

3차원 물체에 대한 8진 트리 구성 알고리즘에 관한 연구

(A Study on Octree Construction Algorithm for 3D Objects)

崔允浩*, 宋裕珍*, 洪敏碩*, 朴相暉

(Yoon Ho Choi, Yu Jin Song, Min Suk Hong, and Sang Hui Park)

要約

본 연구에서는 3차원 물체에 대한 직교면 관측에 의해 얻어진 2차원 깊이 영상을 이용하여 3차원 물체를 정확하게 표현할 수 있는 8진트리 구성 알고리즘을 제안하였다. 한편 메모리 공간의 효율적 이용 및 트리 구성 시간의 단축을 위하여 깊이 영상으로부터 4진트리의 구성은 최적 4진 트리 구성 알고리즘을 적용하였고, 또한 깊이 영상의 경우에 적합하도록 4진트리의 4진소와 8진트리의 8진소의 사상관계 및 4진트리의 각 노드에 주어진 계조도 값을 이용한 의사 8진트리 구성 방법을 제안하여 사용함으로써 각 직교면에 대한 의사 8진트리들을 구성하였으며 이들에 대한 체계 교차를 수행하여 3차원 물체를 정확하게 표현하는 완전 8진트리를 구성하였다. 제안한 방법에 의해 구성된 8진트리 표현의 정확성은 구성된 완전 8진 트리에 의해 재구성된 3차원 물체에 대하여 3차원적 디스플레이 방법 및 체적비 계산 방법을 이용하여 검증하였다.

Abstract

This study presents a complete octree construction algorithm for 2D depth images obtained from orthogonal face views, which can represent 3D objects exactly. In constructing quadtree, optimal quadtree construction algorithm is applied to depth images for efficient use of memory and reduction of tree construction time. In addition, pseudo-octrees are constructed by using our proposed method, which construct pseudo-octrees according to the resolution value given in each node of constructed quadtree and mapping relation between quadrants and octants. Finally, a complete octree, which represents a 3D object, is constructed by volume intersection with each constructed pseudo-octree. The representation accuracy of a complete octree constructed by our algorithm is investigated by using a 3D display method and a volume ratio method for a complete octree.

I. 서론

컴퓨터를 이용하여 3차원 물체를 표현하는 방법은 여러 가지가 있는데, 이 방법들 중에서 8진트리(octree)는 물체의 공간 점유에 따라 3차원 공간을 8개

의 8진소(octant)로 부분 분할하는 원리에 기초하여 3차원 물체를 표현하며, 2차원적 표현인 4진트리(quadtree)를 3차원적으로 확장한 계층적 데이터 구조를 가진다. 이와 같은 8진트리는 일반적으로 계층적 데이터 구조, 공간 번지(spatial addressability) 및 사전 정렬(pre-sorted) 특성을 가지므로 물체 사이의 교차 검사, 공간에서 점이나 블록의 위치 결정, 음면(hidden surface) 제거 조작, 연결된 성분 라벨링, 이웃 영역 발견 및 트리 탐색등이 편리한 장점을 가진다.⁽¹⁾

*正會員, 延世大學校 電氣工學科
(Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1990年 12月 24日

한편 Chien과 Aggarwal^[2]은 3차원 물체의 3개 직교 면에 대한 실루엣(silhouettes) 영상을 이용한 8진트리 구성 알고리즘을 제시하였으나, 이 방법은 실루엣 영상을 이용하기 때문에 모퉁한 부분등을 가지는 복잡한 물체들을 정확하게 표현하지 못하는 제한성을 가진다. 그 후에 Ahuja와 Veenstra^[3]는 3개 면, 6개 모서리 및 4개 꼭지점을 관측점으로 해서 얻어진 실루엣 영상들을 이용한 8진트리 구성 알고리즘을 제시하였다. 이 방법은 3차원 물체의 정확한 표현은 개선하였으나 관측점이 너무 많아서 8진트리의 구성을 위한 트리 구성 시간 및 메모리 운용면에서 비효율적인 단점을 가진다.

따라서 본 연구에서는 실루엣 영상을 이용한 8진트리 구성 방법이 가지는 정확한 표현의 제한성을 개선하기 위해, 3차원 물체에 대한 각 직교면 관측에 의해 관측된 깊이 영상(depth image)을 이용하여 3차원 물체를 정확하게 표현하는 8진트리 구성 알고리즘을 제안하고자 한다. 여기서 관측된 깊이영상에 대하여 트리구성 시간과 메모리 이용면에서 효율적인 최적 4진트리(optimal quadtree) 구성 알고리즘^[4]을 적용하여 4진트리를 구성하고자 하며, 또한 깊이영상의 경우에 적합하도록 4진트리의 4진소와 8진트리의 8진소 사상 관계 및 4진트리의 각 노드에 주어진 계조도 값을 이용한 의사 8진트리 구성 방법을 제안하여 사용함으로써 각 직교면에 대한 의사 8진트리들을 구성한 후에 이들에 대한 체적 교차를 수행하여 3차원 물체를 정확하게 표현하는 완전 8진트리(complete octree)를 구성하고자 한다.

II. 깊이 영상에 대한 8진트리 구성

본 연구의 방법에서 3차원 물체에 대한 정확한 8진트리 표현을 구성하기 위해서는 우선 6개의 직교면(x, y, z, -x, -y, -z) 관측에 의한 깊이영상의 생성이 필요하다. 본 연구에서는 3차원 물체의 표면에 대한 3차원 레인지 데이터(range data)를 가정하고 가정된 레인지 데이터를 이용하여 관측자로 부터의 거리에 따라 계조도 값을 부여함으로써 깊이영상을 생성한다.^[5] 이 때 관측자로 부터 가장 가까운 거리에 위치한 전체 8진트리 공간의 면 및 가장 먼 거리에 위치한 전체 8진트리 공간의 면은 각기 가장 밝은 100[%] 및 가장 어두운 0[%]의 계조도 값이 주어지며, 이들 사이에 위치한 8진트리 공간의 면은 관측자로 부터의 거리에 반비례하여 계조도 값이 주어진다. 따라서 깊이영상에 주어진 계조도 값은 관측영상에서 면의 깊이를 의미하는 관측깊이라고 할 수

있으며, 이와 같은 방법에 의해 얻어진 깊이 영상은 3차원 물체에 의해 점유되는 공간영역에 대한 정보 및 실루엣 영상의 경우와는 달리 이 점유 공간영역에 대한 깊이정보도 함께 가지게 된다.

1. 깊이영상에 대한 4진트리 구성

그림1의 3차원 물체의 각 직교 면 관측에 대하여 앞서 서술한 방법에 의해 관측된 깊이영상들은 그림2와 같으며, 그림2의 깊이영상에 표시된 숫자는 3차원 물체 표면의 3차원 레인지 데이터에 따라 주어진 퍼센트 계조도 값을 나타낸다. 그림2에서 (-) 직교면 관측에 의한 깊이영상들을 생각하였는데, 면 -y 및 -z 관측의 경우에는 전체 퍼센트 계조도 값이 100[%]로 주어지는 깊이영상들이고 면 -x 관측에 의한 깊이영상에 대한 정보는 면 y 및 면 z 관측에 의한 깊이영상들에 포함되어지므로 여기서는 3차원 물체의 정확한 표현을 위한 최소의 관측을 선택한다.

한편 그림2의 깊이영상을 이용하여 3차원 물체에 대한 8진트리를 구성하기 위해서는 깊이영상에 대한 4진트리를 구성해야 하는데, 선형 4진트리의 구성을 위해 제안된 최적 4진트리 구성 알고리즘^[5]에 기초하여 그림2와 같은 깊이영상에 대한 4진트리를 각 직교 면 관측에 대하여 구성하였다. 이 때 4진트리는 트리의 탐색 및 연산이 효율적인 포인터 구조를 이용하여 구성하였다. 그림3은 본 연구에서 4진트리의 구성에 사용한 데이터 구조로서 5개의 필드로 구성된다. 처음의 4개 필드는 4개의 자노드(son node)에 대한 포인트이며, 다섯번째 필드는 노드 표현자(node descriptor)로서 실루엣 영상의 경우와 달리 깊이영상의 계조도 값을 저장하게 되며 부노드(father node)에 대한 정보를 위한 버퍼를 구성함으로써

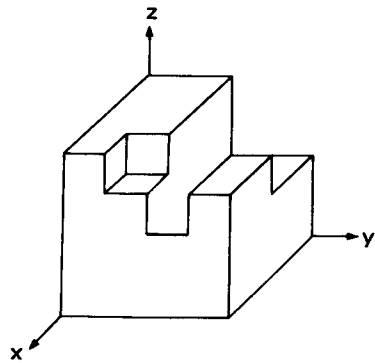


그림 1. 3차원 물체
Fig. 1. 3D object.

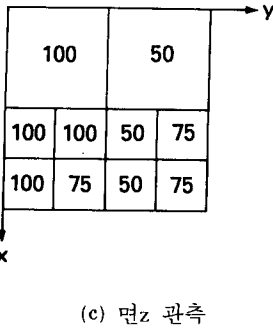
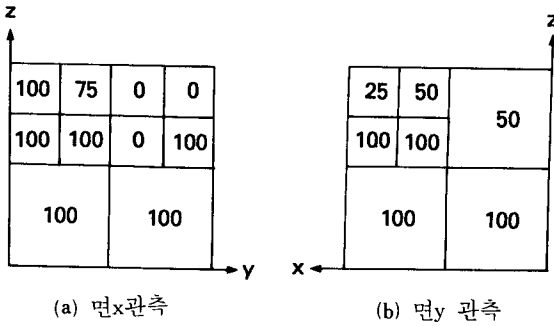


그림 2. 직교면 관측에 의해 생성된 깊이 영상
Fig. 2. Depth images for each orthogonal face view.

son[0]	son[1]	son[2]	son[3]	node scriptor
--------	--------	--------	--------	---------------

그림 3. 4진트리의 데이터 구조
Fig. 3. Data structure for quadtree.

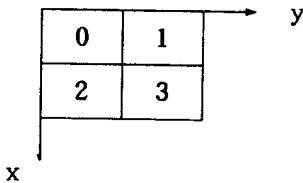


그림 4. 4진소 라벨
Fig. 4. Quadrant label.

부노드에 대한 포인터를 대신하였다. 한편 그림 4는 본 연구에서 4진트리의 구성을 위해 사용한 4진소(quadrant)의 라벨을 나타낸다.

한편 본 연구에서 적용한 최적 4진트리 구성 알고리즘은 이웃 노드 발견 알고리즘⁽⁶⁾과 최대 노드 삽입(largest node insertion) 기술을 이용한 반복적 부분 분할을 통해 4진트리를 구성하게 되는데, 이와 같은 최적 4진트리 구성 알고리즘을 그림2의 각 직교면의 깊이영상들에 적용하여 4진트리들은 구성한 결과는 그림5와 같다. 이 때 적용한 최적 4진트리 구성 알고리즘은 기존 방법⁽⁷⁾과는 달리 입력영상의 블록수에 비례하여 노드가 발생되기 때문에 4진트리를 구성하는데 병합(merging) 과정이 필요없게 된다.

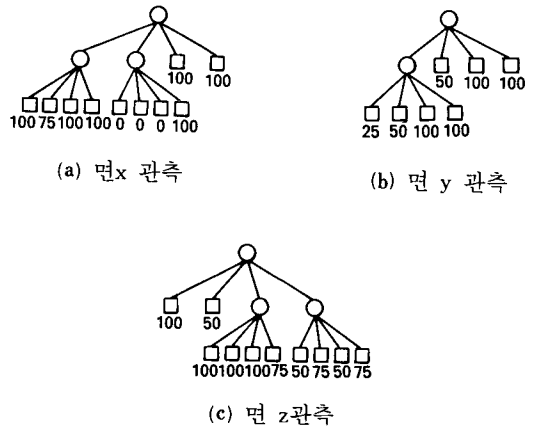


그림 5. 각 직교면의 깊이영상에 대하여 구성된 4진트리들

Fig. 5. Quadtrees for depth images of each orthogonal face view.

2. 4진트리로부터 8진트리의 구성

1절에서 서술한 방법에 의해 구성된 4진트리를 이용하여 3차원적 표현인 8진트리로 확장하기 위해서, 각 직교면에 대하여 구성된 4진트리의 노드에 주어진 계조도 값들로 부터 의사 8진트리(pseudo octree)의 노드에 대한 색정보를 결정하는 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 각 직교면 관측에 따라 원통형으로 투영되는 수직 투시 방법에 기초하며, 또한 깊이영상의 경우에 적합한 의사 8진트리 생성 방법을 사용한다.

우선 각 직교면 관측에 대한 4진트리로부터 의사 8진트리를 구성하기 위해서는 4진소와 8진소의 사상 관계가 필요하게 되며, 그림6은 본 연구에서 사용한 8진소(octant)의 라벨을 나타내고, 그림7은 각 직교면 관측의 경우에 앞면과 뒷면에 따른 4진소와 8진소의 사상 관계를 나타낸다.

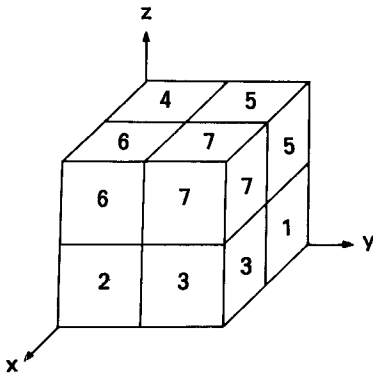


그림 6. 8진소의 라벨
Fig. 6. Octant label.

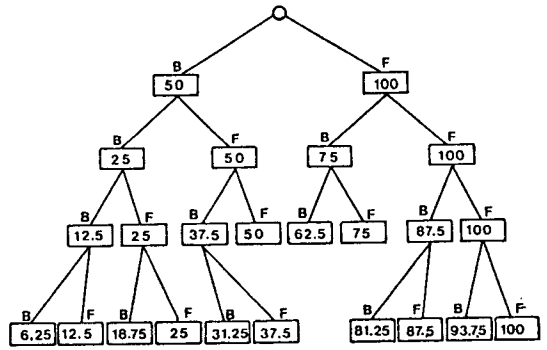


그림 8. 트리의 깊이와 경로에 따라 결정된 각 8진소의 계조도 값
Fig. 8. Resolution value of each octant determined by the tree depth and the path.

한편 각 직교면에 대한 의사 8진트리의 노드에 대한 색정보를 결정하기 위해서는 그림7과 같은 4진소와 8진소 사이의 사상 관계이외에도 각 직교면 관측에 따라 8진트리의 임의 깊이에 위치한 노드에 대응되는 8진소에 대한 계조도 값이 결정되어야 하는데, 8진트리의 동일한 깊이에서는 8진소가 관측 방향에 대하여 앞면 혹은 뒷면에 해당되는지의 여부에 따라 결정되며, 또한 8진 트리의 깊이 d에 따라 변하게 된다. 따라서 임의의 관측방향에 대한 각 8진소에 대한 계조도 값은 경로 P에 의해 구성되는 각 8진소의 관측 방향에 대한 앞면 혹은 뒷면인지의 여부와 깊이에 의해 결정되며, 이와 같은 방법에 의해 결정된 각 8진소에 대한 계조도 값은 그림8과 같다. 그림8에서 'F'는 각 깊이에서의 앞면에 해당되는 4개 8진소의 경우를 나타내며, 반면에 'B'는 뒷면에 해당되는 4개 8진소의 경우를 나타낸다. 따라서 8진트리의 임의의 깊이에 위치한 노드에 대응되는 8진소에 대한 계

조도 값 N_g 는 식(1)로 주어진다.

$$N_g = \sum_p (1 - 2^{-k} g_k) \times 100 [\%] \quad (1)$$

여기서 P는 탐색되어지는 경로로서 깊이 d의 정보도 포함되며, g_k 는 노드에 대응되는 8진소가 관측 방향에 대하여 앞면일 경우에는 '0'의 값을 가지며, 뒷면의 경우에는 '1'의 값을 가지는 인식자(indicator)이다.

한편 이와 같은 관계를 이용하여 임의 8진소에 대한 계조도 값을 결정하는 알고리즘은 알고리즘 1과 같다. 아래의 알고리즘에서 rsl과 gry의 초기 값은 전체 계조도 값의 100[%]이며, 임의 8진소가 앞면 혹은 뒷면에 해당되는지를 조사하여 계조도 값 rsl이 결정된다. 또한 임의 8진소 크기에 따라 octant_resolution() 루틴을 반복 수행함으로써 계조도 값 rsl을 결정하게 되며, 이 루틴이 한번 실행될 때 마다 트리깊이 d는 '1'씩 증가된다.

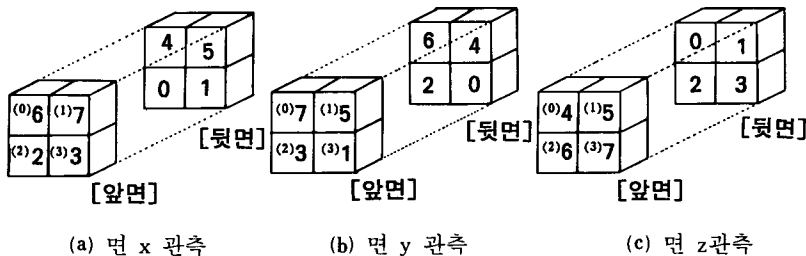


그림 7. 4진소와 8진소의 사상관계
Fig. 7. Mapping relation between quadrants and octants.

```

procedure octant_resolution (i, rsl, L, gry)
/*임의 8진소의 계조도값 결정*/
begin
value position i; /*i: 각 8진소의 앞면의 원점으로부터의거리*/
value size L; /*L: 3차원 물체의 길이*/
reference resolution rsl; /*rsl: 임의 8진소의 계조도 값*/
value integer gry;

gry←gry/2 ;
/*8진소가 부8진소 (father node)의 뒷면에 위치하는 경우*/
if (i ≤ L/2) then L← L/2;
           rsl←rsl-gry;
/*8진소가 부8진소 (father node)의 앞면에 위치하는 경우*/
else if (L/2 < i < L) then i← i - (L/2);
           L← L/2 ;
           octant_resolution (i, rsl, L, gry);

if (i != L) then octant_resolution (i, rsl, L, gry);
end;

```

알고리즘 1. 8진소의 계조도 값 결정

Algorithm 1. Determination for resolution values of octants.

따라서 트리깊이 $d=0$ 인 큰 노드 (root node)에서 8진소가 가지는 계조도 값은 물체가 공간을 점유하지 않는 경우에 해당하는 0[%]와 공간을 점유하는 경우에 해당하는 100[%]의 2개이며, 트리깊이 $d=1$ 에서 8진소가 가지는 계조도 값은 0[%]와 공간을 점유하는 경우에 뒷면과 앞면에 따른 사상 관계에 의해 각기 50[%] 및 100[%]의 3개가 된다. 또한 트리깊이 $d=2$ 에서는 물체가 공간을 점유하지 않는 경우에 해당하는 0[%]와 트리깊이 $d=1$ 에서의 계조도 값이 50[%] 및 100[%]인 8진소들이 뒷면과 앞면에 따른 사상 관계에 의해 25[%], 50[%] 및 75[%], 100[%]의 계조도 값을 각기 가지므로 5개의 계조도 값을 8진소가 가지게 된다. 따라서 임의 트리깊이 d 에서는 2^d+1 개의 계조도 값이 나타나게 된다.

이와 같이 해당 트리 깊이에 나타날 수 있는 8진소의 계조도 값들과 8진소에 사상되는 4진소에 저장된 계조도 값을 비교함으로써 의사 8진트리를 구성하게 되는데, 이들이 서로 다른 경우와 4진소가 회색 노드 (gray node)인 경우에는 8진소는 8개의 자노드를 갖는 회색 노드가 되며 그 이외의 경우에는 지엽 노드 (leaf node)가 된다. 또한 임의 8진소가 지엽 노드인 경우에 흑색 노드 (black node) 혹은 백색 노드 (white node)의 결정은 알고리즘 1에 의해 결정된 임의 8진소에 대한 계조도 값이 4진트리상에서 사상

되는 4진소의 계조도 값보다 작거나 같으면 흑색 노드가 되고 큰 경우에는 백색 노드가 된다.

이와 같은 방법에 의해 그림 5(a)와 같은 4진트리로부터 의사 8진트리의 구성 과정을 면 x 관측의 경우에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 트리깊이 $d=1$ 에서 4진트리의 노드 2 및 3은 노드표현자가 100[%]의 계조도 값을 가지므로, 이것이 사상되는 8진트리의 노드 0, 1, 2 및 3은 흑색 노드로 결정되고, 반면에 4진트리의 노드 0 및 1은 회색 노드이므로 이것이 사상되는 8진트리의 노드 4, 5, 6 및 7은 회색 노드로 결정된다. 한편 트리깊이 $d=2$ 에서 회색 노드로 결정된 8진 트리 노드의 색정보를 4진트리의 노드에 주어진 계조도 값을 이용하여 결정해야 되는데, 8진트리의 노드 4의 경우에는 알고리즘 1에 의해 결정된 계조도 값들이 $d=1$ 에서 부노드가 0인 4진트리의 노드들에 주어진 계조도 값보다 작으므로 모두 흑색 노드로 결정되어, 결국 트리깊이 $d=1$ 에서의 8진트리의 노드 4는 흑색 노드로 되어 있다. 또한 8진트리의 노드 5의 경우에는, $d=1$ 에서 부노드가 1인 4진트리의 노드들의 계조도 값 및 사상 관계에 의해 8진트리 노드의 색정보가 결정되는데, 계조도 값이 0[%]인 4진트리의 노드 0, 1 및 2는 알고리즘 1에 의해 결정된 계조도 값 25[%] 및 50[%] 보다 작은 계조도 값을 가지므로 이것이 사상되는 8진트리의 노드 0, 2, 4, 5, 6 및 7은 백색 노드로 결정되며, 계조도 값이 100[%]인 4진트리의 노드 4는 알고리즘 1에 의해 결정된 계조도 값 보다 크므로 8진트리의 노드 1 및 3은 흑색 노드로 결정된다. 또한 8진트리의 노드 6 및 7의 경우에도 8진 트리의 노드 4 및 5의 경우와 동일한 방법을 적용함으로써 8진트리 노드의 색정보를 결정한다. 이와 같은 방법을 이용하여 면 x 관측에 대해 구성된 의사 8진트리는 그림 9(a)와 같으며, 면 y 및 면 z 관측에 대해 구성된 의사 8진트리는 각기 그림 9(b) 및 그림 9(c)와 같다. 이때 본 연구에서 의사 8진트리의 구성에 사용한 데이터 구조는 그림 10과 같으며, 노드표현자에는 결정된 색정보가 저장된다.

한편 본 연구에서는 각 직교면에 대하여 구성된 의사 8진트리들을 체적 교차 (volume intersection) 방법^[15]을 이용하여 최종적으로 완전 8진트리 (complete octree)로 구성하게 되며, 이 때 (-) 직교면 관측에 의해 깊이 영상들이 생성된 경우에는, 이들로 부터 구성된 의사 8진 트리들도 포함하여 체적 교차를 수행한다. 한편 그림 9와 같은 의사 8진트리들에 대하여 체적 교차를 수행함으로써 구성된 완전 8진트리는 그림 11과 같다.

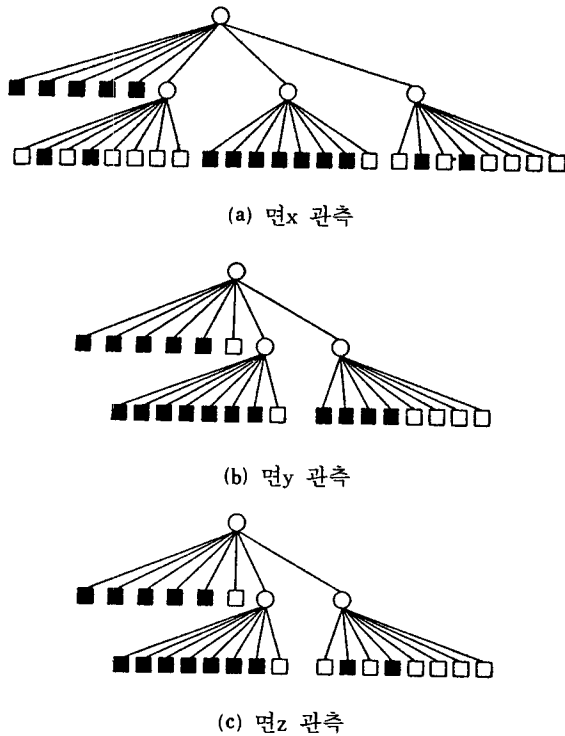


그림 9. 각 직교면 관측에 대하여 구성된 의사 8진트리

Fig. 9. Constructed pseudo-octree for each orthogonal face view.

son	son	son	son	son	son	son	son	node
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	descriptor

그림 10. 8진트리의 데이터 구조

Fig. 10. Data structure for octree.

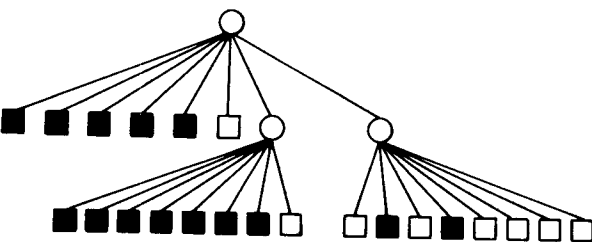


그림 11. 구성된 완전 8진트리

Fig. 11. Constructed complete octree.

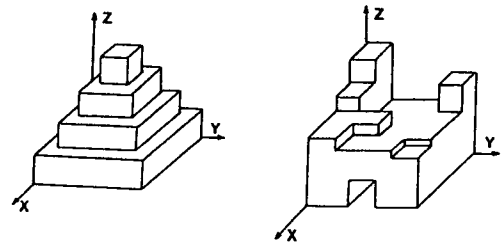
III. 실험 및 결과고찰

1. 실험

본 연구의 실험에서 3차원 물체에 대한 8진트리 구성 및 구성된 8진트리에 의해 재구성된 물체의 디스플레이 등을 위하여 구성된 실험 시스템에서 3차원 물체에 대한 깊이 영상은 3차원 물체의 표면에 대하여 각 좌표의 최대 길이가 1로 정규화된 8진트리 공간 좌표계에 의해 주어지는 레인지 데이터에 따라 실시간 영상 디지털라이저(real-time image digitizer)의 입력 ULT(look up table)을 사용하여 256개의 계조도 값을 입력하여 줌으로써 생성하였으며, 이와 같은 방법에 의해 생성된 깊이 영상은 128×128 의 해상도를 가진다. 또한 본 연구의 방법에 의해 구성된 8진트리에 의해 재구성된 3차원 물체들은 고해상도를 가지는 R. B. G 모니터를 사용하여 디스플레이 하였다.

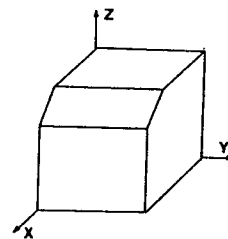
본 실험에서는 제안한 방법에 의해 구성된 완전 8진트리가 3차원 물체를 정확하게 표현함을 검증하기 위해 그림 12와 같은 3차원 물체들을 선정하였는데, 특히 물체 2의 선정은 3차원 물체의 오목한 부분에 대한 본 연구의 방법의 정확한 표현을 검증하기 위해 선정하였다.

본 연구의 방법에서는 3차원 물체에 대하여 가능



(a) 물체1

(b) 물체2



(c) 물체3

그림 12. 실험에 사용한 3차원 물체

Fig. 12. 3D objects used in this experiments.

한 6개의 직교면 관측들이 필요한데, 1절에 서술한 이유에 근거하여 본 실험에서는 그림12의 3차원 물체의 정확한 구성이 가능한 수 만큼 관측영상을 생성하였으며, 이와 같은 관측 방법에 의해 물체1, 물체2 및 물체3의 각 직교면 관측에 대하여 생성된 깊이 영상들은 각기 그림13, 그림14 및 그림15와 같다.

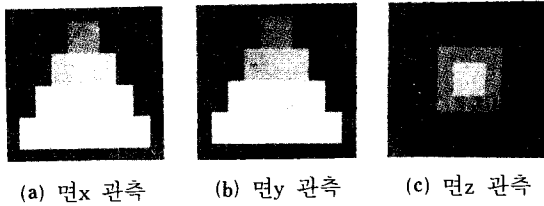


그림13. 물체1의 각 직교면 관측에 의한 깊이 영상
Fig. 13. Depth images for each orthogonal face view of object 1.

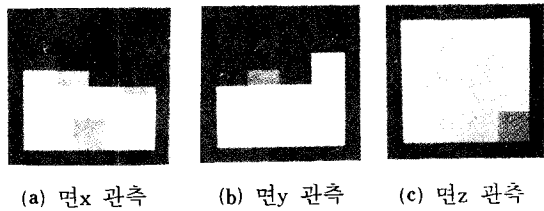


그림14. 물체 2의 각 직교면 관측에 의한 깊이 영상
Fig. 14. Depth images for each orthogonal face view of object 2.

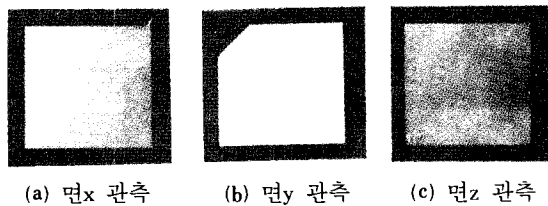


그림15. 물체3의 각 직교면 관측에 의한 깊이 영상
Fig. 15. Depth images for each orthogonal face view of object 3.

그림13, 그림14 및 그림15의 각 직교면에 대한 깊이영상을 포인터 구조를 사용한 최적 4진트리 구성 알고리즘을 적용함으로써 4진트리를 구성한 다음에, 제안한 알고리즘을 이용하여 각 직교면에 대한 의사 8진트리들을 구성한 후에 이들에 대하여 체적 교차

를 수행함으로써 완전 8진트리를 최종적으로 구성하였다.

2. 결과 고찰

제안한 완전 8진트리 구성 방법에 의해 구성된 완전 8진 트리가 3차원 물체를 정확하게 표현하는지의 여부를 검증하기 위하여, 3차원 디스플레이에 의한 도식적인 방법¹⁰⁾과 체적비 계산에 의한 정량적인 방법을 사용하여 3차원 물체에 대한 표현의 정확성을 검증하였다.

우선 본 실험에 사용된 3차원 물체들에 대하여 구성된 완전 8진트리를 관측자에 대해 뒷면에 위치한 8진소부터 순차적으로 디스플레이하여 음면을 제거함과 동시에 관측자와의 거리에 따라 명암 처리하여 출력한 결과들은 그림16과 같다.

출력된 결과들로부터 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리들은 모두 그림12의 선정된 3차원 물체들을 정확하게 표현함을 도식적으로 알 수 있다.

그림16(a)의 결과를 얻기 위한 중간 과정에서 면z 관측의 경우와 같이 3차원 물체를 완전히 관측 가능한 경우에는 하나의 직교면 관측에 의해 얻어진 깊이 영상으로부터 구성되어진 의사 8진트리는 3차원 물체를 정확하게 표현함을 알 수 있으므로, 본 연구의 방법은 3차원 물체의 표현을 위한 관측 비용절감의 효과를 가짐을 알 수 있다.

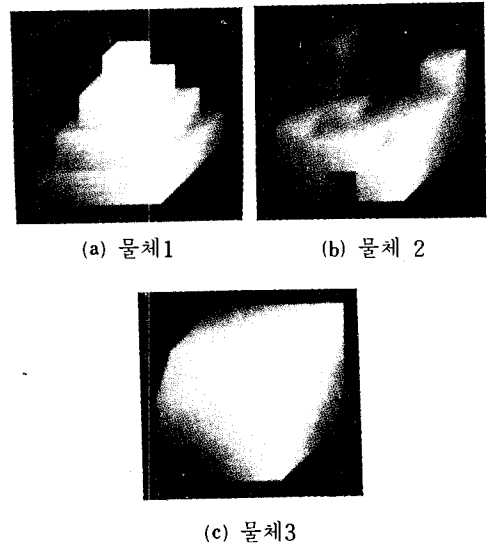


그림16. 구성된 완전 8진트리에 의한 재구성된 3차원 물체들

Fig. 16. 3D objects reconstructed by constructed complete octree.

한편 그림16(b)의 출력된 결과에서와 같이 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리는 실루엣 영상을 이용하여 표현이 불가능한 3차원 물체의 오목한 부분들에 대하여서도 정확하게 표현함을 알 수 있다. 그림16(b)의 완전 8진트리 구성을 위한 중간 과정을 살펴보면, 그림17에서와 같이 3차원 물체의 오목한 부분은 면x 관측과 같은 직교면 관측들에 대하여 구성된 의사 8진트리들로부터 구성됨을 알 수 있다.

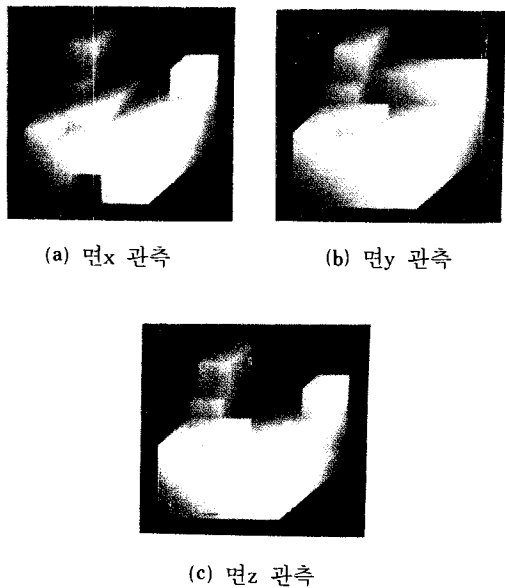


그림17. 각 직교면 관측에 대한 의사 8진트리에 의해 재구성된 물체2(깊이 영상의 경우)
Fig. 17. 3D object 2 reconstructed by constructed pseudo-octree for each orthogonal face view. (depth image case)

반면에 0[%]와 100[%]의 계조도 값으로만 생성되는 실루엣 영상을 이용하여 경우에, 물체 2의 각 직교면 관측에 대하여 실루엣 영상을 생성하여 이들에 본 연구의 방법을 적용함으로써 각 직교면 관측에 대하여 구성된 의사 8진트리들은 3차원적으로 디스플레이 한 결과는 그림18과 같은데, 출력된 결과들로부터 모든 직교면 관측들에 대하여 구성된 의사 8진트리들은 물체 2의 오목한 부분을 표현하지 못함을 알 수 있다.

또한 그림16(c)와 같이 디스플레이된 결과를 통하여 3차원 물체의 경사진 부분들에 대해서도 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리는 3차원 물체의 경사면을 정확하게 표현함을 도식적으로 알 수

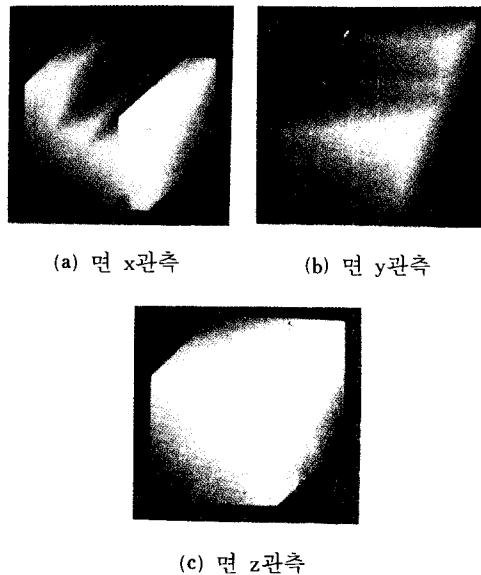


그림18. 각 직교면 관측에 대한 의사 8진트리에 의해 재구성된 물체2 (실루엣 영상의 경우)
Fig. 18. 3D object 2 reconstructed by constructed pseudo-octree for each orthogonal face view. (silhouettes image case)

있다.

한편 이와 같은 3차원 디스플레이 방법 이외에 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리 표현의 정확성을 좀더 자세히 조사하기 위해, 정량적인 방법인 체적비 계산 방법을 사용하였는데, 그림16의 3차원 물체들에 대하여 구성된 완전 8진트리들을 이용하여 계산된 체적 및 체적비는 표1과 같다. 표1에서 3차원 물체의 체적을 구할 때 길이의 단위로 화소를 사용하였으며, 3차원 물체의 체적에 대한 단위는 [pixel³]이 된다. 한편 본 실험에서 사용한 깊이 영상은 128×128 영상이므로, 3차원 물체를 나타내기 위해

표 1. 실제 물체와 재구성된 물체에 대하여 계산된 체적비

Table 1. Volume ratio computed for real and reconstructed objects.

	실제 물체		재구성된 물체	
	체적	체적	체적	체적비
물체1	1,540,096[pixel ³]	1,540,096[pixel ³]	100[%]	
물체2	1,236,992[pixel ³]	1,236,992[pixel ³]	100[%]	
물체3	2,031,616[pixel ³]	2,027,520[pixel ³]	99.79[%]	

사용된 8진 트리 공간의 전체 입방체에 대한 체적은 $128 \times 128 \times 128$ [pixel³]이 되며, 표1의 3차원 물체에 대한 실제 체적은 3차원 레인지 데이터에 의해 계산된 체적을 [pixel³] 단위로 환산한 것이다.

표1에서의 결과들로 부터, 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리 표현은 물체1 및 오목한 부분을 포함하는 물체2의 경우에 실제 물체들과의 체적비가 모두 100[%]이고, 물체 3과 같이 경사면을 가지는 물체의 경우는 체적비가 99.79[%]인데 이와 같은 결과는 그림15(b)에서와 같이 경사면이 깊이 영상에서 화소 단위로 디지털화정(digitizing) 됨으로써 발생한 양자화 오차인 것으로 추정된다.

3차원 디스플레이 방법 및 체적비 계산 방법을 이용하여 얻어진 결과들로 부터, 본 연구의 방법에 의해 구성된 완전 8진트리들은 3차원 물체의 경사면에 대한 양자화 오차를 제외하면 3차원 물체를 정확하게 표현함을 알 수 있다.

한편 실험에 사용된 물체1, 물체2 및 물체3을 표현하는데 사용된 구성 노드의 수는 표2와 같다.

표 2. 3차원 물체들의 표현에 사용된 구성 노드 수

Table 2. Number of construction nodes for representing 3D objects.

	물체 1	물체 2	물체 3
구성노드 수	899	519	13,975

IV. 결 론

본 연구에서는 3차원 물체에 대한 직교면 관측에 의해 얻어진 2차원 깊이 영상을 이용하여 3차원 물체를 정확하게 표현할 수 있는 8진트리 구성 알고리즘을 제안하였다. 제안된 완전 8진트리 구성 알고리즘을 선정된 3차원 물체들에 적용하여 3차원 디스플레이에 의한 도식적인 방법을 사용하여 3차원 물체에 대한 표현의 정확성을 검증한 결과, 제안한 알고리즘에 의해 구성된 8진트리들은 선정된 3차원 물체들을 모두 정확하게 표현함을 알 수 있었고 특히 물

체2와 같이 3차원 물체의 오목한 부분도 정확하게 표현함을 알 수 있었다. 또한 체적비 계산에 의한 정량적인 방법을 사용하여 검증한 결과, 3차원 물체의 기하학적 특성도 정확하게 표현함을 알 수 있었다(물체1:100%, 물체2:100%, 물체3:99.79%). 아울러 본 연구의 방법은 3차원 물체의 표현을 위한 관측 비용의 절감 효과를 가짐을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 깊이 영상의 경우에 적합하도록 제안한 완전 8진트리 구성 알고리즘은 컴퓨터 그래픽, 컴퓨터 비전, 로봇트 작업공간의 3차원 모델링 등에 응용 가능하리라 기대된다.

參 考 文 獻

- [1] H. H. Chen and T.S. Huang, "A Survey of Construction and Manipulation of Octrees," *CVGIP*, vol. 43, pp. 409-431, 1988.
- [2] C.H. Chien and J.K. Aggarwal, "Volume/Surface Octrees for the Representation of Three-Dimensional Objects," *CVGIP*, vol. 36, pp. 100-113, 1986.
- [3] N. Ahuja and J. Veenstra, "Generating Octrees from Object Silhouettes in Orthographic Views," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 11, pp. 137-149, 1989.
- [4] J.L.C. Sanz (ed.), *Advanced in Machine Vision*, Springer-Verlag, New York, 1989.
- [5] C.A. Shaffer and H. Samet, "Optimal Quadtree Construction Algorithms," *CVGIP*, vol. 37, pp. 401-419, 1987.
- [6] H. Samet, "Neighbor Finding Techniques for Images Represented by Quadtrees," *CVGIP*, vol. 18, pp. 37-57, 1982.
- [7] H. Samet, "An Algorithm for Converting Raster to Quadtrees," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 3, no. 1, pp. 93-95, 1981.
- [8] L.J. Doctor and J.L. Torborg, "Display Techniques for Octree-Encoded Objects," *IEEE CG & A*, vol. 1, no. 3, pp. 29-38, 1981.

著 者 紹 介



崔 允 浩 (正會員)

1957年 1月 14日生. 1980年 2月 연세대학교 전기공학과 공학사 학위 취득. 1982年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사 학위 취득. 1991年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학박

사 학위 취득. 1987年 3月~현재 연세대학교 산업기술연구소 선임연구원 재직. 주관심분야는 Computer Vision, 지능 제어 및 로봇 공학 등임.



宋 裕 珍 (正會員)

1965年 11月 21日生. 1988年 2月 연세대학교 전기공학과 공학사 학위 취득. 1991年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사 학위 취득. 1991年 3月~ 현재 한국산업전자(주) 부설연구소

연구원 재직. 주관심분야는 영상처리, Robot Vision 및 3차원 그래픽스 등임.

洪 敏 碩 (正會員)

1966年 3月 28日生. 1988年 2月 연세대학교 전기공학과 공학사 학위 취득. 1990年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사 학위 취득. 1990年 3月~현재 삼성전자(주) 가전연구소 연구원 재직. 주관심분야는 Computer Vision, 영상처리 및 영상신호 압축 등임.



朴 相 暗 (正會員) 第25卷 第11號 參照

현재 연세대학교 전기공학과 교수