

# 계층적 데이터 구조를 이용한 3차원 물체인식에 관한 연구

## (A Study on 3-D Object Recognition using Hierarchical Data Structure)

禹 廣 芳\*, 金 榮 日\*\*

(Kwang Bang Woo and Young Il Kim)

### 要 約

본 논문에서는 4진 및 8진트리의 실루엣 화상을 이용하므로써 2차원 화상으로부터 물체를 추론하고 인식하는 방법을 서술하였다.

물체정합에 이용되는 물체표현은 위치와 경사도에 불변이어야하는 속성을 가지므로 그러한 속성을 갖고 있는 주축의 화면상에 일반화 8진트리를 투영하여 1차 및 2차 정합을 수행하였다.

정규 8진트리 노우드가 직각방향의 관측으로부터 구성되는데 비하여 일반화 8진트리는 관측방향에 무관한 특징을 이용하므로써 모델과 미지물체의 각 트리쌍에서 차이도를 계산하여 물체를 인식하는 방법을 제안하였다. 3차원 물체표현 및 물체인식의 정확성을 입증하기 위하여 14개의 기하학적 모델을 선정하고, 실험을 수행하였으며, 그 결과를 고찰하였다.

### Abstract

This paper presents a recognition method which interprets 3-D object in terms of several silhouettes of quadtree and octree.

Object representation used in object matching should be invariant with respect to location and orientation of the object. Generalized octree is projected on to image plane along the principal axes. Regular octree is made from orthogonal directions, but generalized octree is independent to viewing directions.

Recognition process is achieved in two-stage matching.

The quadtrees and octrees of unknown object with minimum dissimilarities are matched with the quadtrees and octrees of the models.

So as to verify efficiency of 3-D object representation and accuracy of object recognition, experiments are performed for 14 different type of geometrical models and its results have been shown.

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

\*\*正會員, 東海中央研究所  
(Tong Hae R & D Lab.)  
接受日字 1989年 4月 21日

### I. 서 론

산업용 로봇 등 공장 자동화 시스템의 보급에  
수반하여 보다 신속성 있고 고성능의 시스템 구현을  
위한 시각 인식 기술의 연구가 최근에 활발하게 진

행되어 가고 있다.

1970년대 초부터 반도체 마이크로 프로세서, 컴퓨터 등 기술의 발전에 따라 디지털 신호처리 기술은 급속하게 성장하고 있으며 인간이 행하던 일을 기계가 대신 해내려는 시도가 급기야는 방대한 데이터량을 갖는 화상처리 영역에 까지 미치게 되었다.

최근의 컴퓨터 비전에서 중요한 연구 분야는 한 장면에서 3차원 물체를 인식하는 것으로서, 2차원 화상으로부터 물체에 대한 3차원 정보를 어떤 제약조건(constraints)하에서 유도하고 인식을 수행하기 전에 3차원 물체를 표현하기 위한 방법을 선택한다.

3차원 물체의 기하학적 표현으로는 Forrest와 Rosenfeld가 제안한 3차원 물체를 표면으로 나누어 표현하는 방법, Jackins와 Tanimoto가 이용한 8진트리(Octree) 및 CSG(constructive solid geometry)와 같이 체적으로 나누어 표현하는 방법, Binford에 의한 실린더 모델 방법, 그리고 Machworth가 꼭지점이나 엣지등을 이용하여 발표한 선화작성(line drawing) 방법등이 있다.<sup>[1,2,3,4]</sup>

본 논문에서 효과적인 트리 순회(tree traversal) 알고리즘을 갖는 8진트리 구조는 직각방향의 관측조건을 만족하는 후보모델이며, 순환 분할 및 재분할차를 이용하여 3차원 이치 배열로부터 형성되는 계층적 데이터 구조이다.<sup>[5,6]</sup>

정규 8진트리는, 옥탄트(Octant)를 정육면체로 정의하며, 일반화 8진트리는 직교하지 않는 비공평면(non-coplanar) 관측으로부터 얻어진 평행 육면체로 정의한다.

물체 정합(10)을 수행하기 위해서 물체의 표현은 위치와 경사도에 불변이어야 하는 속성을 가지므로, 이 문제를 해결하기 위한 방법으로서 본 논문은 주축(principal axes)을 따라 일반화 8진트리를 세개의 주관측(principal view) 화상면 상에 투영하고, 주4진트리를 근거로한 8진트리를 이용하여 정합을 수행한다.

주축의 계산은 2차 모멘트를 포함하는 3×3 관성 모멘트 행렬의 계산을 필요로하며 이 모멘트 계산은 세관측 방향에 의해서 지정된 일반화 좌표계를 근거로하여 수행된다. 일반화 좌표계에서 직교 좌표계로의 좌표 변환은 관성 모멘트(moment of inertia) 행렬에 적용되고 세 개의 주축은 그 특성근 벡터를 계산하여 관성 모멘트 행렬로부터 얻는다.

물체 정합은 1차 및 2차 정합의 두단계로 나누어 수행하였으며, 1차 정합에서 미지물체의 주4진트리와 여러 모델의 4진트리를 정합시키므로써, 차이도가 작은 몇 개의 모델을 선택하였다. 2차 정합은 피관측

물체와 모델의 8진트리를 각각 생성한 후 물체를 인식하기 위해서 8진트리쌍(octree pair)에서 수행하였다.<sup>[7]</sup>

본 논문에서는 영역 표현과 체적 표현의 효과적 데이터 구조인 4진트리와 8진트리의 구조 및 생성방법, 그리고 실루엣 화상의 재구성에 관하여 서술한다. 또한 세개의 실루엣으로부터 3차원 물체를 인식하기 위한 주 관성 모멘트의 계산과, 물체와 모델간의 2단계 정합에 대하여 논하며, 그 실험결과를 고찰한다.

## II. 화상의 계층적 데이터 구조

화상을 표현하고자 할때 데이터의 방대한 정보, 그것의 2차원 배열상의 문제, 그리고 상호 연결 관계에 있어서 화상을 간략화할 필요가 생기게 된다.

4진트리는 2차원 화상의 구조적인 표현을 위해서 이용되는 계층적 데이터 구조이며 4진트리의 확장인 8진트리는 데이터 압축의 속성을 가지며, 합병이나 교차등과 같은 논리적 연산 뿐만아니라 기하학적인 속성을 계산하는데 효과적인 방법을 제공한다.

2차원 실루엣(2-D silhouettes)을 기술하는데 이용되는 것은 4진 트리이며 모델과 물체의 3차원 구조를 표현하는 것은 8진트리가 이용된다.

### 1. 4진트리의 구조

본 논문에서는 공간의 필요성을 최소화 하는 방법으로 2차 화상으로부터 4진트리를 생성한다.

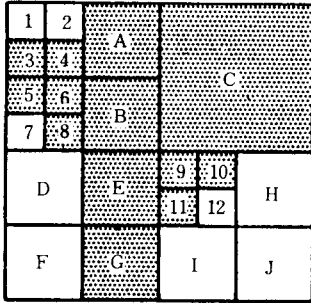
4진트리는 탐색과 같은 작업을 편리하게 할 뿐만 아니라 계층적 표현을 제공해주기 때문에 유용한 데이터 구조이다.<sup>[1,11]</sup>

4진트리는  $2^n \times 2^n$  해상도의 화상을 계속 4등분씩 세분하여 계층적으로 나타내는 표현법으로서 1이나 0으로 구성되는 블록이 생성될 때까지 나눈다.

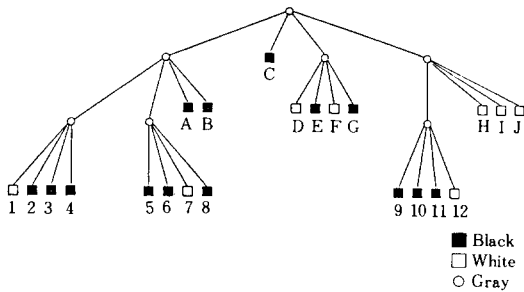
n의 레벨을 갖는 트리에서 루우트 노우드(root node)는 전체 배열을 그 루우트 노우드의 네개의 자노우드(son node)는 쿼드런트(quadrant)를 나타내며 종단 노우드는 더 이상의 재분이 필요하지 않은 배열의 블록에 해당함을 나타낸다. 트리의 K번째 레벨까지 존재할 경우 트리에 존재하는 노우드의 수는 다음과 같다.

$$N = \sum_{k=0}^n 4^k = \frac{4^{n+1} - 1}{3} \approx \frac{4}{3} 4^n$$

그림 1은 8×8 화소 배열 영역의 블록 분할과 그 4진트리를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 4진트리 구성에 이용된 8×8 화소의 피라미드 화상

(b) 피라미드 화상에 대한 4진트리

Fig. 1. (a) 8×8 pyramid image used in quadtree construction,

(b) quadtree for pyramid image.

2. 8진트리의 구조

본 논문은 메모리 공간에 대하여 경제적인 공간배열 연산을 하는 8진트리를 이용하여, 3-D물체를 표현하였다. 8진트리를 이용하여 3-D표현을 행할 경우 모든 물체는  $2^n \times 2^n \times 2^n$  큐브(cube)의 유니버스(universe)안에 존재하며, 그것은 n개의 직교축과  $0 \leq x(i) \leq e$ 로 정의된 n-차원영역의 유한의 단면으로 정의한다. 여기서  $x(i)$ 는 차원 i에서의 변위( $x(1), x(2) \dots x(n)$ )은 유니버스에서의 점 e는 유니버스의 엣지의 길이, 그리고 n은 유니버스의 차수를 각각 나타낸다.

8진트리는 공간의 큐브 영역에서 시작하여 공간을 옥탄트라 불리는 좀 더 작은 큐브로 나눈다. 옥탄트라 완전히 물체 내부에 존재하면 8진트리에서 해당 노우드는 흑으로 표시하고, 물체 외부에 존재하면 노우드는 백으로 표시한다. 옥탄트라 물체에 부분적으로 포함되어 있으면 옥탄트는 8개의 부 옥탄트로 나뉜다.

Ⅲ. 3-D 물체표현 및 화상의 재구성

2차원 화상으로부터 3차원 정보의 추론은 컴퓨터 비전의 중요한 관심사이다. 물체의 단 한개의 실루엣 화상은 일반적으로 인식을 위해서는 불충분한 3-D 정보를 전달한다.

물체의 실루엣을 실린더 형태로 구성하기 위하여 해당 관측 방향을 따라서 확장 시키면 그 물체는 실린더로 경계를 이룬다는 것을 단지 추론할 수 있다. 이러한 문제는 서로 다른 관측으로부터, 경계를 이루고 있는 실린더를 교차시키므로써 해결된다. Martin과 Aggarwal은 물체의 여러 실루엣으로 얻은 시야한계선(occluding contour)을 사용하여 물체의 체적세그먼트 표현을 구상하는데 이 개념을 이용하였다.

본 논문에서는 2-D 화상으로부터 4진트리의 생성과 그 4진트리로부터 체적표현인 8진트리를 생성하는 알고리즘을 논하고, 트리테이타 구조로부터 3-D 모델을 재구성하는 방법에 대해서 서술한다.

1. 3차원 물체 표현

3차원 물체 인식을 위한 전처리 과정은 물체를 3차원으로 표현해야만 한다. 2차원 화상으로부터 3차원 물체의 표현을 위한 방법으로서, 체적표현의 8진트리를 본 논문에서 이용하였다.<sup>14-7)</sup>

1) 8진트리의 생성

세 직각 방향의 관측을 통해서 얻은 실루엣에 대한 4진트리로부터 물체의 8진트리를 생성하는 알고리즘을 서술한다. 각각의 4진트리는 다시 8진트리로 변환되며, 이것이 해당 관측 방향에서 실루엣의 일소된 체적을 표현한다.

실린더가 축에 수직인 면을 갖고, 양분되면 그 양분된 각각의 실린더는 서로 동일한 속성을 가지므로 두개의 양분된 부 실린더에 대한 8진트리는 서로 동일해야만 한다. 따라서 단지 하나의 표현만으로 두개의 동일한 부 실린더에 대하여 적용되므로 이러한 속성은 3개의 일소된 체적의 8진트리를 생성시켜 준다. 그러므로 4진트리에 그레이 노우드 각각의 자 노우드는 관련된 8진트리에 해당하는 동일한 자 노우드의 수에 2개의 수가 할당된다. 이 트리를 실린더 모델을 기본으로 한 의사 8진트리라 부른다.

의사 8진트리에서 각 노우드는 4개의 자 노우드를 가지며, 각각의 자 노우드는 그 넘버링에 따른 트리 순회 절차가 두번 방문된다. 8진트리는 3개의 직각 방향의 관측으로부터 얻은 3개의 의사 8진트리를 교차시키므로써 생성된다.

세개의 의사 8진트리의 교차에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 루우트 노우드에서 시작하여 세계의 의사 8진트리를 병렬로 순회시킨다.
- ② 세계의 노우드중에서 적어도 한개의 노우드가 비물체 노우드라면 8진트리에서 해당 노우는 비물체 노우드이다.
- ③ 세계의 노우드가 모두 그레이 노우드라면 자 노우드의 8개의 조합을 통해서 세계의 의사 8진트리의 교차를 수행한다.
- ④ 두개의 노우드가 그레이 노우드이고, 다른 하나가 물체 노우드라면 두 그레이 노우드의 자 노우드의 조합을 통해서 두 의사 8진트리의 교차를 다음과 같은 절차로 수행한다.
  - a. 양쪽이 그레이 노우드라면, 그 자 노우드의 8개 조합을 통해서 교차를 수행한다.
  - b. 한쪽이 그레이 노우드이고, 다른 한쪽이 물체 노우드라면, 그레이 노우드를 갖는 부트리를 8진트리로 변환시킨다.
  - c. 양쪽이 물체 노우드라면, 8진트리에 해당하는 노우는 비물체 노우드이다.
- ⑤ 한개가 그레이 노우드이고, 다른 두개가 물체 노우드라면 그레이 노우드를 루우트로 갖는 부트리를 8진트리로 변환한다.
- ⑥ 세계 모두가 물체 노우드라면, 8진트리에 해당하는 노우는 물체 노우드이다.

의사 8진트리 개념을 이용하여 세직각 방향 관측의 4진트리로부터 물체의 8진트리가 생성됨을 그림 2에 나타내었다.

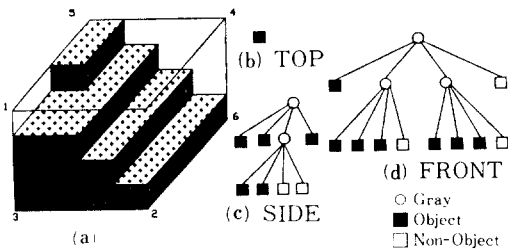


그림 2. 물체의 8진트리 생성(a)물체 (b) 입면 관측의 4진트리 (c) 측면 관측의 4진트리 (d) 정면 관측의 4진트리 (e) 세관측으로부터 8진트리

Fig. 2. Generation of octree of object (a) object, (b) quadtree of top view, (c) quadtree of side view, (d) quadtree of front view, (e) octree from 3 view.

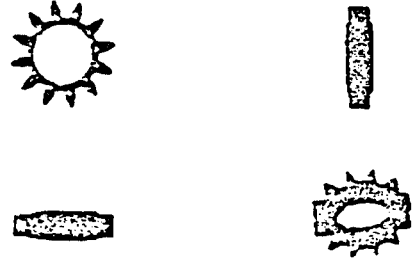


그림 3. 세 직각 방향으로부터 명암 화상의 재구성 (기어)

Fig. 3. Reconstruction of shaded image from three orthogonal direction. (gear)

그림3은 대상 물체로서 기어(gear)를 선택하고, 의사 8진트리 개념을 이용한 세 직각 방향 8진트리를 2차원 화상면에 투영하여 물체를 재구성한 명암화상(shaded image)을 보인다.

8진트리를 생성하기 위한 기법은 제공된 3개의 관측 방향이 일반적으로 상대위치에 있고, 비공평면으로 구성된 물체의 일반화 8진트리를 생성하는데까지 확장된다. 이 경우에 8진트리에서 각 블럭은 3개의 관측 방향과 정렬된 3개의 측면을 갖는 평행육면체가 된다.

정규 8진트리의 경우에 옥탄트를 8개의 부 옥탄트로 나누기 위해서 이용된 각각의 3개의 면은 각각의 세 관측면과 평행이다. 이구성은 일반화 8진트리가 정규 8진트리와 똑같은 규칙성을 갖도록 일반화 8진트리의 생성에도 적용되어야 한다. 이를 위해서 각각의 관측은 나머지 두개의 관측 방향에 의해서 정의된 평면상에 투영되며, 세 관측 방향에 의해서 기술된 일반화 좌표계는 각각의 일반화 8진트리에 결부된다.

각각의 관측이 투영된 후에 일반화 4진트리는 투영된 화상을 근거로하여 생성되고, 일반화 8진트리는 정규 8진트리와 똑같은 방법으로 얻어진 4진트리로부터 생성된다.

일반화 8진트리는 2차원 화상으로부터 3차원 물체를 재구성하기 위한 것 뿐만 아니라 물체와 모델간의 정합을 위하여 이용된다.

체적이나 모멘트와 같은 물체의 기하학적인 속성의 계산은 일반화 좌표계를 근거로한 각 노우드상에서 수행되고, 그 결과는 일반화 좌표계로부터 직교 좌표계로 속성값을 변환시키므로써 얻어진다. 따라서 정규 8진트리의 노우드가 직각방향의 관측으로부터

구성되는데 비하여 일반화 8진트리에는 관측 방향에 무관한 속성을 갖는다.

2) 화상의 재구성

화상의 재구성 알고리즘은 크게 나누어 노우드의 투영 및 교차, 윈도우 설정, 그리고 화면의 표시등의 세부분으로 나눈다. 8진트리의 노우드는 화상면에 투영되고, 그 화상면은 물체영역과 투영된 노우드와의 교차가 탐색된다. 이 알고리즘에서 8진트리의 노우드는 투영된 노우드와의 교차가 탐색된다. 이 알고리즘에서 8진트리의 노우드는 투영된 물체의 영역을 포함하는 화상면에 사상되어 투영되고 해당 화소의 내용과 교차한다.

IV. 3차원 물체인식

인식의 목적을 달성하기 위한 물체 표현과 모델 표현간의 정합은 물체 표현의 관측점에 무관해야 하는 기준이 필요하게 된다.

본 논문에서 일반화 8진트리가 관측점에 독립적인 물체 표현을 얻기 위한 방법을 고려했다. 그 방법으로서 일반화 8진트리를 물체의 정합을 수행하기 전에 정규 8진트리의 속성을 갖는 해당 주평면상에 투영시킨다. 이것은 물체의 주축(principal axes)의 계산과 주축에 밀접하게 관련된 관성 모멘트 행렬(moment of inertia matrix)을 구하는 계산 절차가 따르게 된다.<sup>[8]</sup> 주축의 계산은 2차 모멘트를 포함하는 3×3관성 모멘트 행렬의 계산을 필요로하며 이 모멘트 계산은 세 관측방향에 의해서 지정된 일반화 좌표계를 근거로하여 수행된다. 일반화 좌표계에서 직교 좌표계로의 좌표변환은 관성 모멘트 행렬에 적용되고, 세개의 주축은 그 특성근 벡터를 계산하여 관성 모멘트 행렬로부터 얻는다.<sup>[9]</sup>

1. 주관성 모멘트의 정의

강체(rigid body)의 고정된 점에서의 각운동량(angular momentum)은 다음과 같이 정의한다.<sup>[8]</sup>

$$\dot{H} = \int \hat{r} \times (\dot{w} \times \hat{r}) \, dm \tag{1}$$

여기서  $\dot{w}$ 는 각 속도,  $\hat{r}$ 은 고정된 축에서 임의의 질량  $m$ 을 갖는 점까지의 거리

관성 모멘트  $I$ 는  $\sum M_i$ 이므로

$$I = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{020} + M_{002} & -M_{110} & -M_{101} \\ -M_{110} & M_{002} + M_{200} & -M_{011} \\ -M_{101} & -M_{011} & M_{200} + M_{020} \end{bmatrix} \tag{2}$$

여기서  $M_{pqr} = \sum x^p y^q z^r m(x, y, z)$ 이고,  $m(x, y, z)$ 은 질량함수이다.

스칼라  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ 는 관성 모멘트이며,  $-I_{jk} (j=k)$ 는 관성승적(product of inertia)이라 불린다.

주어진 원점에서 축의 경사도를 갖는 관성 모멘트와 관성 승적을 검사할 때 일반적으로 관성 승적이 0으로 되고 행렬이 대각선 행렬로 되는 유일한 경사도  $x, y, z$ 를 찾게 된다. 즉 강체에 있는 임의의 기준점에서의 관성승적이 0이 되는 직교 단위 벡터가 항상 존재하며 이를 구할 수 있다.<sup>[8]</sup>

이 기준점을 무게중심이라고하며 직교 단위벡터를 그 물체의 주축이라고 부른다. 또한 주축에 관련된 관성 모멘트를 주관성 모멘트(principal moment)라고 부른다. 주관성 모멘트와 주축은 다음(3)식의 특성 방정식(characteristic equation)을 계산하므로써 결정된다.<sup>[9]</sup>

$$\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{3}$$

여기서  $K$ 는 고유값(eigenvalue)이고

$[x \ y \ z]^T$ 는 고유벡터(eigenvector)이다.

(3) 식을 풀기전에 관성 모멘트 행렬의 모든  $I$ 는 계산되어야하며, 그러기 위해서는 물체의 모든 2차 모멘트가 계산되어야 한다.

2. 주관성 모멘트 행렬의 계산

식(1)로부터 주관성 모멘트 행렬의 계산을 위한 과정과 평행축의 정리를 이용하여 체적소(voxel)와 같은 작은물체들이 여러개 결합되어 있는 경우의 관성 모멘트 행렬의 계산을 논한다.

$B_n$ 을  $2^n \times 2^n \times 2^n$  블럭이라 하고, 각각의 단위 체적소가 질량  $m$ 을 가질 때 블럭  $B_n$ 의 중심이 원점에 있다면  $B_n$ 의 차수( $p+q+r$ )의 모멘트  $M_{pqr}$ 은 다음과 같다.

$$M_{pqr}(B_n) = \int \left[ \sum_{i=1}^{2^n} (x_i)^p \right] \left[ \sum_{j=1}^{2^n} (y_j)^q \right] \left[ \sum_{k=1}^{2^n} (z_k)^r \right] \cdot m \, n > 0 \tag{4}$$

여기서  $x_i = \frac{-2^{n-1} + 1}{2} + i, y_j = \frac{-2^{n-1} + 1}{2} + j, z_k = \frac{-2^{n-1} + 1}{2} + k$

임의물질계에 대하여 관성 모멘트를 확립시키기 위해서는 어떤 기준점을 선택하고 직교 단위 벡터를 임의로 선택해야만한다. 물질계가 강체이고 기준점과 단위벡터가 고정되어 선택되면 관성 모멘트는 일정하게 유지된다. 블럭  $B_n$ 을 임의의 기준점에서 질량 중심  $C$ 로 향하는 벡터  $(x_n, y_n, z_n)$ 로 정의한다. 임의의 기준점  $O$ 에 관한 관성 모멘트 행렬을  $I_0$ 와  $I_c$ 는

다음식과 같은 관계를 갖고있다.

$$I_o(Bn) = I_c(Bn) - MS^2 \quad (5)$$

여기서  $M = 8^n \cdot m$

$$\text{그리고 } S = \begin{bmatrix} 0 & -Z_n & Y_n \\ Z_n & 0 & -X_n \\ -Y_n & X_n & 0 \end{bmatrix}$$

주관성 모멘트와 주축을 결정하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 정합 대상의 임의의 3-D 물체를 선택한다.
- ② 물체에 대한 블럭의 질량 중심 모멘트  $M_{pqr}(Bn)$ 을 계산한다.
- ③ 임의의 기준점에서 질량 중심으로 향하는 벡터  $(x_n, y_n, z_n)$ 을 정의한다.
- ④ 질량 중심의 관성 모멘트  $I_c(Bn)$ 을 구한다.
- ⑤ 물체의 질량  $M_i = 8^{n_i} \cdot m$ 을 계산한다.
- ⑥ S를 구한다.
- ⑦ 각 블럭에 대한  $(I_c(Bn) - MS^2)$ 을 계산하여 더한다.
- ⑧  $(A - \lambda I)_n = 0$ 의 식으로 부터, 주 관성 모멘트, 고유값을 구한다.
- ⑨ 주 관성 모멘트와 방향 여현으로부터 주축의 방향을 계산한다.
- ⑩ 일반화 좌표계로부터 직교 좌표계로 변환되는 변형관성 모멘트 행렬을 구한다.

### 3. 물체의 정합

일반화 8진트리 생성에 대한 동기는 2차원 화상으로부터 3차원 물체를 재구성하기위한 것뿐만 아니라 물체의 정합을 위한 것이다. 물체 정합에 이용된 표현은 물체 중심으로 표현되어야하며, 물체의 위치와 경사도에 관해서 불변이어야 한다.

물체 중심과 주축은 물체의 기하학적 속성으로서 물체의 위치와 경사도에 관해서 불변의 속성을 갖는다.

#### 1차 및 2차 정합

물체를 정합시키기 위하여 1차 및 2차 정합의 두 단계를 나눈다. 1차 정합은 세개의 주축을 기본으로한 4진트리를 이용하여, 가능한한 소수의 후보 모델을 선택하고자 모델의 라이브러리를 탐색하고, 2차 정합은 주 4진트리로부터 8진트리를 생성한 후 모델과 물체를 정합하여 물체를 인식한다.

##### (1) 1차 정합

1차 정합 단계에서 정합은 4진트리의 쌍에 대하여 수행된다. 각 모델의 3개의 주 관측방향은 데이터베이스내에 4진트리로서 저장되며, 미지물체의 각 주

관측의 4진트리는 모델의 해당 4진트리에 대하여 정합된다.

두 물체의 4진트리 간의 차이도의 측정은 정합 과정에서 이용되며, 차이도를 계산하기 위하여 4진트리의 각 노우드는 그 레벨에 관련된 하중치(weight)를 할당 받는다.

본 논문에서 정의된 노우드의 하중치는 관련된 블럭의 면적에 비례하며, 루우트 노우드의 하중치는 100으로 고정시킨다. 루우트 노우드를 레벨0으로, 그 자노우드(son node)를 레벨 n으로 했을때 레벨n에서 노우드의 하중치는  $100/4^n$ 이 된다. 이와같이 하중치는 화상의 관련 블럭이 차지하고 있는 백분율의 면적이다.

차이도는 다음과 같은 방법으로 계산된다.

- ① 물체와 모델의 주 4진트리를 병렬로 순회시킨다.
- ② 두 노우드의 색깔이 그레이라면 그 4개의 자노우드를 방문하고 동일한 질차를 반복한다.
- ③ 두 노우드의 색깔이 다르고 그레이가 아니라면 차이도는 이들 두 개의 노우드에 할당된 하중값과 똑같은 량에 의해서 증가된다.
- ④ 두 노우드의 색깔이 다르고 두 노우드의 하나가 그레이라면 그 그레이 노우드를 갖는 부 트리를 추적하여 비 그레이(non-grey) 노우드의 색깔과 부 트리의 모든 노우드의 색깔과 비교한다.
- ⑤ 비교한 결과가 다르면 해당 하중값에 의해서 차이도를 증가시킨다. 전체의 차이도는 세개의 관측으로부터의 차이도의 평균으로서 정의된다. 여러 후보 모델 중에서 차이도가 낮은 후보 모델을 선택하여 2차 정합의 과정을 수행한다.

##### (2) 2차 정합

2차 정합에서는 주 4진트리로부터 8진트리를 생성한다. 그리고 나서 피관측 물체의 8진트리는 물체를 인식하기 위해서 1차 정합에서 선택된 후보 모델과 정합된다.

물체의 8진트리와 모델의 8진트리간의 차이도는 4진트리를 정합 시키기 위해서 이용된 알고리즘과 같은 방법으로 얻을 수 있다.

미지의 물체는 최소의 차이도를 갖는 모델로서 인식된다. 3개의 주 관측 방향이 왜곡 되었거나, 정확한 주 관측 방향을 얻을 수 없는 잡음이 있는 환경에서 1차 정합은 많은 오류를 갖게 되므로 2차 정합은 매우 효과적인 정합 도구이다.

## V. 실험 및 결과 고찰

제안된 알고리즘을 구현하기 위해서 본 논문에서는

14개의 모델을 선정하였고, 본 실험에 적용된 화상 처리 시스템을 이용하여 물체의 표현과 인식에 대한 실험을 수행하였다. 실험장치는 그림4에서보는 바와 같이 크게 나누어 중앙 처리기(VME 131 XT SBC) 화상 처리기(256×256 해상도), CCTV 카메라(CCD 카메라), 화상 표시부(아날로그 모니터 및 포라로이드 카메라) 그리고 조명 장치로 구성된다.

중앙 처리기는 32비트 MC 68020 CPU, MC 68881 FPCP (floating point co-processor), 2MB DRAM, 그리고 40메가 바이트 하드 디스크 및 1.2메가 바이트 플로피 디스크로 구성하였다.

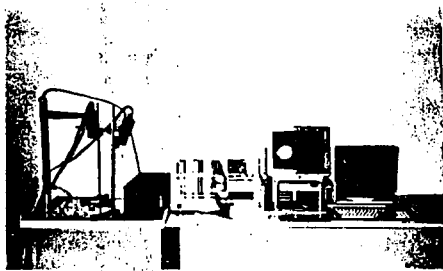


그림 4. 실험장치  
Fig. 4. Experimental equipment.

화상 입력 장치인 카메라는 3차원 물체를 인식하기 위하여 411×489 화소 배열을 갖는 RS-170 형식의 CCD 카메라 3대를 이용하였다. 출력 장치인 화상 표시부는 512×512 해상도의 RGB 아날로그 모니터와 포라로이드 카메라로 구성하였으며, 처리된 화상정보 및 카메라에서 입력된 화상정보는 중앙 처리기의 제어하에서 표시하게 된다.

조명장치는 카메라의 원근 투영으로 인한 3차원 물체의 공간 좌표가 변화되지 않도록 하기 위한 평행 광원 장치이다. 이 조명장치는 본 논문에서 서술한 직각 투영에 의한 화상면으로의 투영이 효과적으로 구현되도록 구성하였다.

모델의 세계의 주 4진트리(Principal quadtree)는 데이터 베이스에 저장되며, 미지물의 실루엣 화상은 모델물체를 화상면에 투영하므로써 얻어진다.

모델이 선택된 후, 각 모델의 관성 모멘트 및 고유벡터 계산 알고리즘을 이용하여 모델의 주축을 결정한다.

재구성된 2-D 명암 화상은 주 4진트리를 생성하는데 이용되며 이 주 4진트리가 데이터 베이스에 저장되어 미지 물체와 정합된다.

주 관성 모멘트(특성근)을 얻기 위해서, 본 논문에서는 역 반복법을 이용하여 해결하였으며 표 1은 그 관성 주축을 나타낸다. 표 1에서 보는바와 같이 연결봉, 너트, 기어를 제외한 대부분의 기하학적 모델들은 주축을 중심으로 대칭임을 알 수 있다.

표 1. 각 모델의 관성 주축 계산결과  
Table 1. Computational results of principal axes for each model.

모델명	관성주축(방향여현)			모델명	관성주축(방향여현)		
일반원통 (M1)	0.000	0.707	-0.707	삼각프리즘 (M2)	0.000	0.707	-0.707
	1.000	0.000	0.000		0.000	0.707	-0.707
	0.000	0.707	-0.707		1.000	0.000	0.000
화상고리 (M3)	0.707	-0.707	0.000	공심원통 (M4)	0.707	0.000	-0.707
	0.707	-0.707	0.000		0.707	0.000	0.000
	0.000	0.000	-1.000		0.000	1.000	-0.707
반원통 (M5)	0.000	0.472	-0.932	봉 (M6)	1.000	0.000	0.000
	0.000	0.894	-0.554		0.000	0.707	0.707
	1.000	0.000	0.000		0.000	0.707	0.707
구 (M7)	0.577	0.577	0.577	정육면체 (M8)	0.577	0.577	0.577
	0.577	0.577	0.577		0.577	0.577	0.577
	0.577	0.577	0.577		0.577	0.577	0.577
삼각관 (M9)	0.707	-0.707	0.000	원관 (M10)	0.707	-0.707	0.000
	-0.707	0.707	0.000		-0.707	0.707	0.000
	0.000	0.000	1.000		0.000	0.000	1.000
연결봉 (M11)	0.788	0.577	-0.209	직육면체 (M12)	0.823	-0.567	0.000
	0.577	-0.578	0.575		0.401	0.581	-0.707
	-0.211	0.575	0.790		0.401	0.583	0.707
너트 (M13)	0.878	0.000	-0.477	기어 (M14)	-0.498	0.329	0.802
	-0.149	-1.000	-0.283		-0.011	0.922	-0.386
	0.453	0.319	0.832		0.867	0.201	0.455

1. 미지 물체의 표현 및 화상의 재구성

미지 물체의 표현을 얻기 위한 방법으로서는 임의의 관측 방향에서 실루엣 화상으로 부터 4진트리를 생성한 후 3-D 물체 표현인 8진트리를 생성한다. 그 절차는 다음과 같이 수행한다.

- a. 임의의 세 관측 방향을 선택한다.
- b. 남아 있는 두 관측 방향에 의해서 형성된 화상면에 관측을 투영하여 각각의 투영에 대한 일반화 4진트리를 생성한다.
- c. 세계의 일반화 4진트리로부터 교차를 통해 물체의 일반화 8진트리를 생성한다.

일반화 4진트리를 생성 시키기 위해서 비디오 카메라로부터 입력된 2-D 화상은 모델의 구축에서와 같은 방법의 전처리를 거친후, 일반화 좌표계의 화상면에 투영된다.

8진트리 생성 알고리즘에 의해서 구현된 체적정보를 갖는 일반화 8진트리는 관성 모멘트 행렬 및 고유값(eigenvalue)으로 부터 결정된 주축 방향을 따라 세계의 주 화상면에 투영되어 재구성 된후, 주 4진트리를 생성한다.

각 모델의 체적, 전체 노우드의 수 및 명암 화상을 얻기 위한 처리 시간을 표 2에 나타내었다. 표2에서 보는 바와 같이 14개 전체 모델에 대한 8진트리에서 평균 노우드수는 10345개로서 3차원 배열(128×128×128)을 이용하여 물체를 표현하는데 필요한 체적소의수, 136446보다 훨씬 적음을 알 수 있다. 이것은 시스템의 메모리 용량 절감 뿐만 아니라 3차원 인식의 경우, 연산처리 시간의 단축등의 결과를 가져 온다는 것을 의미한다. 또한 표 2에서 처리 시간은 재구성 화상 알고리즘의 수행시간으로서 MC 68881 FPCP 칩을 이용한 부동 소숫점 연산을 수행한 결과의 CPU 시간이다. 이 결과로부터 화상을 재구성하는 처리 시간은 모델의 노우드수에 비례함을 알 수 있다.

2. 물체의 인식실험

미지물체의 인식실험은 모델의 주 4진트리와 물체의 주 4진트리가 생성된후 다음과 같은 절차를 수행하였다.

- a. 낮은 정도의 차이도를 갖는 일련의 모델을 찾아내기 위해서 물체의 4진트리와 모델의 4진트리의 차이도(dissimilarity)를 계산한다.
- b. 탐색된 일련의 모델과 물체의 8진트리를 생성한다.
- c. 모델과 물체간의 차이도를 계산한다.
- d. 가장 낮은 차이도를 갖는 모델과 정합되어 그 물체는 인식된다.

표3(a), (b)는 임의의 세 관측방향으로 부터 재구성된 미지물체와 그 모델간의 차이도를 백분율로 나타낸 것으로서 정합(matching)의 결과를 나타낸다. 표3(a), (b)에서 보는바와 같이 미지물체는 1차정합이나 2차정합에서 그것의 모델과 가장 낮은 차이도를 가질 때 정확하게 인식됨을 알 수 있다.

표3(a),(b)에서 보는 바와 같이 간단한 기하학적 구조를 갖거나 오철(concave-convex)부분을 포함하지 않는 3-D 물체들은 1차정합에서 쉽게 정확한 인식의 결과를 얻을 수 있다. 반면에 비슷한 유형의 기하학적 모델들은 1차정합에서 낮은 차이도를 갖는다하더라도 정확한 인식이 불가능함을 알 수 있다. 이런 경우 8진트리를 이용한 2차 정합이 반드시 수행되어야 한다는 것을 실험 결과 고찰할 수 있다.

표 3에서 나타낸 바와같이 1차 정합과 더불어 2차 정합 과정은 신뢰할 수 있는 정확한 물체 인식을 보장하기 위해 필요하다. 그러나 모델들 중에서 큰 차이점이 존재하는 대부분의 경우에 1차 정합은, 피관측 물체의 정확한 인식을 결정하기 충분하며 2차정합은 계산상의 효율을 증가 시키기 위해서 생략할 수 있다는 것을 실험 고찰하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 위치 및 경사도에 불변의 속성을 갖는 주축을 계산하고, 그 주축의 화상면에 일반화 8진트리를 투영하므로써 화상을 재구성하였으며, 물체 정합시 모델과 미지 물체의 각 트리쌍에서 차이도를 계산하므로써 가장 낮은 차이도를 갖는 물체를 미지 물체로 인식하였다.

본 논문은 3차원 물체 표현 및 물체인식의 정확성을 입증하기 위하여 14개의 기하학적 모델을 선정하

표 2. 각 모델의 체적, 8진트리 노우드의 수 및 수행시간 결과  
Table 2. Volume, the number of nodes, and processing time for each models.

모 델 명	체 적 (Voxels)	노 우 드 수	처리시간 (초)	모 델 명	체 적 (Voxels)	노 우 드 수	처리시간 (초)
일 반 원 통	178403	10441	6.47	반 원 통	70445	6483	4.14
직 육면체	217306	13836	7.75	환 상 고 리	48401	4128	3.92
삼 각 관	75312	4753	4.20	공 심 원 통	163544	9943	6.15
봉	60455	4640	4.09	연 결 봉	51466	4037	3.84
원 관	81407	4577	4.34	정 육면체	204720	12375	6.92
구	100148	8648	5.84	삼각프리즘	225315	14372	7.81
기 어	257472	35725	9.46	너 트	175846	10878	6.43



표 3. (a) 미지물체와 모델간의 차이도 (%)  
(b) 미지물체와 모델간의 차이도 (%)

Table 3. (a) Dissimilarity (%) between an unknown object and the models.  
(b) Dissimilarity (%) between an unknown object and the models.

모 델	1차정합	2차정합	모 델	1차정합	2차정합
일반원통	21.609		반 원 통	14.680	
직육면체	9.021*	4.155	환 상 고 리	15.317	
삼 각 판	10.500	4.606	공 심 원 통	13.456	
봉	15.240		연 결 봉	17.380	
원 판	13.442		정 육 면 체	9.286	3.870*
구	10.851	5.162	삼각프리즘	10.225	4.250
기 어	18.500		너 트	19.352	

(a) 대상물체 : 정육면체 (2차정합)

모 델	1차정합	2차정합	모 델	1차정합	2차정합
일반원통	24.251		반 원 통	11.522	8.776
직육면체	9.766	88.033	환 상 고 리	14.334	
삼 각 판	9.107	6.723	공 심 원 통	23.127	
봉	15.056		연 결 봉	19.171	
원 판	19.376		정 육 면 체	9.456	7.340
구	15.679		삼각프리즘	8.588*	6.229*
기 어	11.672		너 트	14.295	8.145

(b) 대상물체 : 삼각프리즘 (1차정합)

고, 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 간단한 기하학적 구조를 갖는 모델은 반드시 대칭축이 존재하며 쉽게 주축을 결정할 수 있다.
- ② 모델의 주축 계산은 물체 정합에 이용되는 차이도 결정에 중요한 요소이다.
- ③ 비슷한 유형의 기하학적 모델들은 1차 정합에서 가장 낮은 차이도를 갖는다 하더라도 정확하게 물체가 인식되지 않고, 2차 정합에서 정확하게 물체가 인식된다. (1차정합에서 직육면체가 9.021의 낮은 차이도를 갖지만 2차 정합에서는 정육면체가 3.470의 가장 낮은 차이도를 갖는다.)

이들 결과를 종합해보면 평면구조의 간단한 기하학적 구조를 갖거나, 요철 부분을 포함하지 않는 3-D 물체들은 1차 정합에서 정확한 인식을 할 수 있으며 이에 대하여 비슷한 유형의 기하학적 모델은 1차 정합에서의 정확한 인식이 불가능하므로 반드시 2차 정합이 수행되어야 한다는 것을 보였다.

본 논문에서는 세번의 관측을 통해서 재구성된 실루엣 화상으로부터 정확하게 인식이 이루어지지 않는 경우, 관측 방향을 더 추가하여 실루엣 화상을 재구성해야 한다는 것을 보였다.

앞으로 기계부품, 절삭가공품등과 같은 다양한 종류의 물체에 본 논문의 인식 알고리즘을 적용할 경우 본 물체 인식시스템은 관측 횟수의 증가와 더불어 더욱더 정확한 물체 인식이 이루어질 것으로 예상되며, 또한 비행기, 자동차등의 굴곡이 심한 물체의 경우 알고리즘의 효율성을 높이기 위해서 실루엣의 곡률 반경으로부터 특징점들을 검출하고 이 특징점들과 병행하여 인식 절차를 수행하면 우수한 성능의 3차원 물체 인식 시스템이 될것으로 기대된다.

參 考 文 獻

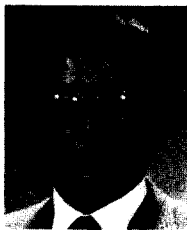
- [1] Forrest, A.R, "On cones and other methods for representation of curved surfaces," CGIP 1.4. DEC. 1982, pp. 341-359.
- [2] C.L. Jackins and S.L. Tanimoto, "Octree and their use in representing 3-D object. CGIP 14, 1980. 249-270.
- [3] R. Nevatia and t.O. Binford, "Structured descriptions of complex objects," in *Proc. of the 3rd IJCAI*, Stanford, California, August 20-23 1973, pp. 641-647.
- [4] C.H. Chien and J.K. Aggarwal. Computation of volume/surface octrees from contours and silhouettes of multiple views in *Proc. IEEE Computer Society Conference on computer Vision and Pattern Recognition* 1986. 250-255.
- [5] D. Meager, Geometric modeling using octree encoding, *Comput. Graphics Image Process* 19, 1982 129-147.
- [6] I. Gargantini. Linear octrees for fast processing three dimensional objects. *Comput. Graphics Image Process*, 20, 1982, 504-515.
- [7] C.H. Chien and J.K. Aggarwal, "Reconstruction and matching of 3-D objects using quadtrees/octrees," in *Proc. of the Third Workshop on Computer Vision October* 13-16, 1985, Bellaire, Mi., pp. 49-54.
- [8] P.W. Likins, *Elements of Engineering Mechan.* McGraw-Hill New York 1973.
- [9] D.J. McGill and W.W. King, *Engineering Mechanics: An Introduction to Dynamics*, Brooks/Cold Eng. Division, California, 1984.
- [10] Y.F. Wang, "Matching 3-D objects using silhouettes. *IEEE Trans. PAMI-6*, no. 2, 1984.

[11] H. Samet, "Bibliography on quadtrees and related hierarchical data structures," in data Structures for Raster Graphics, F.J. Peters, L.R.A Kessener, and M. L.P Van Lierop, eds. Springer-Verlag, Berlin, 1986, pp. 181-

201.

[12] M. Shneier, "Two hierarchical linear feature representation: Edge pycamids and Edge quadtrees," *Computer Graphics and Image Processing*, Nov. 1981. pp. 211-224.

著 者 紹 介



禹 廣 芳 (正會員)

1934年 1月 25日生. 1957年 연세대 이공대 전기공학과 졸업. 1964年 미국 오레곤 대학원 졸업(공학 박사). 1966年 미국 와싱턴대 조교수. 1971年 미국립 암연구소 책임 연구원. 1979年 미국 존스 홉킨스대 의대 연구원. 1980年~1981年 재미 한국과학기술자 협회장. 현재 연세대 공대 전기공학과 교수.



金 榮 日 (正會員)

1952年 10月 27日生. 1981年 2月 숭실대학교 전자공학과 졸업. 공학사 학위취득. 1985年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업. 공학석사 학위취득. 1989年 8月 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업. 공학박사 학위취득. 1987年 2月~1989年 9月 금성산전연구소 선임연구원. 1989年 10月~현재 동해중앙연구소 수석연구원. 주관심분야는 영상처리, 계측제어, 인공지능 등임.