

3D 건조물 문화재의 계층적 구조를 기반으로 한 상세정보브라우징

A detailed information browsing as a standard of the hierarchical structure on 3D national treasure building

정정일*, 조진수**
경원대학교*, 경원대학교**

Jung jung-il*, Cho Jin-so**
Kyungwon Univ.*, Kyungwon Univ.**

요약

본 논문에서는 건조물 문화재의 대용량 3D 데이터를 시점거리 기준으로 사용자에게 적합한 정보를 제공하기 위하여, 계층적 구조를 기반으로 한 단계별 상세정보 브라우징 기법을 제안하고자 한다. 대용량 건조물 문화재의 단계별 상세정보는 크게 계층적 구조를 생성하는 전처리 과정과 사용자의 시점 거리를 고려하여, 적합한 계층정보를 결정하는 상세정보 브라우징 과정을 통하여 제공한다. 전처리 과정에서는 3D 데이터를 최적화된 공간구조로 분류하여 관리하고, 공간 내 표면들 간의 관계도를 검사하여 메시(mesh) 구조에 홀이나 왜곡이 발생하지 않도록 표면을 재구성한 후 단계별 상세정보 데이터를 생성한다. 상세정보 브라우징 과정에서는 모델과 사용자 간의 시점 거리를 검사하고, 이에 적합한 단계의 데이터를 브라우징 함으로써, 관찰 시점 위치에 따라 사용자에게 적합한 계층 모델 데이터를 제공할 수 있었다.

Abstract

In this paper, I would like to talk about a step by step detailed information browsing which is founded on hierarchical structure for offering suitable information about the mass 3D data of a national treasure building to user as a standard of the visual distance. A step by step detailed information of the national treasure building of gigantic proportions offers a process of detailed information browsing which decided suitable hierarchical structure as considering of the preprocessing procedure which produces hierarchical structure and a visual distance of user. In the preprocessing procedure, 3D data is divided and controlled by optimized spacial structures. The relevance connection between the inner spacial surface is then examined and reconfigured in order to prevent holes or distortions. Finally, relative information data is created. In detailed information browsing, by examining the visual distance between model and user, then by browsing proper step of data, suitable level model data can be provided to the users in accordance with the position of observation.

I. 서론

미디어 및 게임 산업 등을 통해 발전해온 컴퓨터 그래픽스 기술은 근래에는 문화재 산업에 관련하여 응용되고 있다. 문화재 산업에서는 실 문화재의 측정 및 진단, 그리고 고증 및¹⁾ 복원과 같은 분야에 컴퓨터 그래픽

픽스 기술이 접목되어 사용되고 있으며, 본 논문에서는 실 문화재의 측정 분야에서, 3D 스캐너로 정밀 실측된 대용량의 데이터를 이용하여 문화재 연구가나 일반 사용자에게 빠른 응답시간과 제한된 메모리의 한계를 극복하여, 최종적으로 건조물 문화재의 상세한 정보를 제공하기 위한 기초 정보로 사용될 단계별 모델을 생성하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 3D 데이터를 계층적 데이터로 가공하는데 기 연구된 사항

본 연구는 문화관광부 및 한국 콘텐츠 진흥원의 문화콘텐츠기술연구소 육성사업의 연구결과로 수행되었음

들을 설명하고, 3장에서는 3D 건조물 문화재의 계층적 공간구조를 형성하고, 이를 이용하여 단계별 모델을 생성하는 방법을 설명한다. 그리고 4장에서는 제안한 방법을 컴퓨터 프로그램으로 구현한 결과를 보이며, 마지막 5장에서는 본 연구의 향후 방향을 제시한다.

II. 관련연구

계층별 공간 구조[1]를 생성하기 위한 공간분할 알고리즘은 평면과 입체로 나뉘어 연구되어 왔다. 평면 공간을 분할하는 알고리즘에는 2진 공간분할 기법과 이를 확장한 4진 공간분할 기법이 있다. 2진 공간분할 기법은 적어도 세 개 이상의 정점으로 구성되는 도형을 이용하여 평면의 방정식을 구한 후 위치판단에 따라 장면을 분할하여 2진 트리를 생성하는 기법이고, 4진 공간분할 기법은 장면의 데이터들의 분포 위치에 따라 재귀적으로 4분할하여 데이터를 수집하는 방법이다. 입체 공간을 분할하는 알고리즘에는 8진 공간분할 알고리즘(OSP, Octant Space Partitioning)이 대표적이며, 이는 4진 공간분할 기법과 유사한 방법으로, 공간의 세 축을 기준으로 재귀적으로 분할하는 8 공간에 대하여 데이터를 수집하는 방법이다.

계층별 연결정보를 생성하기 위하여, 사용되는 대표적인 방법에는 LOD(Level Of Detail) 기법[2]이 있다. LOD 기법에는 표면을 구성하는 도형의 수에 변함없이, 비연결성을 가지는 두 정점을 간략화하는 Vertex-Pair Collapse 연산자가 있고, 도형을 구성하는 정점들을 한 정점으로 축약하고, 메시 구조를 재구성하여 표면을 간략화하는 Triangle Collapse 연산자가 있다. 또한, 정점과 정점에 인접한 에지(edge), 그리고 이에 관련된 도형들을 제거하고, 제거된 공간에 생긴 홀을 재삼각화(Retriangulation)하는 Vertex Removal 등의 다양한 방법들이 연구되어 왔다.

III. 상세정보브라우징

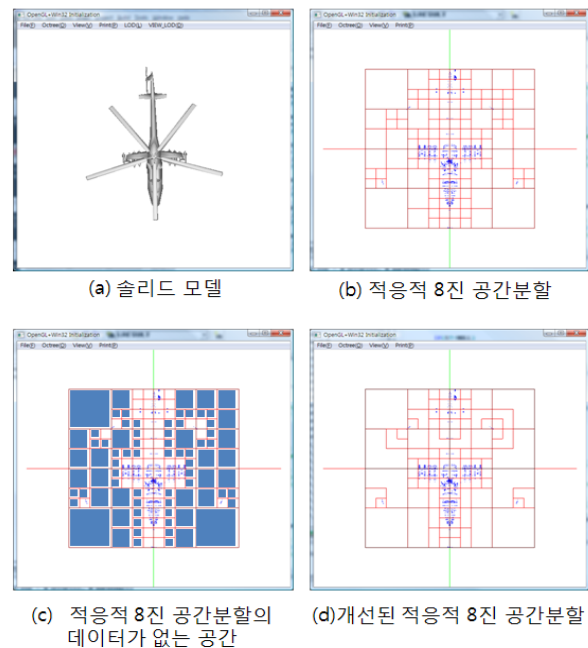
대용량 건조물 문화재의 렌더링은 그 용량에 비례하여 많은 연산시간을 필요로 하기 때문에, 제안한 방법

에서는 서로 다른 정밀함을 보이는 단계별 모델을 생성하여, 실시간 렌더링을 지원한다. 단계별 모델은 계층별 공간구조 생성 과정을 수행하여, 원 3D 데이터를 계층별 공간구조로 분할한 후, 각 계층에 대한 메시 구조를 간략화하는 계층별 모델 생성 과정을 통하여 생성한다. 각각의 간략화 된 모델의 표면은 낮은 계층일수록 세밀함이 떨어지나, 가장 높은 계층의 모델은 원본과 동일한 표면을 형성한다.

1. 계층별 공간 구조 생성

계층별 공간 구조는 8진 공간분할 알고리즘을 이용하여 생성하나, 일반적인 8진 공간분할(General OSP) 알고리즘은 자원의 낭비가 심하기 때문에, 이를 보완한 적응적 8진 공간분할(Adaptive OSP) 알고리즘을 기반으로 3D 건조물 문화재에 적합하게 개선하여, 계층별 공간구조를 생성한다.

데이터가 없는 불필요한 바운딩 박스



▶▶ 그림 1. 개선한 적응적 8진 공간분할의 공간 구조

적응적 8진 공간분할 기법[3]은 현 바운딩 박스(Bounding Box)에 데이터가 존재하는지에 따라 공간분할을 수행하여 자식 바운딩 박스를 생성함으로써, 그림 1의 (a)와 같은 저용량의 3D 데이터에 대하여 (b)와 같

은 계층적 공간 구조를 생성한다. (c)와 같이 데이터가 존재하지 않는 공간들이 발생하는 이유는 계층 공간의 분할 판단을 현 공간에서 판단하기 때문인데, 이는 일반적으로 공간 속에서 다른 동적 객체의 위치나 움직임 등의 정보를 추적하기 위해서 사용된다. 그러나 제안하는 방법에서는 하나의 객체만을 관찰의 목적 대상으로 함으로, 데이터가 없는 공간들에 대한 정보를 필요로 하지 않는다. 따라서 (c)의 불필요한 공간들을 삭제하여, 3D 건조물 문화재를 관찰하는데 필수적인 정보들만을 가지도록 적응적 8진 공간분할 알고리즘을 개선하여 (d)와 같은 계층적 공간 구조를 생성한다. (d)의 영상에서는 데이터가 없는 공간의 바운딩 박스가 생성되지 않은 것을 확인할 수 있는데, 이는 현 공간을 분할하기 전에 자식 공간들을 탐색하여, 데이터의 존재유무에 따라 자식노드의 생성 여부를 결정하였기 때문이다. 적응적 8진 공간분할 알고리즘과 이를 개선하여 생성한 계층별 공간 구조에 대한 트리의 예를 그림 2의 (a)와 (b)에 나타내었으며, 각 알고리즘에 대한 계층적 공간구조에 대한 탐색 비용을 수식 (1)에 나타내었다.

- 적응적 8진 트리의 탐색 비용

$$= 1 + 8 + \sum_{i=3}^k (8 \cdot N_i) \dots\dots (a)$$

- 개선한 적응적 8진 트리의 탐색 비용

$$= 1 + \sum_{i=2}^k N_i$$

$$= 1 + N_2 + \sum_{i=3}^k N_i \dots\dots (b) \quad (1)$$

- 탐색 이익 비용

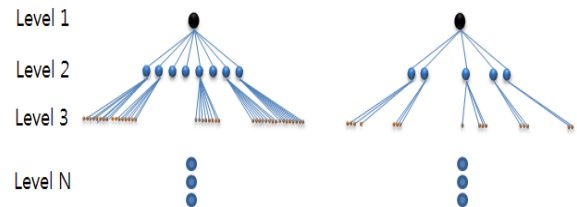
$$= (a) - (b)$$

$$= 8 - N_2 + \sum_{i=3}^k 7 \cdot N_i \dots\dots (c)$$

(N_i : i 계층의 바운딩 박스에 대한 노드수)

적응적 8진 공간분할 알고리즘으로 생성한 그림 2의 (a) 트리에는 깊이 2에서 단말 노드가 발생하는데, 이는 데이터가 없는 공간에 대한 노드로 더 이상 분할을 진행하지 않는다. 개선한 (b)의 트리에서는 단말노드들이 삭제된 것을 확인할 수 있으며, 각각의 트리에 대한 탐색 비용은 다음과 같다. 먼저 적응적 8진 공간분할 알고리즘에서는 전체 바운딩 박스의 루트 노드에서 탐색 비용 1을 소모하며, 계층 2에서 생성된 8개의 바운딩

박스에 대한 탐색 비용 8을 소모한다. 다음의 계층 3에서는 데이터가 존재하는 5개의 자식 공간에서만 분할하므로 40의 탐색비용을 소모하므로 총 49의 탐색비용을 필요로 한다. 이를 수식(1)의 (a)를 이용하여 구할 수 있다. 개선한 알고리즘으로 생성한 그림 2의 (b)트리에서도 루트노드에 대한 탐색 비용 1을 소모한다. 그러나 다음 계층에서 데이터가 없는 공간에 대한 노드를 생성하지 않으므로 탐색비용 5를 소모하고, 마찬가지로 계층 3에서도 14의 탐색비용만을 소모하여, 총 20의 탐색비용을 필요로 한다. 이는 수식(1)의 (b)를 통하여 구할 수 있다. 결과적으로 적응적 8진 공간분할 알고리즘을 3D 건조물 문화재의 특성에 맞추어 개선함으로써 향상시킬 수 있는 탐색 이익 비용은 수식(1)의 (c)와 같다.



(a) 적응적 8진 트리 (b) 개선한 적응적 8진 트리

▶▶ 그림 2. 적응적 8진 트리와 개선한 적응적 8진 트리

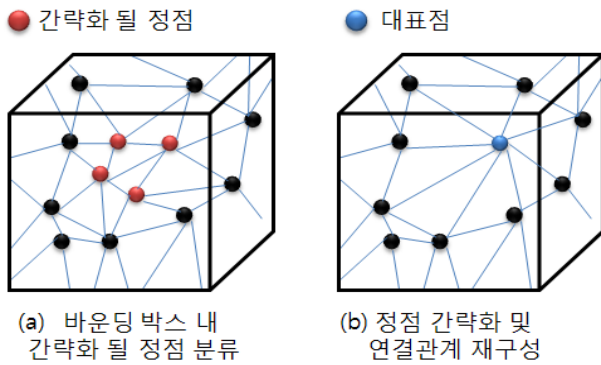
2. 계층별 모델 생성

3D 데이터의 단계별 모델을 모델링하기 위하여, 생성한 계층별 공간구조에 대하여 각 계층의 표면을 구성하는 도형의 정점과 연결 관계를 최하위 단계부터 최상위 단계까지 순차적으로 간략화하며 재구성한다. 재구성은 모델을 가장 세밀하게 형성할 수 있는 삼각형을 기본단위로 하여 계층별로 재삼각화(retriangulation)를 수행한다. 간략화를 통한 계층별 메시 구조의 재구성은 홀이나 왜곡이 발생하지 않도록, 다음과 같은 재구성의 기본단위와 경계기준, 그리고 재삼각화의 방법을 정의하여 수행한다.

첫 번째로 3D 모델을 단계별로 재구성하기 위한 기본단위는 각 계층별로 모델의 부피를 형성하는 바운딩 박스를 기준으로 하고, 도형을 구성하는 정점들의 연결 관계의 경계는 바운딩 박스의 각 표면을 기준으로 한다. 이는 바운딩 박스 내에 포함되는 내부 도형들과 다

른 바운딩 박스에 걸치는 외부 도형들을 분류하고, 내부 도형을 구성하는 정점들에 대하여 간략화를 수행하면, 바운딩 박스 내의 외부 도형을 구성하는 정점들은 그 이외의 바운딩 박스들에 속하는 도형들과의 연결 관계를 유지하며 독립적으로 간략화를 수행할 수 있기 때문이다. 또한 바운딩 박스로 독립된 단위로 간략화를 수행함으로써, 연결 관계에서 오류가 발생하여도 왜곡된 도형들의 범위를 바운딩 박스 내로 최소화 할 수 있는 이점이 있다.

두 번째로 삼각형을 구성하는 정점들을 간략화하여 재삼각화하는 방법은 두 가지의 과정으로 나뉘어 정의한다. 첫 번째는 그림 3의 (a)와 같이 바운딩 박스 내에서 간략화 될 정점을 검출하는 과정이고, 두 번째는 (b)와 같이 검출된 정점들을 대표할 정점을 선정하여, 나머지 정점들과의 연결 관계를 재삼각화 하는 과정이다.

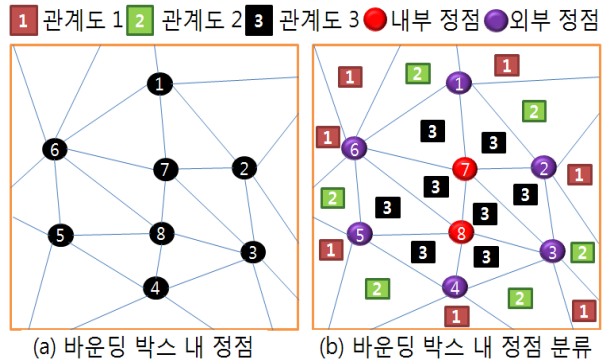


▶▶ 그림 3. 재삼각화의 방법 정의

바운딩 박스 내에서 간략화 될 정점의 검출은 정점과 관계된 삼각형들과의 관계도를 이용한다. 본문에서 관계도란 하나의 도형을 구성하는 정점들 중 바운딩 박스 내에 존재하는 정점의 개수를 나타내며, 한 정점과 관계된 모든 표면 도형의 관계도가 3이면 내부 정점으로 분류하고, 관계도가 3미만인 표면이 하나 이상 존재하면 외부 정점으로 분류한다. 즉, 표면 도형을 구성하는 정점들 중 한 정점만이 바운딩 박스 내에 존재하면, 관계도는 1을 나타내게 된다. 세밀한 표면을 나타내는 대용량 건조물 문화재의 경우 표면은 모두 삼각형으로 구성되기 때문에, 바운딩 박스 내에 존재하는 한 정점에 관계된 표면 도형들은 1에서 3까지의 관계도를 가질 수 있다. 관계도를 이용한 바운딩 박스 내의 정점들을 다음의 수식 (2)를 이용하여 분류할 수 있다.

$$\begin{cases}
 BB = \{P_1, P_2, \dots, P_i, T_1, T_2, \dots, T_k\} \\
 BBI = \{ \}, BBE = \{ \} \\
 Result = \left[\sum_{i=1}^k R(P_i, T_k) \right] / k \\
 \text{if } (Result = 3) P_i \in BBI \\
 \text{else } P_i \in BBE
 \end{cases} \quad (2)$$

(BB: 바운딩박스, P: 정점, T: 삼각형)
 (BBI: 내부정점집합, BBE: 외부정점집합)
 (R(P_i, T_k): P_i에 관련된 T_k의 관계도 반환 함수)



▶▶ 그림 4. 내부 및 외부 정점 분류

그림 4의 (a)는 하나의 바운딩 박스를 나타내며, 바운딩 박스가 소유하는 정점 데이터는 총 8개이다. 이를 수식 (2)를 이용하여, 내부와 외부의 정점으로 분류한 결과를 (b)에 나타내었다. BB의 집합은 초기에 8개의 정점과 이에 관련된 삼각형들을 포함하고 있고, BBI와 BBE는 공집합인 상태이다. 이때, 1번 정점과 관계된 5개의 표면 도형들을 관계도 반환 함수에 인자 값으로 사용하면, 1번 정점의 우상단의 표면 도형을 기준으로 시계방향으로 각 도형들에 대한 관계도는 1, 2, 3, 3, 2를 나타내고, 결과 값은 2.2로 1번 정점과 관련된 표면 도형들 중 다른 바운딩 박스에 걸치는 외부도형이 있는 것으로 판단하여, BBE 집합에 1번 정점을 추가한다. 반면에, 7번 정점과 이에 관계된 5개의 표면에 같은 과정 수행하였을 때, 각 표면 도형들의 관계도는 모두 3을 나타내고, 결과 값 또한 3을 나타낸다. 따라서 7번 정점에 관계된 모든 도형들은 바운딩 박스 외부와의 연결과는 무관한 내부 정점으로 판단하여, BBI 집합에 속하게 된다. 같은 방법으로 바운딩 박스 내의 모든 정점들에 대하여 수행함으로써, 내부와 외부의 연결성을 같은 정점들을 분류할 수 있다.

정점들의 분류는 원 데이터와 동일한 정보를 가지고

있는 가장 높은 레벨에 해당하는 바운딩 박스부터 루트 노드 전 레벨까지 순차적으로 진행하며, 동시에 Vertex Collapse 연산자를 이용하여 각 표면 도형들을 간략화함으로써, 단계별 모델을 생성한다.

IV. 연구 결과

본 논문에서 제안하는 방법으로 3D 건조물 문화재의 단계별 모델을 생성하고, 브라우징 하기 위한 뷰어는 Win32 API 기반[4]에 OpenGL 프로그래밍[5]을 이용하여 컴퓨터 프로그램으로 구현한 후 성능을 실험하였다.

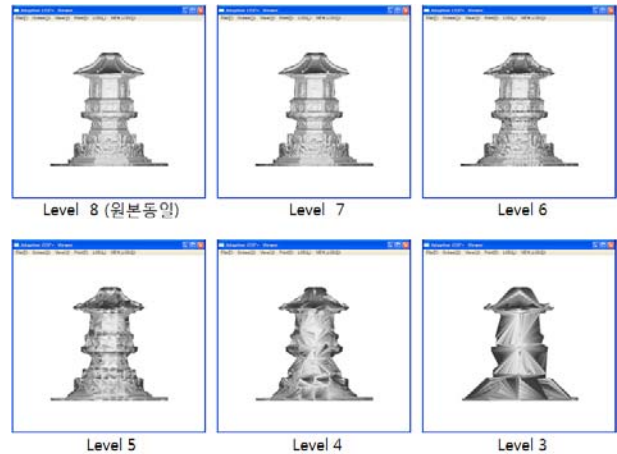
표 1. 계층적 공간구조 노드 수 비교

| 계 층 | 헬리콥터 | | 쌍봉사 철감선사탑 | |
|-----|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | 정점(개) | 표면(개) | 정점(개) | 표면(개) |
| | 3,218 | 6,448 | 164,383 | 328,775 |
| | 적응적8진 공간분할 | 개선한 8진 공간분할 | 적응적8진 공간분할 | 개선한 8진 공간분할 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 3 | 64 | 21 | 64 | 38 |
| 4 | 168 | 43 | 304 | 195 |
| 5 | 344 | 109 | 1,560 | 875 |
| 6 | 872 | 289 | 7,032 | 4,175 |
| 7 | 2,312 | 657 | 33,400 | 18,478 |
| 8 | 5,256 | 1,382 | 147,824 | 64,855 |

계층적 공간구조는 적응적 8진 공간분할 알고리즘과 이를 개선한 알고리즘으로 저용량의 단순한 3D 모델과 실제 대용량의 건조물 문화재 3D 모델에 적용하여 생성하였으며, 공간구조에서 생성된 각 계층별 바운딩 박스의 노드 수를 표 1에 나타내었다. 원본 데이터와 동일한 정점과 연결정보를 가지는 8계층의 각각의 바운딩 박스는 세 개 이하의 정점들을 포함하고 있으며, 두 알고리즘으로 생성한 공간구조를 비교해 볼 때, 개선한 알고리즘으로 기존의 데이터가 없는 바운딩 박스를 제거하여, 3D 건조물 문화재의 단일 객체를 관찰하는데 훨씬 효율적인 계층적 공간구조를 생성하였음을 알 수 있다.

그림 5은 3D 쌍봉사 철감선사탑 데이터를 기반으로 생성한 8 계층의 공간구조에 대하여, 관계도를 기준으로 정점을 분류 후 3계층까지 순차적으로 표면을 간략화하여 계층별로 재구성한 결과이고, 이를 사용자와 모

델 간의 거리를 고려하여 그림 6과 같이 모델을 상세 브라우징 한다. 각 단계별 모델 전환 시간은 1초 미만의 응답속도로 사용자에게 실시간 제공이 가능하였다.



▶▶ 그림 5. 3D 쌍봉사 철감선사탑 계층별 간략화 모델



▶▶ 그림 6. 사용자 시점 거리를 고려한 상세브라우징

V. 결론

본 논문에서는 문화재의 3D 데이터를 이용하여 문화

재를 단계별 모델로 가공한 후 사용자와 모델간의 시점 거리에 맞추어 적합한 단계의 모델을 제공하는 방법을 제안하였다. 생성한 단계별 모델을 사용자의 시점 거리에 맞추어 실시간으로 제공하는 데에는 부족함이 없었으나, 대용량의 3D 문화재 데이터의 가장 정밀한 모델을 일반 보급형 컴퓨터에서는 메모리의 제약으로 렌더링 하는데 어려움을 보였다. 따라서 향후 상세브라우징에 관한 연구는 사용자의 시야 범위를 고려하여, 시야에 포함되는 데이터들만으로 렌더링 될 모델의 표면을 재구성함으로써, 메모리의 한계성을 극복하는 방안을 개발하는 방향으로 진행 될 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Tomas Akenine-Moller, 리얼-타임 렌더링, 정보문화사, 2003.
- [2] David Luebke, Martin Reddy, Jonathan D. Cohen, Amitabh Varshney, LEVEL of DETAIL FOR 3D GRAPHICS, Morgan Kaufmann, 2002.
- [3] Ruo Xiaoping, "A LOD Algorithm Based on Unfull Quadtree," Journal of image and graphics, Vol.10, No.9, pp.1152-1160, 2005.
- [4] 이상엽, "Windows programing bible," 영진.com, 2000.
- [5] Richard S wright OpenGL Superbible 3/E, PEARSON EDUCATION, 2004.