

강건 스테레오 비전과 허프 변환을 이용한 캐드 기반 삼차원 물체인식

송인호*(한양대학교 대학원 기계설계학과), 정성중(한양대학교 기계공학부)

CAD-Based 3-D Object Recognition Using the Robust Stereo Vision and Hough Transform

I. H. Song(Mechanical Design Dept., HYU), S. C. Chung(Mechanical Eng. Dept., HYU)

ABSTRACT

In this paper, a method for recognizing 3-D objects using the 3-D Hough transform and the robust stereo vision is studied. A 3-D object is recognized through two steps; modeling step and matching step. In modeling step, features of the object are extracted by analyzing the IGES file. In matching step, the values of the sensed image are compared with those of the IGES file which is assumed to location and orientation in the 3-D Hough transform domain. Since we use the 3-D Hough transform domain of the input image directly, the sensitivity to the noise and the high computational complexity could be significantly alleviated. Also, the cost efficiency is improved using the robust stereo vision for obtaining depth map image which is needed for 3-D Hough transform. In order to verify the proposed method, real telephone model is recognized. The results of the location and orientation of the model are presented.

Key Words : 3-D object recognition(3 차원 물체인식), robust stereo vision(강건 스테레오 비전), Hough transform(허프 변환), IGES(캐드 중립 파일).

1. 서론

현대의 생산현장에서는 측정 자동화에 대한 관심이 폭넓게 적용되고 있으며 부품의 자동인식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 인식 시스템은 이차원 물체에 국한되거나 물체의 형상을 제한한 삼차원 물체인식이 대부분이었다⁽¹⁾.

삼차원 물체인식의 과정은 데이터 획득, 기준 모델 생성, 입력된 데이터의 표현, 기준 모델과 입력 데이터의 정합으로 구성된다. 데이터 획득은 강건 스테레오 비전을 이용하여 깊이지도영상을 획득하여 해결하였다. 기존의 모델생성방법에서는 기준 영상을 얻기 위해 수동적인 작업에 의존하거나 원하는 물체의 기준 영상을 통해 혼린시키는 방법에 의존해 왔다⁽²⁾. 그러나 이러한 모델생성방법은 인식하고자 하는 물체의 수가 많을 경우 상당히 번거로운 작업일 뿐만 아니라 정밀도를 저하시키므로 본 연구에서는 보다 체계적인 모델생성을 위하여 CAD 모델을 사용하였다. 입력된 데이터를 표현하는 방법은 물체의 면들을 분류하고 식별하기 위해서 특

징을 추출해 내는 처리 과정이다. 이 과정은 잡음에 민감하므로 이를 해결할 수 있는 방안으로 삼차원 허프 변환을 이용하여 특징을 추출한다. 기준 모델과 입력데이터의 정합에는 모델 생성과정에서 추출된 물체의 특징과 입력된 영상에서 추출된 특징들을 비교하여 특정 모델의 존재 여부를 결정 한 후 물체의 위치와 방향을 추정하는 방법을 사용한다.

본 방법의 정확도와 효율성을 검증하기 위해 전 화기 모형을 대상으로 스테레오 영상과 카메라 보정을 통해 공작기계상에서 측정된 물체의 영상 인식결과를 실제 값과 비교하였다. 본 논문에서는 알고리즘을 설명한 다음 유용성을 검증하는 실험 결과를 제시한다.

2. 삼차원 Hough 변환

삼차원 Hough 변환은 이차원 직선 Hough 변환을 확장한 것이다. 이차원 직선 Hough 변환은 X-Y 공간상의 한 벡터를 크기와 방향의 공간으로 변환하

는 것이다. 삼차원 Hough 변환도 마찬가지로 X-Y-Z 공간 상의 한 벡터를 크기와 방향의 공간으로 변환하는 것이다. 삼차원 Hough 변환이 이차원 Hough 변환과 다른점은 방향을 나타내는 인자가 두개가 필요한 것이다. 삼차원 공간상에서 방향을 표현하기 위해 단위구면에 균일하게 분포하는 단위벡터를 설정하고 이를 u_n 이라고 한다. 이 때 삼차원 Hough 변환을 식(1)과 같이 주어진 데이터벡터와 단위벡터사이의 내적으로 정의한다.

$$p = X \cdot u_n \quad (1)$$

이 값을 이차원 공간상의 $H(n, p)$ 에 누적시키고 모든 단위벡터 u_n 과 모든 데이터 벡터 X 에 대해 반복하면 결과적으로 새로운 삼차원 Hough 변환 공간 $H(n, p)$ 가 생성된다. Hough 변환 공간은 극대치가 나타나는 곳에서의 $H(n, p)$ 값이 면의 면적을 나타내고 있을 뿐만 아니라 극대치가 나타나는 의 위치 값을 통해 면의 위치에 관한 정보도 포함하고 있으며 이를 통하여 물체의 평행 이동량에 관한 정보도 구할 수 있다.

삼차원 Hough 변환 공간은 물체의 크기 변화, 회전 이동에 대해 다음과 같은 성질을 가진다.

물체가 s 배 되었을 경우에는 식(2)와 같이 p 축 상에서만 s 배가 된다.

$$H_s(n, sp) = H(n, p) \quad (2)$$

다음으로 물체가 회전변환 행렬 A 에 의해 회전된 경우에는 식(3)과 같이 삼차원 Hough 변환 공간의 n 축상에서의 회전이동에 의한 새로운 n 축으로 섞여서 나타난다.

$$H_s(m, sp) = H(n, p), \text{ where } u_m = Au_n \quad (3)$$

물체가 벡터 t 만큼 평행 이동 되었을 경우에는 식(4)와 같이 p 축 상에서의 이동이 된다.

$$H_s(n, p+t \cdot u) = H(n, p) \quad (4)$$

3. 물체의 모델링

2.1 IGES 파일

본 연구에서는 물체 모델링을 위해 IGES(Initial Graphics Exchanges Specification) 파일을 이용하였다. IGES 파일은 CAD 시스템간의 데이터 교환의 목적으로 채택된 규격으로 가장 광범위하게 사용되고 있다.

IGES 파일에는 이차원, 삼차원 물체의 표현뿐만

아니라 그 밖의 도면들을 위한 여러 가지 엔터티(entity)들이 정의 되어 있다. 본 연구에서는 126 번 엔터티 (Rational B-Spline Curve)와 128 번 엔터티 (Rational B-Spline Surface)가 사용되었다. 여기서 두 엔터티만 사용한 이유는 대부분의 캐드 시스템에서 두 엔터티 만으로 제한하여 저장하는 기능을 제공하며, 이러한 두가지의 엔터티만으로도 삼차원 형상을 모두 표현할 수 있기 때문이다.

2.2 물체의 모델링

IGES 파일을 입력으로 하여 정합에 사용될 특징을 모델 데이터베이스로 저장하는 것이 모델 생성 단계이다. 정합에 이용될 특징은 삼차원 Hough 변환 공간이므로 IGES 파일을 분석하여 해당 물체의 삼차원 표면상의 점들의 좌표를 합성해 내어 삼차원 Hough 변환을 직접 계산하여 $H(n, p)$ 에 누적시켜 삼차원 Hough 변환을 구하여 모델링 한다. 또한, IGES 파일의 경계에 관한 정보를 이용하여 경계내의 적절한 표본율을 정해 점들을 합성한다.

Fig. 1 에 전화기 모델 IGES 파일을 인식 시스템으로 해석한 결과를 나타내었다.

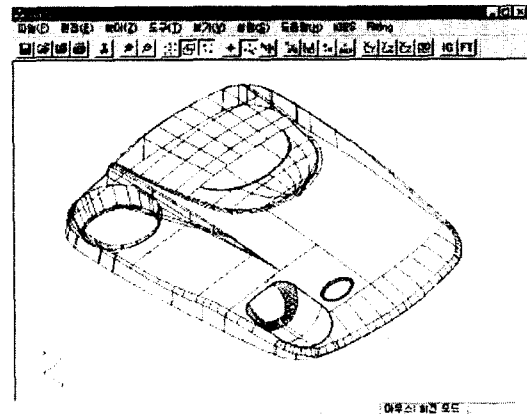


Fig. 1 Analyzed result of phone model IGES file

3. 감건 스트레오 비전

3.1 카메라 보정

카메라 보정은 내부변수(intrinsic parameters)와 외부 변수(extrinsic parameters)를 결정하는 과정이다. 내부 변수는 카메라의 초점거리, 중심점, 렌즈왜곡, 스케일 요소 등을 말하고, 외부 변수는 전체 좌표계에 대하여 카메라 좌표계의 위치와 자세를 말한다. 본 연구에서는 카메라의 내·외부 변수를 추출하기 위해 보정 패턴의 제어점을 이용한 Tsai 의 non-coplanar 방법⁽⁷⁾을 이용하였다. 카메라 보정 결과를 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Results of camera calibration

	Results	Unit
Focal length	16.77	mm
Image origin (C_x, C_y)	319.5, 239.5	Pixel
Lens distortion coefficient χ_1	8.343e-4	1/mm ²
Scale factor S_c	1.081	
Translation vector (T_x, T_y, T_z)	121.6, 121.8, 623.8	mm
Rotation vector (R_x, R_y, R_z)	2.34, 0.024, 0.032	Degree

3.2 스트레오 정합

정(7)이 제안한 방법인 정사각형 정합영역이외에 4 방향의 직선마스크의 정합영역을 이용하는 영역 기반 스트레오 정합 알고리즘을 사용하여 깊이도 영상을 얻었다.

이 방법은 평활화와 오정합을 동시에 줄이기 위해 수평, 수직, 대각선 방향의 직선 마스크 $\Omega_k, k=2,3,4,5$ 를 이용하여 직선마스크의 영역 안에서 강건추정자 기반의 상관관계함수 $LSSD$ 를 적용하는 상관 함수 $NSSD$ 를 정의한다.

$$LSSD(d) = \sum_{(u,v) \in \Omega_k} \rho_e(n(u,v)) \quad k=2,3,4,5$$

$$NSSD(d) = \rho_e(SSD(d)) + \lambda LSSD(d) \quad (5)$$

$$\hat{d} = \arg \min NSSD(d)$$

여기서, λ 는 가중비율을 조절하는 상수이다. 제안된 직선마스크는 각 직선마스크 방향에 대해 수직인 방향으로 영역기반 정합의 기본적 가정, 즉 변이가 상수라는 것을 부분적으로 만족시키게 되며, 이에 따라 차폐 등으로 인한 깊이불연속 영역에서 직선마스크 영역 안의 밝기차가 작아지게 된다. 따라서, 내부자의 영향을 크게 하고 밝기차가 크게 나타나는 국외자의 영향은 감소시키는 강건추정자의 특성으로 변이는 정확하게 추정될 수 있다.

그러므로 상관 함수 $NSSD$ 를 이용하면, 변이가 불연속적으로 변하는 영역에서 정합오차를 감소시킬 수 있고, 잡음으로 인해 밝기차가 큰 영역에서도 좋은 결과를 얻게 된다.

4. 정합

정합은 IGES 파일로부터 계산한 삼차원 Hough 변환공간 $H(n,p)$ 와 입력영상으로부터 계산한 삼차원 Hough 변환공간 $H'(n,p)$ 를 비교하여 물체의 존

재여부를 결정하고, 물체의 회전량과 평행이동량을 산출하는 과정이다.

2 장에서 설명한 삼차원 Hough 변환 공간 $H(n,p)$ 의 회전, 평행이동에 대한 성질을 이용하여 IGES 파일의 $H(n,p)$ 를 변화시키며 입력영상의 $H'(n,p)$ 와 비교하면 물체의 존재여부와 함께 회전, 평행 이동량을 구할 수 있다.

회전이동량은 삼차원 Hough 변환 공간 $H(n,p)$ 에서 p 는 무시하고 n 축으로 사영을 내려 수열 $H(n)$ 을 구한 후 일차원 상에서 비교하면 된다. n 의 수열을 구하는 것은 각 단위 벡터의 방향에 대한 정보를 구하는 것이다. 특정 방향 n 이 정해져 있을 경우 p 에 대한 $H(n,p)$ 는 면이 존재할 때 극대치를 나타낸다. $H(n,p)$ 의 값이 문턱값 이상이고 p 방향의 이웃에 대해 아주 크다면 n 의 방향으로 면이 존재한다고 판단할 수 있다. 이 때 극대치를 나타내는 p 는 면의 위치를 나타내고 $H(n,p)$ 의 값은 면적을 나타내게 된다. 이 면적값을 $H(n)$ 에 저장하여 회전이동량 산출을 위한 정합에 이용한다.

평행이동량은 회전이동량을 구한후 IGES 파일의 여러 면들 중에서 카메라가 설치되어있는 방향의 면을 선택하고 이 면들의 방향에서의 p 값을 입력 영상과 비교함으로써 산출한다.

삼차원 Hough 변환에 사용된 단위 벡터들은 구 좌표계 이용해 생성 되었다. 반구면 상에 단위 벡터를 7.5° 단위로 나누어 12 개의 위선을 긋고 단위 벡터를 분포 시키되 극점에서는 1 개로 시작하여 적도로 갈수록 많은 단위 벡터를 분포시켜 전체적으로 균일하도록 한다. Fig. 2 에 구 좌표계를 이용하여 단위벡터를 설정한 결과를 나타내었다. 여기서, 극점으로부터 위선에 분포하는 단위 벡터의 수는 1, 5, 9, 14, 18, 22, 25, 28, 31, 33, 35, 35 로 합이 256 개가 된다. 이 방법으로 단위 벡터를 설정하여 회전 변환 결과의 $H(n)$ 를 얻을 수 있다. 정합 점수는 회전을 가정한 IGES 파일의 $H(n)$ 과 입력의 $H(n)$ 사이의 내적으로 정해진다.

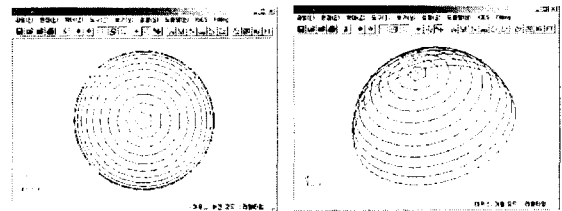


Fig. 2 Unit reference vector using the spherical coordinate system

5. 실험 결과

삼차원 영상 획득을 위해 Table 1의 카메라 보정 결과를 이용하여 3.2절의 스테레오 정합을 수행하였다. Fig. 3에 전체 실험장치의 사진을 나타내었다. 전화기 모델은 상용 CAD/CAM 소프트웨어인 I-DEAS를 이용하여 모델링한 후, 가공코드를 생성하여 수직형 머시닝센터에 의해 가공되었다. 또한 Fig. 4와 같은 전화기 모델의 스테레오 영상은 공작기계 테이블을 좌우로 이동하여 취득하였다. IGES 파일 형식으로부터 얻어진 Hough 변환 공간과 입력 데이터로부터 얻어진 삼차원 Hough 변환공간을 비교하여 얻은 결과를 Table 2에 표시하였다. 회전량은 평균 2.33°, 이동량은 평균 1.4mm의 오차량을 보였다.

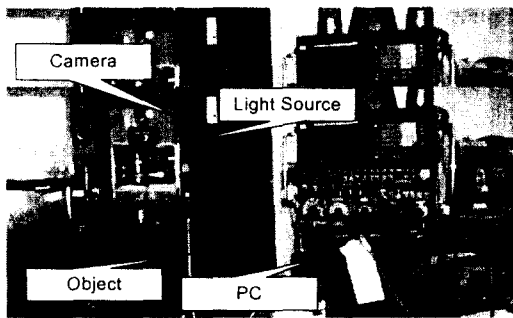


Fig. 3 Experimental setup



Fig. 4 Stereo images of phone

Table 2 Result on the phone

	Rotations (°)			Translations (mm)		
	θ_x	θ_y	θ_z	x	y	z
Results	-2	-3	2	15.3	6.8	23.2
Reference	0	0	0	14	7.5	21

6. 결론

CAD 기반 삼차원 물체인식을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

IGES 파일 126, 128 엔터티 해석 모듈을 개발하여 CAD 기반 물체인식을 수행할 수 있는 시스템을

개발하였다. 체계적인 모델생성을 위하여 CAD 모델을 사용하였다. 입력 영상의 삼차원 Hough 변환 공간을 직접 정합에 이용하여 잡음에 대한 민감성과 계산의 복잡성을 감소시켰다. 삼차원 Hough 변환에 필요한 깊이도영상을 스테레오 정합을 이용하여 저비용의 물체 인식 시스템을 개발하였다. 삼차원 Hough 변환시 발생하는 오차는 스테레오 정합의 깊이도영상을 전처리없이 직접 삼차원 Hough 변환에 이용함으로써 발생한 오차가 큰 비중을 차지한다. 따라서, 전처리 과정에 대한 연구와 다양한 물체에 대한 인식에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Arman, F., Aggarwal, J. K., "Model-Based Object Recognition in Dense-Range Image - A Review," ACM Computer Survey, Vol. 25, pp. 5 - 43, 1993.
2. Krishnapuram, R., Casasent, D., "Determination of Three-Dimensional Object Location and Orientation from Range Images," IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 11, No. 11, pp. 1158 - 1167, 1991
3. Flynn, P. J., Jain, A. K., "CAD-Based Computer Vision : From CAD Models to Relation Graphs," IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 13, No. 2, pp. 114 - 132, 1991.
4. Flynn, P. J., Jain, A. K., "BONSAI : 3D object recognition using constrained search," IEEE Trans. on Patten Anal. Machine Intell., Vol. 13, No. 10, pp. 1066 - 1074, 1991.
5. Reed, K., Harrod, D., and Conroy, K., "The Initial Graphics Exchange Specification (IGES) Version 5.0," U.S. Department of Commerce, 1990.
6. Tsai, R. T., "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lens," IEEE J. Robot. Automa., Vol. 3., pp. 323-344
7. 정성중, 김경범, 김낙현, "강건추정자와 직선마스크를 이용한 스테레오 정합," 대한기계학회논문집(A), 제 24 권, 제 4 호, pp. 991-1000, 2000.