**, 경원대학교 컴퓨터미디어학과***

Jung-II Jung(jungjin2623@nate.com)*, Jin-Soo Cho(jscho@kyungwon.ac.kr)**,
Whang-Bo Taekeun(tkwhangbo@kyungwon.ac.kr)***

요약

본 논문에서는 건조물 문화재의 대용량 3D 데이터를 LOD(Level of Detail) 모델로 가공하고, 이를 기반으로 시스템의 메모리 제약을 완화시켜 사용자에게 3D 모델에 대해 정밀한 상세정보를 제공하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저 변형한 AOSP 알고리즘으로 3D 데이터에 대한 계층적 공간구조를 생성하고, 생성된 공간구조에 대한 표면 간략화를 수행하여 LOD 모델을 생성한다. 다음으로 간략화 된 LOD 모델에서 사용자의 관심 영역을 추출하고, 추출된 영역에 대하여 국부 상세화를 수행한 후 최종적으로 관심영역에 원 모델과 동일한 표면의 상세정보를 형성하여 렌더링 한다. 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 정밀하게 실측된 건조물 문화재의 3D 스캔 데이터들로 실험을 진행하였다. 제안한 방법은 간략화 된 LOD 모델의 메쉬(mesh) 구조를 기반으로 관심 영역에서만 원 모델과 동일한 메쉬 구조를 형성함으로써, 기존의 모든 데이터를 메모리에 적재하여 렌더링을 하는 방법과 동일한 상세정보를 제공하면서도 메모리의 사용량을 평균적으로 45% 절감하여, 제원이 낮은 보급형 PC 환경에서도 대용량의 건조물 문화재를 정밀하게 관찰할 수 있었다.

■ 중심어 : | 3D 문화재 | 상세정보 브라우징 | LOD | AOSP |

Abstract

In this paper, we propose the new method that offer detailed-information through relax the system memory limitation about 3D model to user. That method based on making LOD(Level of Detail) model from huge 3D data of structure cultural assets. In our method as transformed AOSP algorithm, first of all it create the hierarchical structure space about 3D data, and create the LOD model by surface simplification. Then it extract the ROI(Region of Interest) of user in simplified LOD model, and then do rendering by original model and same surface detailed-information after process the local detailed in extracted region. To evaluate the proposed method, we have some experiment by using the precise 3D scan data of structure cultural assets. Our method can offer the detailed-information same as exist method, and moreover 45% reduced consumption of memory experimentally by forming mesh structure same as ROI of simplified LOD model. So we can check the huge structure cultural assets particularly in general computer environment.

■ Keyword : | 3D Cultural Assets | Detailed-information Browsing | LOD | AOSP |

* 본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소 육성사업의 지원으로 수행되었습니다.

* 이 연구는 2009년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

접수번호 : #090903-003

접수일자 : 2009년 09월 03일

심사완료일 : 2009년 10월 05일

교신저자 : 조진수, e-mail : jscho@kyungwon.ac.kr

I. 서론

미디어 및 게임 산업 등을 통해 발전해온 컴퓨터 그래픽스 기술들이 최근 문화재 산업에 많이 적용되어 응용되고 있다. 문화재 산업에서는 컴퓨터로 복원된 문화재를 이용하여 실 문화재를 진단하거나, 고증자료로써 활용한다. 그러나 정밀 실측하여 획득한 문화재의 3D 스캔 데이터는 그 용량이 방대하여, 현 보급형 PC에서는 메모리의 제약으로 인해 정밀 관찰에 어려움이 따른다. 따라서 이를 해결하기 위한 방법으로 대용량 3D 모델의 메시를 단계별로 간략화 시켜 시스템에 적절한 모델을 제공할 수 있는 LOD(Level of Detail) 기법들이 다양하게 연구되어 왔다[1-3].

대용량의 3D 모델을 제한된 시스템 자원에서 처리하기 위한 LOD의 기본 개념은 모델의 형태를 최대한 유지하면서, 표면을 간략하게 표현하며 기하학 및 위상정보를 줄이는 것이다. LOD를 생성하는 대표적인 방법들에는 에지 콘트랙션(Edge Contraction)과 웨이블릿 서피스(Wavelet Surfaces), 버텍스 클러스터링(Vertex Clustering) 등이 있다[4]. 그리고 LOD를 생성하기 위해서는 전처리 과정으로 3D 데이터를 계층적으로 분류하여야 하는데, 일반적으로 공간상에서 바운딩 박스(Bounding Box)를 경계로 데이터를 분할하는 OSP(Octree Space Partitioning) 기법이 사용된다[5]. 그러나 일반적인 OSP 기법은 완전 8진 트리에 대한 자료구조를 생성하기 때문에 매우 많은 자원의 낭비를 초래하여, 이를 개선한 AOSP(Adaptive OSP) 기법이 3D 데이터를 계층적 공간구조로 분할하는데 주로 사용된다[6-7].

본 논문에서는 단일객체를 관찰하는데 적합하게 변형한 AOSP 알고리즘과 각 바운딩 박스 내의 데이터들을 분류하는 기준인 관계도를 정의하여 LOD 모델을 생성하고, 생성한 LOD 모델에서 사용자가 관찰하는 관심영역을 경계로 국부 상세화를 수행하여, 관심영역 내에서만 원 모델과 동일한 표면의 정보를 형성할 수 있는 상세정보 브라우징 기술을 제안하고자 한다.

본 논문은 서론에 이어, 2장에서는 변형한 AOSP 알고리즘과 관계도를 정의하여 LOD 모델을 생성하는 방

법을 기술하고, 3장에서는 간략화 된 LOD 모델에서 사용자의 관심영역을 경계로 상세정보를 형성하는 과정에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안한 방법의 성능 평가를 위한 실험 결과를 제시하며, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

II. 3D 데이터의 LOD 모델 생성

3D 모델에서 불필요한 표면 폴리곤들에 대한 데이터를 제외하며, 사용자의 관심영역에서만 원 모델과 동일한 상세정보를 제공하기 위해서는 전처리 과정으로 3D 데이터를 가공하여 LOD 모델을 생성해야만 한다. 본 장에서는 기존의 AOSP 기법을 단일객체를 관찰하는데 적합하게 변형하여 3D 모델에 대한 계층적 공간구조를 생성하고, 생성한 계층적 공간 구조로 분할된 3D 데이터들을 간략화하기 위한 분류 기준을 정의하여 LOD 모델을 생성하는 방법을 설명한다.

1. 3D 데이터의 계층적 공간구조

LOD 모델을 생성하기 위해서는 전처리 과정으로 3D 데이터를 계층적으로 분류해야 한다. 계층적으로 3D 데이터들을 분류하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 표면 폴리곤들의 연결정보를 유지하며 분류를 수행하는 데에는 OSP 기법이 적합하다. 그러나 일반적인 OSP 기법은 데이터가 없는 공간에 대해서도 하위 공간분할을 수행하여 완전 8진 트리를 생성하기 때문에, 많은 자원을 낭비하는 이유로 이를 개선한 AOSP 기법이 3D 데이터의 공간분할에 주로 사용된다.

AOSP 기법은 현 바운딩 박스에 데이터가 존재하는지의 여부에 따라 하위 공간분할을 결정하는 알고리즘으로써, 이를 이용하면 [그림 1]의 (a)와 같은 모델에 대하여 (b)와 같은 계층적 공간구조를 생성할 수 있다. (b)에서는 바운딩 박스의 크기에 따라 계층구조를 확인할 수 있으며, 데이터가 없는 공간에서는 하위 공간분할이 진행되지 않음을 확인할 수 있다. AOSP 기법이 현 바운딩 박스에서 하위 공간분할의 수행 여부를 결정하기 때문에, (c)에 나타난 바와 같이 데이터가 없는 공

간에서도 바운딩 박스가 생성된 것을 확인 할 수 있는데, 이는 장면에 여러 객체가 존재할 때 이들의 상호관계를 검출할 때 사용된다. 그러나 이런 바운딩 박스들은 장면에 단일객체만이 존재할 때는 불필요한 메모리의 사용으로 간주할 수 있으므로, 이를 [그림 2]와 같이 변형한 AOSP 알고리즘으로 메모리의 낭비를 방지한다.

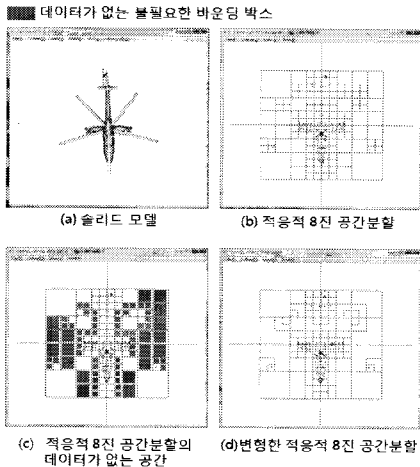


그림 1. 8진 공간분할의 공간 구조

1. 8진 트리의 루트(root) 노드를 생성한다.
2. 큐(queue)에 루트노드를 삽입한다.
3. 큐가 비어있지 않으면,
 - ① 큐의 첫 노드를 꺼내어 탐색노드 t(이하 t)에 대입하고, t를 방문한다.
 - ② t에 데이터가 존재하면, 공간분할을 수행하여 자식노드 8 개를 생성한다.
 - ③ 자식노드의 데이터 유무를 검사한다.
 - ④ 자식노드에 데이터가 존재하면, 자식노드를 큐에 삽입한다.
 - ⑤ 자식노드에 데이터가 존재하지 않으면, 자식노드를 삭제한다.
4. t가 정해진 기준의 데이터를 소유할 때까지 과정 3을 반복한다.

그림 2. 변형한 AOSP 알고리즘

[그림 2]에 나타난 변형한 AOSP 알고리즘에서 노드는 각각의 계층에 대응되는 바운딩 박스를 나타내며, 기 AOSP의 알고리즘에 자식노드가 소유하는 데이터의 유무에 따라 하위 공간분할의 필요 여부를 판단하는 과정을 추가하였다. 변형한 알고리즘으로는 [그림 1]의 (d)에 보이는 바와 같이 (c)에서 단일객체를 관찰하는

데 불필요한 바운딩 박스들을 제거함으로써, 차후의 수행 과정들에 대한 계층별 데이터 탐색 시간과 메모리 사용률을 향상 시킬 수 있다.

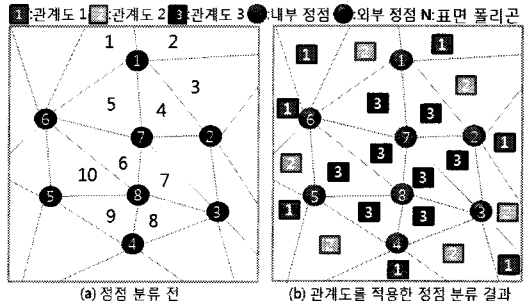


그림 3. 관계도를 이용한 바운딩 박스 내 정점 분류

2. 3D 모델의 표면 데이터 간략화

3D 모델의 표면 데이터 간략화는 복잡한 표면을 단순하게 변환하는 과정으로써, 계층적 공간구조로 분할한 정점 데이터들을 바운딩 박스를 경계로 제거할 수 있는지를 판별하는 과정과 제거될 정점들을 대표하는 정점을 결정하는 대표점 선정과정, 그리고 선정된 대표점을 중심으로 관계된 표면 폴리곤을 제거하여 재삼각화(retriangulation)하는 과정으로 나뉘어 수행된다.

2.1 바운딩 박스 내 정점 판별 및 분류

바운딩 박스 내에 존재하는 정점 데이터들의 간략화 여부를 판별하는 과정에서는 판별 기준인 관계도를 정의하며, 이를 이용하여 정점들을 내부정점과 연결정점, 그리고 연결표면 집합으로 분류한다. 본 문에서 관계도란 바운딩 박스 내에서 하나의 표면 폴리곤을 구성하는 정점들 중 바운딩 박스 경계 내부에 존재하는 정점들의 개수를 나타낸다. 또한 표면 폴리곤의 기본단위가 삼각형일 때는 바운딩 박스 내의 한 정점과 관계된 모든 표면 폴리곤들의 관계도가 3이면 이를 내부정점으로 정의하고, 관계도가 3 미만인 표면 폴리곤이 하나 이상 존재하면 연결정점으로 정의한다. 그리고 바운딩 박스 간에 연결정점만으로 구성되는 표면을 연결표면 폴리곤으로 정의한다. 추후 내부정점은 표면 폴리곤의 간략화

를 수행하기 위하여 사용되며, 연결정점을 이용하여 절정한 연결표면 폴리곤은 계층이 같거나 다른 LOD 모델 간의 연결성을 유지하기 위하여 사용된다.

[그림 3]의 (a)에 보인 바와 같이 바운딩 박스 내에 8개의 정점이 존재하였을 시, 1번 정점을 포함하는 1부터 5까지의 표면 폴리곤들의 관계도는 표면 폴리곤 1부터 순차적으로 2, 1, 2, 3, 3 이 된다. 표면 폴리곤 1은 바운딩 박스 내의 1번 정점과 6번 정점, 그리고 외부 바운딩 박스의 한 정점으로 구성되기 때문에 관계도 2를 나타내고, 표면 폴리곤 4는 구성하는 모든 정점이 바운딩 박스 내에 존재하기 때문에 관계도 3을 나타낸다. 따라서 1번 정점은 관계된 표면 폴리곤에 대한 관계도의 평균이 3 미만이기 때문에 연결정점으로 결정한다. 같은 방법으로 8번 정점에 관하여 관계도를 검사하였을 시, 표면 폴리곤 6부터 10까지의 관계도가 모두 3을 나타냄으로 8번 정점을 내부정점으로 결정한다. 또한, 표면 폴리곤 1번, 2번, 3번은 그 구성요소가 바운딩 박스 간의 연결정점들이므로, 이를 연결표면 폴리곤으로 결정한다.

관계도에 따라 바운딩 박스 내 정점들을 내부 및 연결정점 집합으로 분류하는 기준을 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \left[\sum_{j=1}^k R(P_i, T_j) \right] / k \quad (1)$$

수식 (1)에서 P 와 T 는 각각 바운딩 박스 내의 정점과 표면 폴리곤을 나타내며, i 는 표면 폴리곤 T 를 구성하는 정점들의 인덱스를, j 는 표면 폴리곤의 인덱스를 나타낸다. 이때, j 값 중 가장 큰 값인 k 는 바운딩 박스 내의 전체 표면 폴리곤의 수와 동등하다. 또한 $R(P_i, T_j)$ 는 P_i 에 관계된 T_j 에 대한 관계도 반환 함수를 나타내며, 결과인 r 은 P_i 에 관계된 표면 폴리곤들에 대한 관계도 평균값을 나타낸다. 관계도 평균값인 r 이 3이면, P_i 를 내부정점 집합으로 분류하고, 3 미만의 값을 나타내면 연결정점한 관계도 반환 함수를따라서 이를 [그림 3]의 (a)에 나타난 바운딩 박스에 적용하면 8개의 정점들을 (b)와 같이 2개의 원소를 가지는 내부

정점 집합과 6개의 원소를 가지는 연결정점한 관계도 반환할 수 있다. 또한, 표면 폴리곤의 구성정보값 폴리곤들에 대한 관계도 (평균도 보)가 연결정점한 판의 원소들과 현 바운딩 박스 내에 존재하지 않게도 평으로 구성되어의 정점들을 1과 2를 나타내는 표면 폴리곤들은 모두 연결표면 폴리곤으로 결정한다.



그림 4. 바운딩 박스 내 내부정점의 대표점 선정

2.2 바운딩 박스 내 간략화 될 정점들의 대표점 선정

바운딩 박스 내 정점 판별 과정을 수행하면, 박스 내의 정보들을 내부정점과 연결정점, 그리고 연결표면 폴리곤으로 분류해 낼 수 있다. 이중 내부정점 집합의 원소들은 3D 모델의 표면 폴리곤을 간략화하기 위하여 분류한 정보들로서, 이를 대표할 정점을 제외하고는 간략화 과정에서 표면 폴리곤들과 함께 제거된다. 바운딩 박스 내 내부정점을 대표하는 정점은 내부정점 집합 원소들 중 바운딩 박스의 중심에서 가장 먼 거리에 있는 원소로 선정한다. 이는 [그림 4]에 보인 바와 같이 대표점을 중심에서 가장 가까운 거리에 있는 정점으로 선택한 경우인 (b)와 중심에서 가장 먼 거리에 있는 정점으로 선택한 경우인 (c)를 비교하였을 때, 원 모델인 (a)를 기준으로 (c)의 경우가 (b)의 경우보다 보다 정확한 윤곽 정보를 표현하기 때문이다. 두 경우를 명확히 비교하기 위하여 [그림 4]에 비교 영역을 표시하였다.

2.3 표면 폴리곤의 간략화

표면 폴리곤의 간략화는 각 바운딩 박스의 대표점을 기준으로 관련된 표면 폴리곤들을 제거하는 과정과 제거된 표면 폴리곤의 영역에 홀(hole)이 발생하지 않도록 재삼각화를 수행하는 과정으로 진행된다.

대표점과 관련된 표면 폴리곤을 제거하는 과정에서

는 먼저 제거할 표면 폴리곤을 결정하는데, 이는 표면 폴리곤의 구성정보에서 2개 이상의 정점이 내부정점 집합에 속하는 조이는 표면 폴리곤 [그림 5]의 (a)에 보 인바와 같이 대표점을 포함하여 2개 이상의 정점이 내부정점 집합의 원소 표구성 된 0번, 3번, 5번, 9번의 표면 폴리곤들을 (c)와 같이 대표점을 기준으로 재구성하기 위하여 (b)처럼 제거폴리곤 다음으로 재삼각화를 수행하는 과정에서는 앞서 제거된 표면 폴리곤들의 영역을 채우기 위하여 구성정보를 재구성 할 표면 폴리곤들을 결정하는데, 이는 표면 폴리곤의 구성정보에서 1개의 정점만이 내부정점 집합에 관련되어 있는 조이는 표면 폴리곤 표면 폴리곤들은 Verte컬 Collapse 연산자[8]를 이용하여, 구성정보 중 내부정점에 관련된 정보를 대표점 정보 표갱신함에 써, (b)와 같이 중앙에 홀이 존재하는 표면 폴리곤들의 구성을 (c)와 같이 재구성한다.

제안하는 방법의 기반 데이터로 사용할 3D 데이터의 LOD 모델은 앞서 생성한 계층적 공간구조의 8진 트리에 대하여, 트리의 가장 깊은 계층에 대한 노드들에서 부터 계층별 순회 방법(level-order traversal)을 통해, 루트노드 이전 계층까지 역방향으로 표면 데이터 간략화 과정을 수행하여 생성할 수 있다.

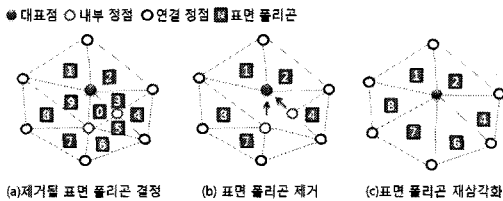


그림 5. 표면 폴리곤의 간략화 및 재구성

III. 상세정보 브라우징

전처리 과정에서 변형한 AOSP 알고리즘과 본문에서 정의한 관계도를 이용하여, 3D 모델로부터 LOD 모델을 생성하였다. 본 장에서는 생성한 LOD 모델을 이용하여 사용자의 관심영역에 관계된 데이터영역을 검출하고, 이를 이용하여 사용자의 관심영역에서만 원 모델과 동일한 표면의 상세정보를 제공하는 방법을 설명한다.

1. 사용자의 관심영역에 관계된 데이터 영역 검출

간략화 된 LOD 모델을 기반으로 사용자의 관심영역에 상세정보를 제공하기 위해서는, 렌더링 되고 있는 모델에서 사용자가 관찰하는 영역에 관련된 바운딩 박스들을 검출해야 한다. 따라서 관심영역의 검출은 모델의 원 형태를 확인할 수 있을 정도로 간략화 된 계층의 LOD 모델을 이용하여 검출하고, 검출한 영역에서 각 바운딩 박스의 대표점에 관계된 표면 폴리곤들의 평균 법선 벡터를 이용하여 사용자의 시야에 보이는 전면 (Front-Facing Polygon)을 포함하는 바운딩 박스들을 추출한다.

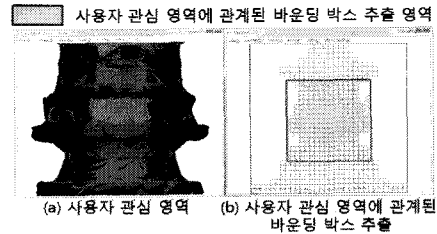


그림 6. 사용자의 관심영역 추출

먼저, 관심영역에 관계된 바운딩 박스의 추출은 사용자가 관찰하고 있는 영역의 윈도우 좌표계를 3D 데이터가 존재하는 정규화 장치 좌표계에 사상한 후, 사상된 윈도우 영역에 속하거나, 걸치는 바운딩 박스들을 모두 검출한다. [그림 6]의 (a)는 간략화 된 석탑 모델에서 사용자가 관찰하고자 하는 관심영역에 접근한 영상을 나타내며, (b)는 석탑 전체의 공간 구조에서 (a)의 관심영역을 정규화 장치 좌표로 사상한 영역을 나타낸다. 다음으로는 검출한 바운딩 박스들이 소유하는 대표점에 인접한 표면 폴리곤들의 평균법선 벡터와 사용자의 시점벡터 간에 내적을 연산하여, 사용자의 시야에 보이는 전면 바운딩 박스들만을 검출한다. 바운딩 박스 내 대표점의 평균법선 벡터는 인접한 표면 폴리곤들의 법선벡터에 대한 평균을 나타내는 것으로써, 이를 산출하는 방법을 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} a = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k}{|n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k|} \\ = \sum_{i=1}^k n_i / |\sum_{i=1}^k n_i| \end{cases} \quad (2)$$

수식 (2)의 a 는 바운딩 박스 내 대표점의 평균법선 벡터를 나타내며, n 은 대표점에 인접한 표면 폴리곤들의 법선벡터를 나타낸다. 산출한 바운딩 박스 내 대표점의 법선벡터와 사용자가 바라보는 시점벡터와의 내적 결과를 통하여, 대표점이 속한 바운딩 박스 내 표면 폴리곤들의 전면과 후면(Back-Facing Polygon)을 판단할 수 있다. 이를 수식 (2)를 이용하여 두 벡터간의 전·후면 판단 기준을 수식 (3)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{cases} v = |u| \sum_{i=1}^k n_i / |\sum_{i=1}^k n_i| \cos \theta \\ = |u||a| \cos \theta \end{cases} \quad (3)$$

수식 (3)에서 v 는 평균법선 벡터와 사용자의 시점벡터간의 내적 결과를 나타내고, u 는 사용자의 시점벡터를 나타낸다. 이때, v 가 0과 같거나 작은 경우에는 해당 바운딩 박스 내의 표면 폴리곤들을 전면으로 결정하고, v 가 0보다 큰 경우에는 해당 바운딩 박스 내의 표면 폴리곤들을 후면으로 결정한다. 따라서 전·후면 판단 결과를 표면 폴리곤을 포함하는 바운딩 박스에 동일하게 적용함으로써, L값과를 모델에서 사용자의 시야에 보이는 표면 폴리곤들을 포함하는 바운딩 박스들만을 추출한다.

2. 상세정보 브라우징

본 절에서는 LOD 모델에서 사용자가 관찰하는 관심 영역을 경계로 표면 폴리곤들을 국부적으로 상세화하는 방법을 설명하고, 이를 이용하여 불필요한 표면 폴리곤들을 최소화하며 관심영역에서만 원 모델과 동일한 표면을 형성하는 방법을 설명한다.

2.1 LOD 모델의 국부 영역 상세화

전처리 과정에서 LOD 모델을 생성하기 위하여 정점

에 관계된 표면 폴리곤들의 관계도를 정의한 후, 내부 정점과 연결정점 그리고 연결표면을 분류하여 표면 폴리곤들의 간략화를 수행하였다. 이 때, 표면 폴리곤들에 대한 간략화는 바운딩 박스 내에서 연결표면 폴리곤들을 제외하고 진행하였는데, 이는 특정 바운딩 박스들만을 경계로 간략화 했던 내부정점과 표면 폴리곤들을 복원하여 상세화하기 위해서이다. [그림 7]과 [그림 8]에는 간략화 된 LOD 모델에서 특정 바운딩 박스를 경계로 정점과 표면 폴리곤들이 상세화되는 과정을 보인다. [그림 7]에는 동일 영역에 대한 두 계층의 LOD 모델에 대한 표면 폴리곤들의 연결 구조를 나타내었다. (N)-계층의 LOD 모델에 대한 연결 구조를 나타내는 (a)와 (N+1)-계층의 LOD 모델에 대한 연결 구조를 나타내는 (b)를 비교해볼 때, 각 바운딩 박스 내에서 대표점을 중심으로 형성된 표면 폴리곤들의 연결 구조는 다르지만, 연결표면 폴리곤과 이를 구성하는 연결정점들에 대한 정보는 동일함을 볼 수 있다. [그림 8]에는 [그림 7]에서 연결표면 폴리곤들과 (N)-계층의 LOD 모델이 상세화 될 영역을 부각하였다. [그림 8] (a)와 (b)의 상세화 영역에서 두 계층의 연결 구조는 앞서 [그림 7]을 통해 설명한 바와 같이 연결표면 폴리곤을 제외한 영역에서만 그 구조가 다르므로, 이를 (c)와 같이 연결표면 폴리곤을 기준으로 (N)-계층의 LOD 모델에 (N+1)-계층의 LOD 모델을 부분적으로 결합하여, (d)와 같이 두 계층을 연결한 표면 구조를 형성할 수 있다. 즉, 이는 (N)-계층의 LOD 모델에서 특정 바운딩 박스들을 경계로, 경계 내부의 표면 폴리곤들을 (N+1)-계층의 LOD 모델로 국부 상세화 한 결과를 나타낸다.

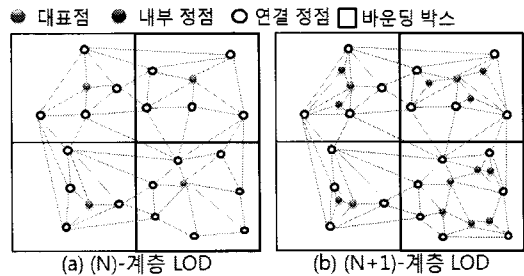


그림 7. 특정영역의 상세화 1

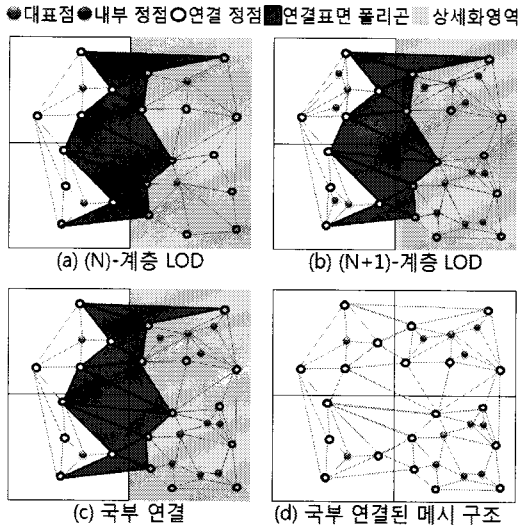


그림 8. 특정영역의 상세화 II

2.2 사용자 관심영역의 상세정보 브라우징

LOD 모델에서 간략화 되었던 정점과 표면 폴리곤들을 바운딩 박스 단위로 국부 상세화 함으로써, [그림 9]에 나타난 알고리즘에 따라 사용자의 관심영역에서 원 모델과 동일한 표면 정보를 형성할 수 있다.

1. 사용자의 관심영역에 관계된 데이터 영역을 추출한다.
2. 데이터 영역 내 전·후면 검사를 통하여, 전면에 해당하는 바운딩 박스를 추출한다.
3. 추출한 모든 전면 바운딩 박스에 대하여, 대응되는 노드를 생성한다.
4. 큐1에 생성한 모든 노드를 삽입한다.
5. 큐1이 비어있지 않으면,
 - (가) 큐의 첫 노드를 꺼내어 탐색노드 t1(이하 t1)에 대입하고, t1을 방문한다.
 - (나) t1에 자식노드들이 존재하면, 자식노드들을 큐2에 삽입한다.
 - (다) 큐2가 비어있지 않으면,
 - ① 큐2의 첫 노드를 꺼내어 탐색노드 t2(이하 t2)에 대입하고, t2를 방문한다.
 - ② t2가 관심영역에 포함되면, t2를 큐1에 삽입한다.
 - (라) 큐2가 비어있을 때까지 과정 (다)를 반복한다.
 - (마) t1이 관심영역에 포함되면,
 - ① t1의 상세화 정보를 추출한다.
 - ② 추출한 상세화 정보에 대한 구성정보를 디스플레이 리스트에 추가한다.
6. 큐1이 비어있을 때까지 과정 5를 반복한다.
7. 디스플레이 리스트를 갱신 후, 렌더링 한다.

그림 9. 상세정보 브라우징 알고리즘

상세정보 브라우징 알고리즘에서는 본 장에서 설명한 과정들을 순차적으로 진행한 후, 관심영역의 바운딩 박스들에 대하여, 각각의 하위 바운딩 박스들이 사용자의 관심영역을 포함하는지를 재귀적으로 검사하고, 관심영역을 포함하는 바운딩 박스들에 대해서는 현 LOD 모델보다 한 계층 높은 LOD 모델에서 해당하는 상세화 구성정보를 가져와 화면에 렌더링 할 디스플레이 리스트에 이를 추가한다. 또한, LOD 모델에 대응되는 8진 트리의 순회 방법은 계층별 순회 방법을 이용하는데, 이는 각 바운딩 박스의 상세화가 LOD 모델을 생성할 시와 동일하게 한 계층씩 진행되어야 홀이나 왜곡된 표면 폴리곤이 발생하지 않기 때문이다.

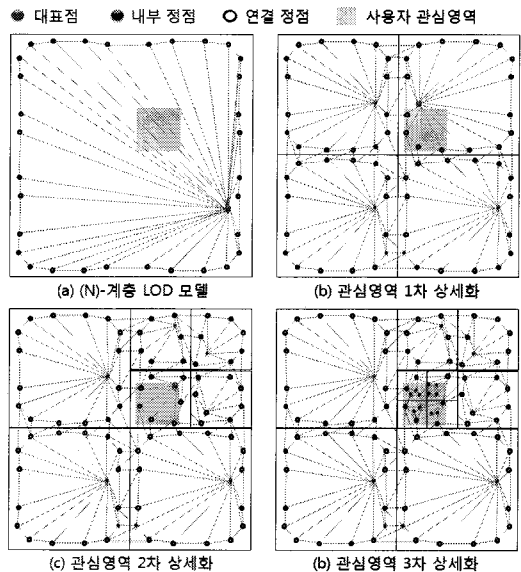


그림 10. 상세정보 브라우징 진행 과정

[그림 10]은 상세정보 브라우징 알고리즘을 이용하여 사용자가 관찰하는 영역에서만 상세정보를 형성하는 과정을 보인다. 먼저, (a)는 (N)-계층 LOD 모델의 일부 바운딩 박스에 대한 표면 폴리곤들의 연결 구조를 나타내며, (a)의 바운딩 박스는 사용자의 관심영역을 포함하기 때문에, 상세화를 수행하여 (b)와 같이 한 계층 높은 LOD 모델에 대한 메시 구조를 형성한다. 그리고 (b)에서는 현 바운딩 박스에 대한 하위 공간구조의 존재여부와 사용자의 관심영역에 대한 포함여부를 검

사하여, 관심영역을 포함하는 바운딩 박스만을 검출한 후, (c)와 같이 해당 바운딩 박스만을 상위 계층의 정보로 국부 상세화 한다. 같은 과정을 (c)에 대해서도 반복하면, 최종적으로 (d)와 같이 관심영역에 관계된 바운딩 박스들만을 상세화 한 표면 폴리곤의 연결 구조를 형성할 수 있다. 관심영역에 관련된 하위 바운딩 박스의 검출과 국부 상세화는 최상위 계층의 LOD 모델에 도달할 때 까지 반복적으로 수행된다. 즉, 본 알고리즘은 간략화된 LOD 모델에서 사용자가 관찰하는 영역만을 반복적으로 국부 상세화 함으로써, 장면을 생성하는데 불필요한 표면 폴리곤들을 최소화하며, 관심영역에서 원 모델과 동일한 표면의 상세정보를 형성한다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안하는 3D 건조물 문화재의 LOD 기반 상세정보 브라우징 기술의 성능을 검증하기 위하여 Win32 API 및 OpenGL 기반의 컴퓨터 프로그램으로 [표 1]과 같은 제원 하에 구현하였고[9][10], 실험은 실제 건조물 문화재를 정밀 실측하여 획득한 3D 데이터를 이용하여 진행하였다.

표 1. 실험환경

컴퓨터 제원	cpu	Intel Core(TM)2 Duo Cpu P8600 @ 2.40Ghz 2.38Ghz
	graphic card	nVidia GeForce 9300M GS 256M
	memory	3.00GB
소프트웨어	Win32 API, OpenCV_V1.0	

[그림 11]은 AOSP 알고리즘과 이를 단일객체를 관찰하는데 적합하게 변형한 AOSP 알고리즘으로 각각 화엄사사사자 삼층석탑 모델에 적용하여 생성한 계층적 공간구조를 나타낸다. (a)의 원 모델에 대한 계층적 공간구조를 나타내는 (b)와 (c)를 비교하였을 때, (b)에서 불필요하게 진행된 공간분할이 (c)에서는 진행되지 않았음을 석탑의 윤곽 부위에서 확인할 수 있다. 이를 보다 명확히 비교하기 위하여 [표 2]에는 두 공간구조에 대한 각 계층별 바운딩 박스 수를 나타내었다.

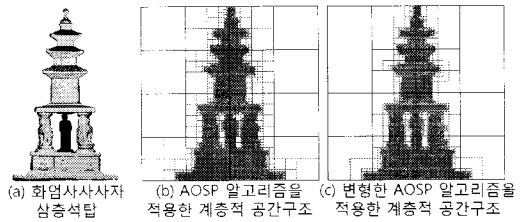


그림 11. AOSP 및 변형한 AOSP 알고리즘으로 생성한 계층적 공간구조

표 2. 화엄사사사자 삼층석탑 계층별 공간구조

계층	알고리즘	AOSP (개)	변형한 AOSP (개)
1		1	1
2		8	8
3		64	28
4		224	109
5		872	397
6		3,176	1,892
7		15,136	7,724
8		61,792	30,004
9		240,032	110,176
Total		321,305	150,339

[표 2]로부터는 변형한 AOSP 알고리즘이 3-계층에서부터 단일객체를 관찰하는데 불필요한 바운딩 박스를 검출하여 생성하지 않았음을 알 수 있고, 가장 세밀한 공간구조를 구성하는 9-계층에서는 기 AOSP 알고리즘에 비해 약 13만개 이상의 불필요한 바운딩 박스를 검출하여 생성하지 않았음을 알 수 있다. 이를 전 계층에 대한 바운딩 박스 수로 비교하였을 때, 변형한 AOSP 알고리즘으로는 기 AOSP 알고리즘에 비해 약 53% 절감된 150,339 개의 바운딩 박스로 계층적 공간구조를 생성할 수 있었다.

[표 3]과 [표 4]는 총 10개의 건조물 문화재 모델에 대하여 두 알고리즘으로 생성한 공간구조의 각 계층별 바운딩 박스의 개수를 나타낸다. 앞서 실험한 방법과 마찬가지로 생성한 두 공간구조에 대한 전체 바운딩 박스 수를 비교하였을 때, 변형한 AOSP 알고리즘으로는 기 AOSP 알고리즘으로 생성한 공간구조에서 평균적으로 48%에 해당하는 개수의 바운딩 박스를 절감하며 계층

적 공간구조를 생성한 결과를 보였다. [표 3]과 [표 4]의 열은 공간구조의 계층을 나타내며, 행의 인덱스는 마지막 행에 나타난 각 모델의 석탑명을 보여준다. 따라서 두 실험결과로부터 기 AOSP 알고리즘이 단일객체를 관찰하는 목적에 맞추어 매우 효율적으로 개선되었음을 확인할 수 있으며, 개선한 알고리즘으로는 3D 데이터에 대하여 최적의 계층적 공간구조를 생성할 수 있었다.

표 3. AOSP로 생성한 계층별 바운딩 박스 수

	5	6	7	8	9
1	440	1,776	7,928	32,600	130,400
2	872	3,176	15,136	61,792	240,032
3	688	3,152	14,232	60,288	237,088
4	1,072	4,304	17,392	70,088	266,848
5	616	2,960	12,736	52,552	213,136
6	992	4,168	16,344	66,416	256,408
7	736	3,376	15,216	64,936	253,584
8	1,064	4,144	17,144	73,552	294,120
9	656	2,776	10,704	43,032	168,416
10	640	2,280	8,856	37,408	151,168

1. 실상사백장암 삼층석탑 2. 화엄사사사자 삼층석탑
 3. 정혜사지 십삼층석탑 4. 진전사지 삼층석탑
 5. 성주사지 오층석탑 6. 성주사지서 삼층석탑
 7. 개심사지 오층석탑 8. 경주효현리 삼층석탑
 9. 화엄사동 오층석탑 10. 정음은선리 삼층석탑

표 4. 변형한 AOSP로 생성한 계층별 바운딩 박스 수

	5	6	7	8	9
1	991	4,075	16,300	60,932	162,571
2	397	1,892	7,724	30,004	110,176
3	394	1,779	7,536	29,636	108,279
4	538	2,174	8,761	33,356	117,174
5	370	1,592	6,569	26,642	99,334
6	521	2,043	8,302	32,051	112,787
7	422	1,902	8,117	31,698	114,871
8	518	2,143	9,194	36,765	128,308
9	347	1,338	5,379	21,052	79,275
10	285	1,107	4,676	18,896	72,381

1. 실상사백장암 삼층석탑 2. 화엄사사사자 삼층석탑
 3. 정혜사지 십삼층석탑 4. 진전사지 삼층석탑
 5. 성주사지 오층석탑 6. 성주사지서 삼층석탑
 7. 개심사지 오층석탑 8. 경주효현리 삼층석탑
 9. 화엄사동 오층석탑 10. 정음은선리 삼층석탑

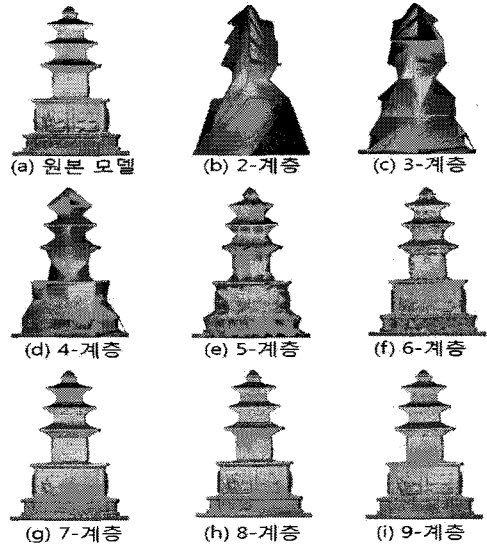


그림 12. 진전사지 삼층석탑 LOD 모델

[그림 12]는 변형한 AOSP 알고리즘으로 생성한 계층적 공간구조에 간략화 과정을 수행하여 생성한 진전사지 삼층석탑의 계층별 모델들을 보여준다. 8개의 바운딩 박스로 구성된 (b)의 2-계층 모델에서는 (a)의 원 모델과 유사함을 찾을 수 없으나, (e)의 5-계층 모델에서부터는 원 모델과 윤곽정보가 유사함을 볼 수 있다. 또한, (g)의 7-계층 모델에서부터는 원본 모델과 매우 흡사한 상세정보를 볼 수 있는데, 이는 공간구조를 구성하는 바운딩 박스의 부피가 매우 작아, 간략화가 적은 양의 표면 폴리곤들에 대해 수행되기 때문이다. 최상위 계층인 (i)의 모델은 원 모델과 동일한 상세정보를 나타낸다.

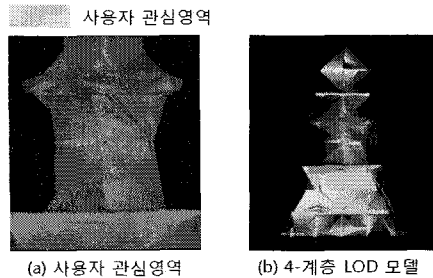


그림 13. LOD 모델에 대한 사용자 관심영역 추출

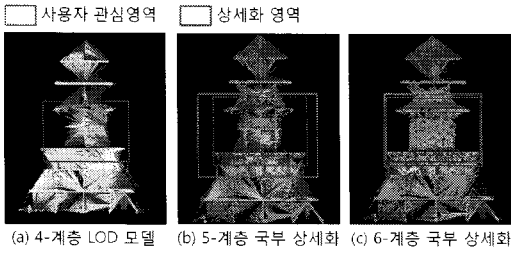


그림 14. 관심영역의 국부 상세화

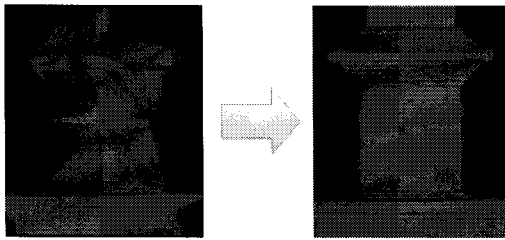


그림 15. 사용자 관심영역의 상세정보 브라우징

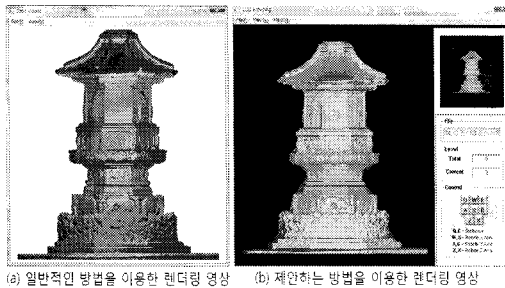


그림 16. 3D 모델의 전체 렌더링 실험

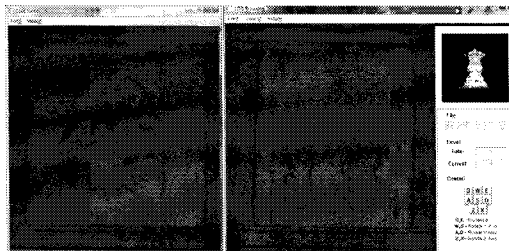


그림 17. 3D 모델의 부재별 렌더링 영상

[그림 13]의 (a)는 [그림 12]의 4-계층 LOD 모델을

기본 모델로 렌더링 후 사용자가 관찰할 영역에 접근한 프로그램 영상을 나타내며, (b)는 (a)의 사용자 관심영역을 정규화장치 좌표계로 사상한 영역을 보여준다. 그리고 [그림 14]에서는 LOD 모델에 사상된 관심영역을 국부 상세화하는 과정을 단계별로 보여준다. 먼저, [그림 14]의 (a)는 기본 모델로 렌더링 한 4-계층의 LOD 모델을 나타내며, (b)는 기 추출한 관심영역을 5-계층의 상세정보로 상세화한 결과를 나타낸다. (a)와 (b)를 비교하였을 때, 관심영역에 관계된 바운딩 박스들을 경계로 내부의 바운딩 박스들만이 하위 바운딩 박스로 분할되어 5-계층의 LOD 모델로 상세화 된 것을 볼 수 있다. 이때, 바운딩 박스는 LOD 모델에서 사각형 모양으로 나타나는 경계선으로 분별할 수 있으며, 이는 바운딩 박스 간에 연결성을 유지시키는 연결표면 폴리곤들을 나타낸다. 다음으로 (c)는 (b)의 상세화 영역을 좀 더 세밀한 하위 바운딩 박스로 나누어 6-계층의 LOD 모델로 상세화를 진행한 결과를 보이며, 하위 바운딩 박스로 분할이 되면서 관심영역에 상세화 영역이 일치된 것을 볼 수 있다. 동일 과정을 관심영역에서 반복적으로 수행함으로써, 관심영역 내에는 9-계층의 LOD 모델이 존재하게 되고, 관심영역 이외의 영역에서는 4-계층의 LOD 모델이 존재하게 된다. 그리고 두 영역의 경계에서는 5-계층과 6-계층의 LOD 모델이 두 계층의 모델에 대한 연결 관계를 형성한다. 따라서 제안한 방법으로는 [그림 15]에 나타난 바와 같이 간략화 된 LOD 모델을 기반으로, 필수적인 연결표면 폴리곤들만을 이용하여 최상위 계층의 LOD 모델과 연결 관계를 형성함으로써, 불필요한 표면 폴리곤들을 최소화하며 원 모델과 동일한 상세정보를 사용자의 관심영역에서만 제공할 수 있었다.

제안한 방법과 일반적인 방법의 성능을 비교하기 위하여, 각각의 방법으로 [그림 16]과 같이 3D 모델 전체를 렌더링 했을 때를 기준으로 실험을 진행하였다. 먼저, [그림 16]의 (a)는 쌍봉사철감선사탑(58.2 MBytes) 모델의 정점 데이터와 표면의 구성정보 데이터를 모두 메모리에 적재 후, 조명 효과를 위하여 노멀(normal) 벡터까지 연산을 수행한 일반적인 방법으로 렌더링 한 영상이다. 본 모델을 렌더링 하기까지에는 15.98 초의 연

산시간과 392MBytes의 메모리 용량을 필요로 하였다. 다음으로 제안하는 방법으로 렌더링 한 (b)에서는 기본 계층의 LOD 정보와 정점 데이터를 메모리에 적재하는데 10.17 초를, 기본계층에서 최상위 계층까지 상세화 되는데 5.20 초를 사용하여 총 15.37 초의 연산시간을 필요로 하였으며, 207MBytes의 메모리 용량을 필요로 하였다. 따라서 두 방법에 대한 결과를 비교하였을 때, 모델을 렌더링 하는데 필요로 하는 시간은 거의 동일 하였으나, 사용한 메모리의 용량을 비교하였을 시에는 제안하는 방법으로 일반적인 방법 보다 약 47%의 메모리 용량을 절감하며, 동일한 상세정보를 사용자에게 제공할 수 있었다. 또한, 두 방법으로 [그림 17]과 같이 건조물 문화제의 특정 부재를 관찰할 시에는 일반적인 방법은 고정된 메모리의 용량을 사용하지만, 제안한 방법에서는 관심영역에 필요한 표면 폴리곤들만을 이용하여 상세정보를 구성하기 때문에 최소 47% 이상의 메모리를 절감하며 사용자에게 일반적인 방법과 동일한 영상을 제공할 수 있다.

더링 할 시에 일반적인 방법과 제안하는 방법에서 필요로 하는 메모리를 측정된 용량을 보여준다. 실험은 총 10개의 건조물 문화제에 대하여 수행하였으며 두 방법에 대한 결과를 비교하였을 시, 제안한 방법으로는 일반적인 방법으로 전체 3D 모델을 렌더링 한 것과 동일한 상세정보를 나타내며, 동시에 불필요한 표면 폴리곤에 대한 메모리의 사용량을 평균적으로 45%를 절감할 수 있었다. 그리고 원 3D 데이터를 LOD 데이터로 변환하는 데에는 평균적으로 원본데이터의 약 120%에 해당하는 추가 저장 공간을 필요로 하였다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 방법으로는 3D 모델 데이터를 가공하여 사용자의 관심영역에 필수적인 폴리곤들만으로 표면을 형성함으로써, 기존의 전체 데이터를 이용하는 방법에 비해 사용되는 메모리의 용량을 매우 효율적으로 절감하면서도 원 모델과 동일한 상세정보를 생성할 수 있었다.

표 5. 메모리 사용효율 및 LOD 저장공간 측정

실험 식별	데이터 용량 (MB)	LOD 데이터 (MB)	전체 렌더링 (MB)	상세 브라우징 (MB)	메모리 효율 (%)
1	52.3	108.4	332.4	186.0	44.0
2	60.8	125.0	376.6	181.5	51.8
3	52.9	123.0	348.4	185.5	46.7
4	55.2	118.2	360.7	187.5	48.0
5	53.7	131.9	367.4	181.0	50.7
6	55.4	124.0	340.3	202.3	40.5
7	55.4	116.2	340.7	196.5	42.3
8	50.3	119.1	328.9	187.1	43.1
9	50.4	102.5	328.3	179.3	45.38
10	48.2	105.4	333.1	184.0	44.76
평균 메모리 효율(%)				45.75	
LOD 추가 저장 공간 사용률(%)				119.8	
1. 실성사백정암 삼층석탑		2. 화엄사사사자 삼층석탑			
3. 정혜사지 삼층석탑		4. 진전사지 삼층석탑			
5. 성주사지 오층석탑		6. 성주사지서 삼층석탑			
7. 개심사지 오층석탑		8. 경주효현리 삼층석탑			
9. 화엄사동 오층석탑		10. 정음은선리 삼층석탑			

마지막 실험에 대한 결과를 나타내는 표 5에서는 앞서 진행하였던 실험과 마찬가지로 전체 3D 모델을 렌

IV. 결론

본 논문에서는 실측된 건조물 문화제의 3D 데이터로부터 문화제의 정밀 관찰에 요구되는 시스템 메모리의 제약을 해결하기 위하여, LOD를 기반으로 한 건조물 문화제의 상세정보 브라우징 기술을 제안하였다. 제안한 방법으로는 3D 데이터로부터 생성한 LOD 모델을 기반으로 불필요한 표면 폴리곤들을 최소화하며 사용자의 관심영역에서만 원 모델과 동일한 표면의 상세정보를 형성하는 것이 가능하였으며, 기존의 전체 3D 데이터를 이용하는 방법에서 사용자가 관찰하는 영역 이외에서도 불필요하게 형성되는 표면 정보들을 제거함으로써 메모리의 사용량을 평균적으로 45% 정도 절감할 수 있었다. 따라서 제안한 상세정보 브라우징 방법은 제원이 낮은 보급형 PC 환경에서 시스템의 제약으로 인해 관찰하기 어려웠던 대용량의 건조물 문화제에 대하여 정밀한 관찰을 가능하게 하여, 현재의 문화재 전문가들에게 보다 향상된 분석 자료를 제공함으로써, 국내의 현 문화제에 대한 정밀한 고증자료 생성과 유지 및 보수 등과 같은 문화제의 진단 및 관리에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 또한, 향후에는 네트워크에 상세정

보 브라우징 기술을 접목하기 위하여 LOD 모델에서 임의영역을 분할하여 국부 모델만으로 상세정보를 형성할 수 있는 기술을 연구할 예정이다.

참고 문헌

[1] H. Kim, C. Joslin, T. Di Giacomo, S. Garchery and N. Magnenat-Thalmann, "Multi-resolution Meshes for Multiple Target," IEEE ICME Conference, Vol.3, pp.1699-1702, 2004.

[2] P. Gioia, A. Cotarmanac'h, K. Kamyab, P. Goulev, E. Mamdani, I. Wolf, A. Graffunder, G. Panis, A. Hutter, A. Difino, B. Negro, M. Kimiaei, C. Concolato, J. Dufourd, T. Di Giacomo, C and Joslin, N. Magnenat-Thalmann, "Intelligent Scalability for Interoperable Services," IEEE CVMP Conference, Vol.1, pp.295-304, 2004.

[3] Anthony Vetro and Christian Timmerer, "Digital Item Adaptation: Overview of Standardization and Research Activities," IEEE Transactions on Multimedia, Vol.7, No.3, pp.418-426, 2005.

[4] 김학란, 박화진, "LOD(Level of Detail)를 지원하는 하이브리드 렌더링 모델", 디지털콘텐츠논문지, 제9권, 제3호, pp.509-516, 2008.

[5] Tomas Akenine-Moller, *리얼-타임 렌더링*, 정보문화사, 2003.

[6] Yutaka Ohtake, Alexander Belyaev, Marc Alexa, Greg Turk and Hans-Peter Seidel, "Multi-level Partition of Unity Implicits," ACM SIGGRAPH, Vol.30, pp.463-470, 2005.

[7] Krzysztof S. Klimaszewski and Thomas W. Sederberg, "Faster Ray Tracing using adaptive grids," IEEE CGA, Vol.17, No.1, pp.42-51, 1997.

[8] David Luebke, Martin Reddy, Jonathan D. Cohen and Amitabh Varshney, *LEVEL of DETAIL FOR 3D GRAPHICS*, Morgan Kaufmann, 2002.

[9] Richard S, *OpenGL Superbible 3/E*, PEARSON

EDUCATION, 2004.

[10] 이상엽, *Windows programming bible*, 영진.com, 2000.

저자 소개

정 정 일(Jung-il Jung)

준회원



- 2003년 ~ 2009년 : 경원대학교 전자거래학과 학사
- 2009년 ~ 현재 : 경원대학교 전자계산학과 석사과정
- <관심분야> : 영상처리, 3D 그래픽스, 멀티미디어

조 진 수(Jin-Soo Cho)

정회원



- 1994년 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 : Columbia University 전자공학과(공학석사)
- 2003년 : Georgia Institute of Technology 전자공학과(공학박사)
- 2001년 ~ 2002년 : EG Technology Inc. Software Engineer
- 2004년 ~ 2006년 : 삼성전자 책임연구원
- 2006년 ~ 현재 : 경원대학교 컴퓨터공학과 조교수
- <관심분야> : 영상처리, 신호처리, 3D 그래픽스, 멀티미디어

황보 택 근(Taeg-Keun Whangbo)

정회원



- 1983년 : 고려대학교 공학사
- 1888년 : CUNY 컴퓨터학석사
- 1995년 : SIT 컴퓨터학박사
- 1988년 ~ 1993년 : Q-Systems, Technical Staff
- 1995년 ~ 1997년 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 1997년 ~ 현재 : 경원대학교 컴퓨터미디어과 정교수
- <관심분야> 3D 그래픽스, 영상처리