

임의로 놓여진 다면체의 위치와 자세측정에 관한 연구

이 상용 · 한 민홍

포항공과대학 산업공학과

Measurement of the Position and Pose of Arbitrarily Placed Polyhedrons

Sang-yong Rhee · Min-Hong Han

Department of Industrial Engineering

Pohang Institute of Science and Technology

ABSTRACT

This paper presents a method of calculating the position and orientation of a polyhedron arbitrarily placed in 3-D space using two cameras. We use key feature of the object and CAD data to solve the correspondence problem between two cameras' images.

1. 서론

로봇 비전 (robot vision)분야의 현실적인 문제중의 하나는 카메라를 통하여 얻어진 이미지 (image)에 나타난 물체가 무엇인지를 인식하는 것과 그 물체가 어떻게 놓여져 있느냐를 아는 것이다. 로봇을 이용하여 작업대위에 임의로 놓여있거나 상자안에 무작위로 놓여져 있는 물체를 옮겨 쌓거나 자동조립하기 위하여 혹은 자동검사를 한다는 것등이 그 예가 될것이다.

그런데 실제의 문제에 있어서 우리는 물체가 무엇인가를 미리 알기 때문에 물체를 인식하는 과정까지는 필요없는 경우가 많다. 예를 들어 자동시각검사 시스템에서 이번에 검사할 제품이 무엇인가는 이미 알고 있는 것이며, 또한 같은 제품들이 무작위로 쌓여있는 상자에서 물체를 꺼낼때도 마찬가지다. 이렇게 대상 물체가 무엇인가를 아는 경우에 물체를 취급하기 위해서는 그 제품이 어떻게 놓여져 있는가를 아는 것이 필요하다. 본 연구에서는 이와같이 대상물체를 이미 알고 있다는 가정아래에 그 물체가 어떻게 놓여 있는가를 측정하는 방법에 대한 연구를 하고자 한다.

물체가 어떻게 놓여져 있는가를 아는 한 방법은 우리가 사전에 알고 있는 지식을 활용하는 것이다. 많은 경우에 우리는 관심이 있는 물체에 대하여 물체의 모양, 크기 등에 대하여 사전에 정보를 얻을 수 있다. 문제는 이러한 정보를 어디에서 일관성이 있게 얻느냐 하는 것인데 이 문제는 CAD 데이터를 활용함에 의하여 해결이 가능하다.

근래에 이르러 3차원 물체의 인식 및 자세측정에 관한 연구가 활발하다. 그러나 aspect tree [12] 혹은 view class[15] 등의 방법은 물체가 위상학 (topology)으로 동일하지 않게 보이는 모든 경우들을 구별하여 저장하고, 보이는 물체가 어느 경우에 속하는가를 찾기때문에 기억장소소크기의 관점에서 볼 때, 비효율적이다. Lowe [14] 등의 방법은 한 대의 카메라를 이용하여 물체의 자세를 측정하지만 이 연구들은 이미 알고 있는 물체 하나로 한정되며, 동시에 다른 종류의 여러 개의 물체 인식이나 자세 측정으로 확장하기가 곤란한 것으로 판단된다.

경험으로 미루어 볼때에 사람은 물체를 기억할 때, 물체의 모든 부분을 기억하는 것이 아니라 특징있는 부분만을 기억하는 것을 알 수 있다. 본 연구는 이와 같은 현상에 착안을 하여 물체의 특징이 있는 부분을 추출하여 물체의 자세 측정에 이용하고자 하는 것이다. 이와같이 물체의 특징을 이용할 경우에는 위상학적으로 동일하지 않은 많은 경우를 구별하여 저장할 필요가 없으며, 여러 종류의 물체가 놓여 있는 경우에도 가능하다. 그러나 이번

연구에서는 우선 알고 있는 물체 하나의 자세 측정만을 다루었다.

본 연구의 시스템은 크게 두 부분으로 구성된다. 하나는 오프라인 (offline)으로 처리되는 부분이고, 다른 하나는 온라인 (online)으로 처리되는 부분이다. 오프라인 하부 시스템 (offline subsystem)은 CAD 모델의 자료를 우리의 목적에 맞도록 변환시키는 역할을 하고, 온라인 하부 시스템 (online subsystem)은 이미지를 처리하여 카메라에 보이는 물체의 위치와 자세를 계산하는 역할을 수행하게 된다.

이하의 논문의 내용은 다음과 같다. 2절에서는 CAD 데이터를 조작하여 만들게 될 모델을 소개하고, 3절에서는 카메라의 이미지를 저장하게 될 또하나의 모델을 설명하며 4절에서는 전체적인 자세측정 과정을 설명한다.

## 2. CAD 모델링과 모델 데이터 구조

CAD 모델은 투상법 (three-view orthographic engineering drawings)에서 부터 솔리드 모델링 시스템 (solid modeling systems) 까지 다양하다. 투상법 모델은 솔리드 모델로 변환이 가능하므로 본 연구에서는 솔리드 모델을 가정하여 연구를 진행하였다.

지금 널리 사용되고 있는 솔리드 모델링 시스템은 CSG(constructive solid geometry) 모델과 Boundary model의 두 종류가 있다. CSG model은 직육면체, 구, 실린더, 원뿔 (cone) 등의 원소 (primitive)들을 합집합 (union), 교집합 (intersection) 등의 조작 (operation)을 통하여 물체를

표현하는 기법으로 배우기 쉽다는 장점과 결과적으로 표현되는 물체가 현실에 반드시 존재한다는 장점을 지니고 있다.

Boundary model은 면과 선에 의해서 물체를 표현하는 방법으로 CSG 모델보다 유연성 (flexibility)이 있고 B-spline에 의해서 면과 선을 표현할 수 있으므로 보다 일반성 (generality)이 있다는 장점을 지니고 있으나, 사용하기가 어렵고 결과적으로 생성되는 물체가 현실적으로 존재가 불가능한 것일 수도 있다.

본 연구를 위하여 사용하고 있는 CAD 시스템은 PADL-2이다. PADL-2는 CSG 시스템의 일종이지만 CSG model을 BREP(boundary representation)으로 바꿀 수 있다는 장점을 지니고 있다.

CAD 데이터를 이용하여 우리 자신의 3차원 모델로 바꾸어야 하는데 이 과정은 어렵던지 쉽던지간에 오직 프로그래밍 작업일뿐이다. 우리의 현재에 사용하고 있는 모델은 그림 1과 같다. 이 모델은 Shapiro[15]가 제안한 것으로 본 논문에 맞도록 수정하였다.

이 모델의 기본적인 구조는 개체 (entity)들과 그의 관계를 나타내는 관계형 자료 구조 (relational data structure)이다. 각 관계형 자료 구조는 속성값 (attribute value) 을 갖는데 여기에는 각 개체들의 값들이 저장된다.

그림 1에 보여지는 개체들은 world, object, face이다. World는 물체들에 의해서 구성되어진다. world relational data structure의 한 부분인 물체들 사이의 관계는 물체들의 목록 (list)이다. 목록에서 각 물체는 이름과 종류 (type) 그리고 그 물체에 대한 관계형 데이터 구조를 갖는다. 본 연구에서는 아직 물체가 하나인 경우만이 관심의 대상이므로 이 world는 하나의 물체로 구성되어져 있다.

object는 면의 집합으로 물체의 위상 (topology)을 포함하는 두 개의 중요한 관계가 저장된다. Edge/face topology relation은 물체의 3차원 에지의 목록이다. 이 관계에서 각 에지는 두개의 끝점 (end points)와 연관되어진다.

Vertex relation은 3차원 꼭지점의 목록이다. 각 꼭지점은 이름과 위치, 그 꼭지점과 만나는 에지의 목록을 저장한다.

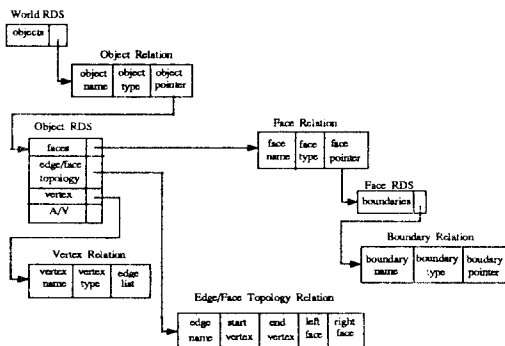


그림 1. 자료구조

### 3. 모양새 (features)의 표현 (representation)

카메라를 통하여 물체에 대한 이미지를 얻었을때 우리는 효율적인 물체의 자세측정을 위하여 물체의 모양새 (feature)들과 그의 관계를 간단하면서도 물체를 충분히 묘사할 수 있는 방법으로 저장할 필요가 있다. 이러한 요구를 만족하는 것은 계층구조라고 할 수 있다. 계층구조란 하위 수준 (bottom level)은 간단한 원소 (primitive)들로 구성되어 있고 상위수준으로 갈수록 하위수준의 원소들 사이에 보다 복잡한 관계를 나타내는 구조이다.

최하위 수준 (level)인 수준 1는 선분이다. 선분에 대한 속성은 시작점과 끝점의 값이다.

다음 수준인 수준 2은 두개의 선분 혹은 세개의 선분이 만나서 이루는 꼭지점이다. 꼭지점의 형태는 선분만을 고려하므로 표준적인 꼭지점의 형태인 FORK, ARROW, T와 L을 사용하며 각 꼭지점은 고유한 값을 부여받는다.

수준 3에서는 수준 1의 선분과 수준 2의 꼭지점을 이용하여 구성되지는 루프 (loop)이다. 여기에서 변으로하지 않고 루프로 관계를 규정한 이유는 예를 들어 물체에 네모난 구멍이 나있는 경우에 이 구멍의 모양은 폐곡선을 이루지만 면은 아니기 때문이다. 이 수준에는 각 루프들사이의 관계, 즉 한 루프는 어떤 어떤 루프와 이웃해 있다든가 혹은 어떤 루프를 안에 포함하고 있다든가 하는 관계도 포함되어진다. 또한 루프 꼭지점들의 내각이 180도 보다 큰 것 (이하 오목 꼭지점이라 칭함)은 어떤 것이고 몇개인가와 내각이 180도 보다 작은 것 (이하 볼록꼭지점이라 칭함) 어떤 것이고 몇개인가 하는 것도 포함된다. 카메라 이미지는 perspective view이므로 원래 각의 크기대로 보이지는 않지만 오목꼭지점 혹은 볼록꼭지점이라는 성질은 변하지 않으므로 루프들의 매칭 (matching)에 좋은 실마리가 될 수 있다.

## 4. 물체의 인식과 자세의 측정

### 4.1 물체의 3차원 좌표값의 추정

카메라영상으로부터 여러가지 모양새 정보를 추출하게 된다. 먼저 카메라에 포착된 이미지를 Sobel edge

operator를 이용하여 에지를 추출하고, Chen[3]의 알고리즘을 이용하여 thinning을 하였다. Thinning된 에지의 점들에 대하여 Fang and Huang[5]의 corner finder algorithm을 이용하여 꼭지점 (corner point)을 찾아낸후, 각 꼭지점사이에 연결관계를 알아내었다.

각 꼭지점들사이에 연결관계를 알아내고난 후에 각 에지들을 왈츠 (Waltz) 알고리즘을 이용하여 labeling을 하여 각 면을 구성하는 꼭지점과 에지를 알아낸다. 우선 카메라 A에서 얻어진 물체 이미지의 각 면을 분석하여 중요모양새를 갖는 면들을 찾아낸후 그중에서 가장 뚜렷한 특징을 갖고 있는 면을 우선적으로 선택하여 그와 동일한 특징을 갖는 면이 카메라 B에서 얻어진 물체의 이미지에도 있는지를 조사한다.

만일에 동일한 특징을 갖는 면이 카메라 B에서 얻어진 물체의 이미지에도 있다면, 두 카메라에서 얻어진 면의 각 꼭지점의 대응관계를 찾아내고 Han and Rhee [9]의 방법을 이용하여 그 루프 점들의 3차원 좌표값과 이웃한 꼭지점의 좌표값을 구한다. 이 방법은 3차원 좌표값만을 계산하는 것이 아니라 물체가 동일한 특징을 갖는 면이 많을 경우에 발생할 수 있는 카메라 A와 카메라 B사이의 잘못된 대응관계를 찾아 내준다. 만일에 동일한 특징을 갖는 면이 카메라 B의 이미지에서 찾을 수 없다면 다음으로 뚜렷한 특징을 갖는 면을 선정하여 과정을 반복한다.

### 4.2 다면체의 자세측정

물체의 자세측정이란 WCS (world coordinate system)의 원점 (origin)에 놓여진 물체가 어떻게 위치이동 (transformation)과 회전 (rotation)을 하여 현재의 위치로 있게 되었는가를 알아내는 것이라고 할 수 있다. 이것은 물체의 점들의 현재 좌표값들과 거기에 대응되는 CAD 데이터베이스 점의 좌표값을 비교함에 의해서 가능하다.

카메라앞에 놓여 있는 물체의 현재의 위치  $p'$ 은 다음의 식에 의하여 표현된다.

$$p' = p R + T \text{ -----(1)}$$

여기에서 R은 물체를  $Z_w$ 축으로  $\alpha$ ,  $Y_w$ 축으로  $\beta$ ,  $X_w$ 축으로

만큼 회전시키는 회전행렬 (rotational matrix)이고 T는 위치이동 벡터 (tx, ty, tz) 이다.

강체의 변환은 위치 이동의 자유도 세개 (tx, ty, tx)와 회전의 자유도 세개(3 개의 Euler각 roll, pitch, yaw)의 독립적인 여섯개의 변수에 의해서 결정이 되므로 카메라에 보여진 물체의 자세를 결정하기 위해서는 기본적으로 여섯개의 점을 필요로 한다. 이 여섯개의 점을 선정할 때 지켜야할 조건이 있는데 그 조건들은 다음과 같다 [9].

- 1) 적어도 3개의 면위에 분포되어야 한다.
- 2) 이 3개의 면의 법선은 독립이어야한다.

위의 조건에 따라 6개의 점이 선정이 되면 식 (1)에서 여섯개의 미지수 값을 구할 수 있다.

### 5. 실험

본 연구에서는 세개의 위치이동 벡터와 세개의 회전각들이 알려진 인위적인 이미지를 이용하여 실험을 해보았다. 이 인위 이미지 (artificial image)는 초점거리가 983.5이고 512 x 480 의 화소를 갖는 카메라

시뮬레이션을 통하여 얻어졌다 (그림 2). 이 그림을 Sobel operation을 해서 역치 이하를 제거하고 (thresholding) (그림 3), thinning한 결과가 (그림 4)이다. 앞에서 설명한 과정을 거쳐서 각 이미지에서 우리는 6개의 점을 선택하여 물체의 위치와 자세를 계산하였다. 구하여진 값을 이용하여 원래의 인위 이미지에 겹쳐 그려보았다. (그림 5)

### 6. 결론

물체의 주요 특징을 우선적으로 기억하는 인간의 기억특성에 착안하여 다른 면과 구별되어지는 특징을 갖는 면을 추출하여 물체의 위치와 자세를 측정하여 보았다. 실제의 물체는 아니었지만 본 방법을 이용하여 물체의 위치와 자세를 계산할 수 있었다.

실제의 물체인 경우에는 조명, 그림자 등에 영향을 받아 꼭지점 좌표값을 구하는 것이 다소 부정확해질 것이고 그에 따라 위치와 자세의 측정값도 영향을 받게 될 것이다.

차후의 본 연구는 물체에 곡면이 포함되어져 있는 경우로 확장할 예정이며, 여러 종류의 물체가 놓여져 있는

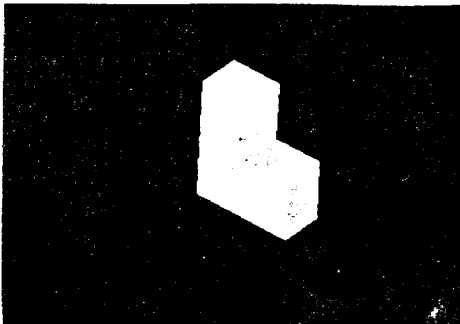


그림 2. 물체의 이미지

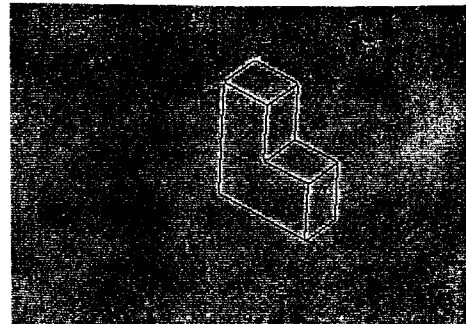


그림 4. Thinning한 이미지

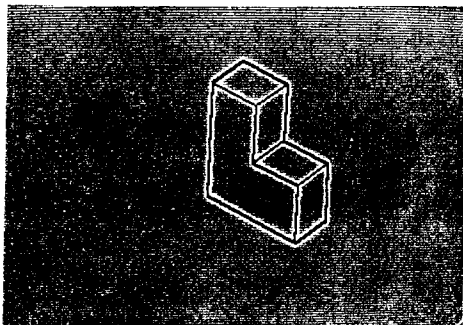


그림 3. Sobel Edge Operation한 이미지

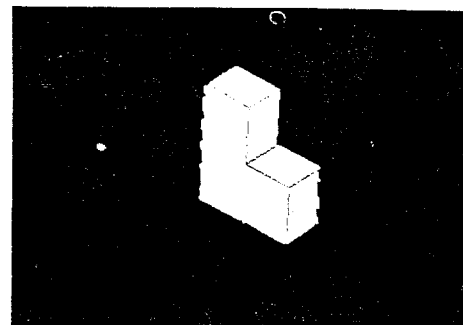


그림 5. 물체의 이미지와 계산된 결과

경우도 확장하려고 한다.

참고문헌

- [1] P. J. Besl and R. C. Jain, "Three-dimensional object recognition," ACM Comput. Surveys, Vol. 17, No. 1, pp. 75-145, 1985.
- [2] R. C. Bolles and P. Horud, "3DPO : A Three-dimensional Part Orientation System," The Inter. J. of Robotics Research, Vol. 5, No. 3, pp. 3-26, 1986.
- [3] Y. Chen, W. Hsu, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital patterns," Pattern Recognition Letters, Vol. 7, pp. 99-106, 1988.
- [4] T. J. Fan, G. Medioni, R. Nevatia, "recognizing 3-D Objects Using Surface Descriptions," IEEE Transaction on PAMI, Vol. 11, No. 11, Nov., pp. 1140-1157, 1989.
- [5] J. Q. Fang and T. S. Huang, "A corner finding algorithm for image analysis and registration," presented at Amer. Ass. Artif. Intell. Nat. Conf., Pittsburgh, PA, Aug. 1982.
- [6] G. Goldbogen, "Expert System for extracting Manufacturing Features From A CAD Database," Expert Systems and Intelligent Manufacturing, M. D. Oliff ed., Elsevier Science Publishing, pp. 285-304, 1988.
- [7] S. J. Gordon and W. P. Seering, "Real-time Part Position Sensing," IEEE Transaction on PAMI, Vol. 10, No. 3, pp. 374-386, 1988.
- [8] W. K. Gu and T. S. Huang, "Connected Line Drawing Extraction from a Perspective View of a Polyhedron," IEEE trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-7, No. 4, July, pp. 422-430, 1985.
- [9] K. T. Gunnarson and F. B. Prinz, "CAD Model-Based Localization of Parts in Manufacturing," computer, pp. 66-73, 1987.
- [10] Min-Hong Han and S. Y. Rhee, "Camera Calibration for 3-D measurement," IETR 90-3, Department of I.E., POSTECH, , Korea, 1990.
- [11] R. Horaud, B. Conio, and Oliver Lehoulleux, "An Analytic Solution for the Perspective 4-Point Problem," Computer Vision, Graphics, and Image Processing 47, pp. 37-44, 1989.
- [12] K. Ikeuchi and K. S. Hong, "Determining Linear Shape Change: Toward Automatic Generation of Recognition Programs," Proceedings of IEEE CVPR, pp. 450-457, 1989.
- [13] T. Ishimatsu, S. Hamaguchi, K. Suehiro, C. Okazaki, "3-D Measuring System of Structure and Pressure Vessels," KACC 89, pp. 987-992, 1989.
- [14] D. G. Lowe, "Three-Dimensional Object Recognition from Single Two-Dimensional Images," AI, 31, pp. 355-395, 1985.
- [15] L. G. Shapiro, "A CAD-Model-Based System for object Localization," SPIE Vol. 938, Digital and Optical Shape Representation and Pattern Recognition, pp. 408-418, 1988.