

컬러 오각형을 이정표로 사용한 무인자동차의 위치 인식

김 영 삼[†] · 박 은 종^{**} · 김 준 철^{***} · 이 준 환^{****}

요 약

본 논문은 구동경로에 미리 부착된 컬러 오각형 이정표로부터 상대적인 위치를 산출하는 무인자동차의 자기위치 인식에 관한 연구이다. 오각형의 기하학적 특징들이 패턴에 따른 모바일 로봇의 상대적 위치를 설정하는데 사용되었다. 이러한 이정표를 이용한 비전 기반의 위치 인식은 단순하며 유효성을 가지고 있다. 이 방법은 오각형의 불변 특징량과 컬러를 이용하여 시스템이 패턴의 절대적 위치를 찾을 수 있도록 하는 방법이다. 본 논문의 알고리즘은 부착된 이정표와 저장된 시퀀스사이의 상호대응 관계를 결정하고 이를 이용하여 관찰자의 절대적 위치를 계산하고, 오각형의 5개 꼭지점을 이용하여 상대적인 위치를 결정하게 된다. 구현된 알고리즘은 실험을 통하여 위치오차 5cm를 가지며 처리속도는 0.3초미만이다.

키워드 : 오각형, 카메라 캘리브레이션, 자기위치인식, 무인자동차

Vision-Based Self-Localization of Autonomous Guided Vehicle Using Landmarks of Colored Pentagons

Youngsam Kim[†] · Eunjong Park^{**} · Joonchoel Kim^{***} · Joonwhoan Lee^{****}

ABSTRACT

This paper describes an idea for determining self-localization using visual landmark. The critical geometric dimensions of a pentagon are used here to locate the relative position of the mobile robot with respect to the pattern. This method has the advantages of simplicity and flexibility. This pentagon is also provided with a unique identification, using invariant features and colors that enable the system to find the absolute location of the patterns. This algorithm determines both the correspondence between observed landmarks and a stored sequence, computes the absolute location of the observer using those correspondences, and calculates relative position from a pentagon using its five vertices. The algorithm has been implemented and tested. In several trials it computes location accurate to within 5 centimeters in less than 0.3 second.

Key Words : Pentagon, Camera Calibration, Self-localization, AGV(Autonomous Guided Vehicle)

1. 서 론

로봇의 출현이 이제는 더 이상 소설 속에서나 존재하던 먼 미래의 일만은 아닌듯하다. 1996년 혼다사가 'P2'라는 로봇을 선보이면서 인간형 로봇의 역사에 일대 혁신이 일어났다. 배터리가 내장된 키 180cm 크기의 P2는 이전 로봇과는 비교할 수 없는 부드러운 걸음걸이로 세계 로봇 학자들에게 충격을 줬다. 이후 P3를 거쳐 2000년 아시모가 탄생하였다. 또한 국내에서는 한국과학기술원(카이스트) 기계공학과 교수 연구팀은 최근 두 발로 걷는 휴먼로봇 'KHR-2'를 개발 중이며, 자유로운 몸동작을 잠시 선보였다. 이러한 인공지능 로봇의 자기 위치 판단 시스템은 대단히 중요하며 또한 어

려운 연구사항 중 하나이다. 그러나 1990년 이후의 많은 연구에도 불구하고, 현재의 위치인식 기술 수준은, 이동 로봇에 직접 적용될 수 있는 수준이 아니라고 판단한다. 극단적인 예로 2004년 3월 DARPA에서 주최한 그랜드 챌린지 대회를 들 수 있다. 142마일의 완주 코스 가운데 대부분의 출진 이동로봇들이 7마일을 넘기지 못하였다는 것은 현재의 위치 인식 기술의 수준을 단적으로 보여준다. 위치인식 기술은 역할에 따라 '위치결정 기술', '지도형성 기술', '자율주행기술'로 분류되며, 센서에 따라 Buried Wire, Painted Lines, Infrared Beacons, Ultrasonic, Vision System 등이 있다. 궁극적으로는 로봇이 단독으로 새로운 환경에 접했을 때 그 환경을 인식하고 구성하며, 그 환경에서 자신의 위치를 파악하고, 주어진 일을 수행하기 위해 도착점까지 이르도록 하는 것이다. 또한 이런 여러 방법들의 가장 기본적인 문제 가운데 하나는 값싸면서 정확하고 또한 운행 환경에 영향을 덜 받는 것이다.

※ 본 연구는 정보통신부 지원 대학 ITRC 사업에 의해 부분적으로 지원되었음.

† 정 회 원 : KIST 지능로봇 연구센터

** 준 회 원 : 전북대학교 전자공학과 박사과정

*** 정 회 원 : 서남대학교 전자공학과 조교수

**** 정 회 원 : 전북대학교 전자공학과 교수

논문접수 : 2005년 2월 14일, 심사완료 : 2005년 6월 23일

종래의 비전기반의 위치 인식에 관한 연구 중 하나로 바코드와 원을 이용한 방법이 있다[1]. 이를 이용한 방법에서는 각각 이정표의 인식과 순서를 위해 바코드를 사용하였고, 이정표로부터 카메라의 상대 위치를 계산하기 위해 원이 사용되었다. 이동체는 먼저 입력 영상으로부터 바코드 영역을 찾아 이를 해석하여 얻은 이정표의 특징값을 미리 구성된 이정표의 순서와 비교하여 이동체의 절대위치를 알아낸다. 다음으로 원을 이용하여 이정표로부터 이동체의 상대 위치를 얻어 내어 현재 위치를 최종 산출하는 방법이다. 이정표는 (그림 1)과 같으며 두개의 부분으로 구성되어 있다. 이 방법에서 이정표로부터의 상대 위치는 획득한 영상의 타원과 이정표의 원의 넓이를 비교하여 계산하였다. 그러나 바코드와 타원을 이용한 방식에서는 카메라의 높이가 이정표의 중심과 일치해야 한다는 제약 조건을 가진다.

또 다른 방법으로는 코너에 설치된 컬러 정사각형을 이용한 방법이 있다[2]. 컬러 정사각형의 패턴 인식을 위해 Condensation 알고리즘을 사용하였으며, 상대 위치는 정사각형의 투영변환에 의한 변형을 이용하여 얻어진다. (그림 2)는 코너에 부착된 컬러 정사각형 이정표를 나타내었다. 그러나 이 방법은 카메라가 이정표와 수평을 이루어야 하고, 이정표는 반드시 코너에 설치되어야 한다는 제약조건을 가진다.

자기 위치 인식은 모바일 로봇의 중요한 부분이며, 본 논문에서는 다양한 색과 형태를 가진 오각형을 이정표로 활용하는 비전 가이드 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는

색과 형태가 다른 오각형들을 이정표로 사용하고 이를 주행 공간에 부착하여, 이동체에 부착된 카메라를 통하여 오각형을 인식하였다. 오각형이 가지는 고유한 특징량은 카메라의 투영변환에 불변하다는 사실과 조명의 밝기에 둔감한 색상 정보를 이용하여 서로 구별할 수 있는 패턴을 정의하고 이를 주행공간에 부착함으로써 AGV가 이를 인식할 수 있도록 하였다. AGV의 카메라로부터 얻어진 영상을 분석하여 오각형의 꼭짓점을 찾아내고, 이를 통해 특징량 값을 계산함으로써 오각형의 모양을 인식하였다. 이로부터 주행공간에 미리 부착한 오각형의 시퀀스 정보를 바탕으로 AGV의 절대적인 위치를 알 수 있다. 또한 카메라 캘리브레이션 모델은 최소 5개의 대응점을 필요로 한다는 사실에 착안하여, 5개의 꼭짓점을 대응점으로 사용하였다. 구해진 값을 이용하여 현재의 위치와 이동체의 조향각 및 이정표가 부착된 벽면의 거리까지를 측정할 수 있다. 또한 AGV의 위치는 3차원 값을 갖기 때문에 기존의 방법에 비해 이정표의 부착 위치를 자유롭게 할 수 있다.

제안된 시각기반의 자기위치 인식과 경로안내 방법은 한정된 케도에 설정된 라인을 인식하는 방법에 비해 AGV의 이동이 자유로우며 반사면의 성질과 방향에 민감한 초음파 등의 방법에 비해 주변 환경에 둔감할 수 있다. 또한 주행 기록계 등의 방법에 비해 오차의 누적분체를 피할 수 있으며, 바코드와 타원을 이용한 방법이나 컬러 정사각형을 사용한 방법에 비해 제약 조건이 자유롭다.

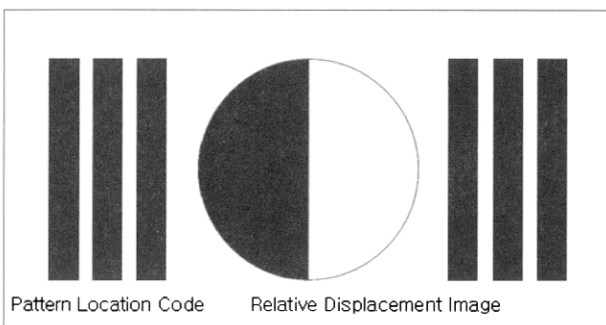
본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 2장에서는 제안한 이정표에 관하여 설명하였고, 3장에서는 카메라 캘리브레이션을 이용한 상대위치 산출방법을 4장에서는 오각형 인식을 위한 영상처리방법을 논하였으며, 5장에서는 실험결과를 마지막으로 6장에서는 결론을 맺었다.

2. 제안한 이정표

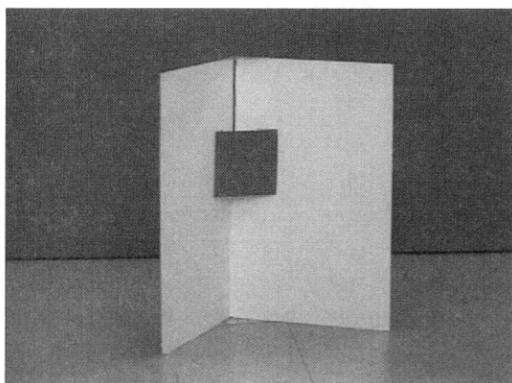
3차원 주행 공간의 한 점은 카메라의 투영에 의하여 영상의 한 점으로 투영된다. 투영 변환된 물체의 모양은 원래의 그것과 다른 형태를 보이게 되지만, 이정표로 사용된 동일 평면의 오각형은 투영변환과 무관한 불변 특징을 갖는다 [3][4]. 즉 평면에 부착된 오각형을 카메라로 촬영할 경우 카메라의 투영변환에 무관한 특징량을 갖는다는 것이다. (그림 3)은 투영 변환된 두 오각형 쌍을 보여주고 있으며, 투영 변환된 오각형으로부터 정의되는 불변 특징량은 (식 1)과 같다.

$$\left(\begin{array}{c|c} M_{431} & M_{531} \\ \hline M_{421} & M_{531} \end{array}, \begin{array}{c|c} M_{421} & M_{532} \\ \hline M_{432} & M_{521} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c|c} m_{431} & m_{531} \\ \hline m_{421} & m_{531} \end{array}, \begin{array}{c|c} m_{421} & m_{532} \\ \hline m_{432} & m_{521} \end{array} \right) \\ = (\text{Feature1}, \text{Feature2}) \quad (1)$$

여기에서, M_{ijk} 는 (P_i, P_j, P_k) 의 행렬이며 P_i, P_j, P_k 는 벽면에 부착된 오각형의 세 점을 동차 좌표로 표시한 벡터이다.



(그림 1) 이정표로 사용된 바코드와 타원



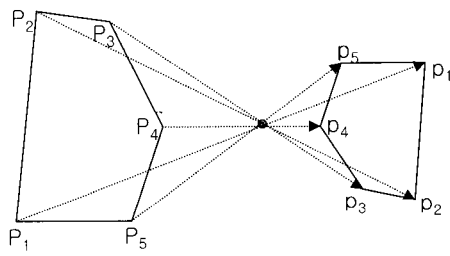
(그림 2) 코너에 부착된 컬러정사각형 이정표

$|M_{ijk}|$ 는 M_{ijk} 의 행렬식이며, M_{ijk} 가 벽면에 부착된 오각형의 좌표 값에 의한 행렬인 반면에 m_{ijk} 는 AGV가 캡처한 영상 의 (p_i, p_j, p_k)의 좌표 값에 의한 행렬이다.

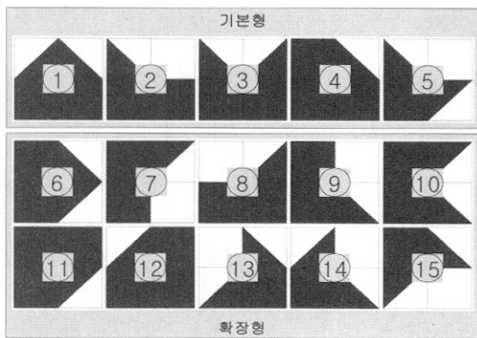
서로 다른 불변 특징량을 가지는 오각형은 여러 가지 존재 하는데, 오각형 상호간의 분별력을 높이기 위해 투영 불변량의 차이가 큰 오각형들을 사용하였으며, 본 논문에서는 다음의 조건을 만족하는 오각형을 제안하였다.

- 가) 서로 다른 오각형의 불변 특징량의 차는 크다.
- 나) 모든 오각형의 크기는 같다.
- 다) 오각형의 내각과 외각이 0이나 π 에 근접하지 않는다.
- 라) 오각형의 시작점인 P_1 을 식별할 수 있다.

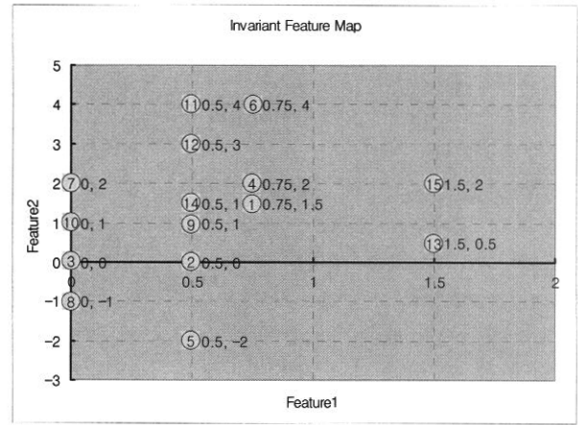
가)조건은 노이즈에 의해 변형된 오각형을 강인하게 인식 하기 위한 조건이며, 나)조건은 하나의 오각형으로부터 구해 질 수 있는 AGV의 유효 거리가 일정하도록 하기 위함이다. 다)조건은 두 개의 선분이 하나의 선분으로 오인식 되어 사각형 또는 삼각형으로 오인식 됨을 방지하고 직선의 방정식을 통한 꼭짓점 결정 과정에서 오차율을 최소화하기 위함이다. 라)조건은 오각형의 불변특징량은 시작점에 따라 그 값이 다르기 때문이다. P_1 의 결정은 입력 영상으로부터 왼쪽 하단에서 가장 가까운 점을 기준으로 하였다. 위에서 제시한 4가지 조건을 고려하여 (그림 4)의 1~5번의 5가지 기본형 오각형을 제안하였다. 사용된 5개의 오각형은 P_1 의 위치에 따라 같은 모양의 오각형도 서로 다른 특징값을 가지므로 각각을 회전이나 반전시켜 얻어진 오각형도 사용하였다. 이 중에서 중복되는 부분과 P_1 을 구분하기 어려운 경우를 제외하여 (그림 2)의 확장형 6~15번 10개를 포함하여 최종 15개의 형태가 사용되었다. 사용된 오각형들의 특징값은 (그림 5)와 같다.



(그림 3) 투영 변환된 오각형



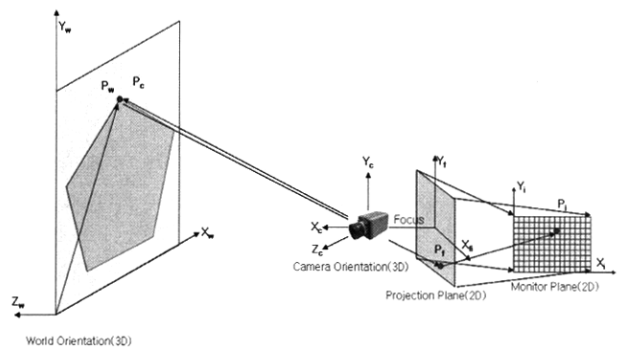
(그림 4) 이정표로 사용된 오각형 패턴



(그림 5) 제안한 오각형들의 특징량

3. 상대위치 산출

이정표로부터 AGV의 상대 위치를 알기 위해 오각형의 5개 꼭짓점을 대응점으로 하는 카메라 캘리브레이션 기법을 적용하였다. 카메라 캘리브레이션이란 영상을 취득하는 카메라의 방향 및 카메라의 객체로부터의 거리, 카메라의 초점 등의 파라미터를 찾아내는 과정을 의미한다. 즉 카메라 캘리브레이션 과정을 통해 삼차원 공간상의 AGV의 위치를 알 수 있다. 이러한 파라미터를 취득영상으로부터 알아내기 위해서는 객체와 영상의 다수의 대응 쌍을 필요로 하며 본 논문에서는 오각형의 꼭짓점들을 대응점으로 사용하였다. 카메라의 내부파라미터인 스케일, 중심이동은 변하지 않는 값이며, 포커스 역시 변하지 않는다는 제약 조건을 두어 이를 위한 과정과 운행 중에 변하게 되는 외부파라미터를 구하는 두 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계에서는 카메라의 모든 파라미터 값을 구할 수 있으며 다소 시간이 소요되거나 필요한 대응점의 개수가 많아지더라도 정확한 값을 얻을 수 있는 방법을 사용하였고, 두 번째 과정에서는 첫 번째 과정에서 구하여진 이동 중에 변하지 않는 파라미터를 이용하여 최소한 5개의 대응점으로 필요한 외부파라미터를 구하게 된다. 외부파라미터를 구하는 과정에서 필요한 대응점의 최소 개수는 5개로 제안된다. 카메라의 내부파라미터를 구하기 위해서 Z. Zhang의 방법[5]을 구현한 공개 프로그램을



(그림 6) 기준 좌표계 및 카메라 좌표계

사용하였으며, 외부 파라미터를 구하기 위해서는 Tsai의 방법[6]을 사용하였다. Tsai모델에서는 대응점과 이미지 좌표계가 평행일때는 거리 값을 구할 수 없기 때문에 포커스(렌즈의 중심으로부터 이미지 평면까지의 거리)를 고정된 방식으로 수정하였다.

(그림 6)은 실세계 기준 좌표와 카메라 좌표, 영상 좌표와의 관계를 보여주고 있다. 카메라 캘리브레이션을 통하여 구해야할 파라미터는 카메라의 외부 파라미터로 기준 좌표계(world coordinates)로부터 카메라 좌표계의 위치 해당하는 P_w 와 카메라의 팬, 틸트, 롤의 양 그리고 카메라 내부 파라미터에 해당하는 f , 스케일링 파라미터 S_{scale} , 카메라의 광축과 영상평면의 변위량(X_{ce} , Y_{ce})등이다. (식 2, 3, 4, 5)는 카메라를 통하여 기준좌표계의 값들이 영상좌표계로 변환되는 과정을 나타내었다.

$$P_c = H \bullet P_w \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$x_f = f \frac{x_c}{z_c}, \quad y_f = f \frac{y_c}{z_c} \tag{4}$$

$$x_i = S_{scale} x_f + x_{ce}, \quad y_i = S_{scale} y_f + y_{ce} \tag{5}$$

(식 2)에서 H는 각각 실 좌표계로부터 카메라 좌표계로의 변환을 의미한다. 카메라 좌표계를 기준으로 표현된 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ 는 카메라 렌즈를 통과한 후 2차원 이미지 평면상에 투영변환 된다. 이미지 평면은 렌즈로부터 f만큼 떨어져 있다. 이미지 평면상의 점은 그래버보드를 통해 캡처되면서 스케일링(Scale)되고, 광축의 중심이동(x_{ce} , y_{ce})이 일어난다. 즉 카메라 캘리브레이션 과정은 다수의 대응점인 실세계상의 한 점 $P_w(x_w, y_w, z_w)$ 와 획득 영상상의 한 점 $P_i(x_i, y_i)$ 로부터 카메라의 외부 파라미터인 실세계로부터 카메라의 위치와 틸트(r_x), 팬(r_y), 롤(r_z) 그리고 내부파라미터에 해당하는 초점거리(f), 스케일 파라미터(S_{scale}), 중심이동(x_{ce} , y_{ce})를 추출하는 것을 의미한다.

카메라 캘리브레이션을 통하여 (식 2, 3, 4, 5)에 포함된 파라미터를 추정하는 과정은 두 단계로 나누었다. 그 하나는 주행 전 AGV가 정지된 상태에서의 파라미터의 계산과정으로 X_{ce} , Y_{ce} 등의 파라미터의 추정과정과 다른 하나는 주행되는 상태에서의 파라미터 계산을 통하여 AGV의 벽면으로부터의 거리 및 간접적인 주행방향을 찾는 과정이다. 주행을 시작하기 전 카메라 상수 f , 스케일링 파라미터, S_{scale} , X_{ce} , Y_{ce} , 는 Z. Zhang의 모델[5]을 적용하여 미리 산출하였다.

한편, 움직이는 AGV에 부착된 카메라에서는 줌 동작은

일어나지 않고, 스케일링 파라미터와 X_{ce} , Y_{ce} 등이 고정되어 있다고 가정하였다. 따라서 본 논문에서 움직이는 AGV에서 구해야할 파라미터는 카메라의 위치와 팬, 틸트, 롤 양으로 한정되고, 이들 파라미터는 오각형 꼭짓점인 5쌍의 대응점으로 가능하다. 마지막으로 Tsai의 방법에서 f 를 상수로 바꾼 거리 값은 (식 6)과 같다.

$$t_z = \frac{(r_{11}x_w + r_{12}y_w + t_x)f - x_f r_{31}x_w - x_f r_{32}y_w}{x_f} \tag{6}$$

H는 카메라좌표계를 기준으로 기술된 값이므로 역변환을 취하면 이정표로부터 AGV의 상대위치가 결정된다. 또한 최적화 과정을 거치게 되는데, 여기에서 최적화 과정은 반복적인 방법을 이용하여 캘리브레이션 과정에서 얻어진 카메라 파라미터를 이용하여 구한 영상평면에서의 꼭짓점(x'_i , y'_i)의 위치와 꼭짓점 추출 과정으로부터 얻어진 5개의 대응점(x_i , y_i)과의 오차가 최소가 되도록 하였다. 또한 미지수 값이 부정확한 값을 가질 경우, 혹은 방정식을 풀 수 없는 경우 이전 데이터로부터 추적하여 현재의 위치를 산출하게 된다. (식 7)은 구해진 파라미터의 에러를 표현한다.

$$error = \sum_{n=1}^5 |x_n - x'_n| + |y_n - y'_n| \tag{7}$$

<표 1>은 스케일파라미터와 광축이동의 결과 및 오차이다.

<표 1> 초점거리, 스케일 파라미터, 광축의 중심이동 실험 결과

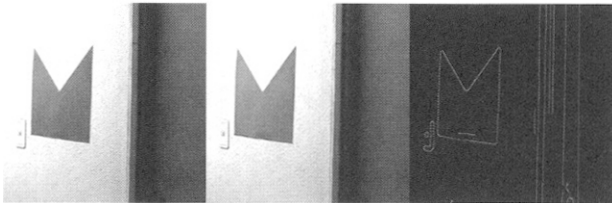
	측정값(단위)
Focal Length	$f \times S_{scale} : 977.55503$
	$f \times S_{scale} : 957.62681$
Principal point	$X_{ce} : 342.40179$
	$Y_{ce} : 210.58527$

4. 오각형의 꼭짓점 추출을 위한 영상처리

복잡한 구동환경에서 획득한 영상에서 오각형을 인식하는 과정은 결코 쉬운 일은 아니다. 오각형이 존재하는 영역에서 오각형을 인식하는 일 뿐 아니라, 오각형이 없는 영역 혹은 오각형이 아닌 물체를 오각형으로 판별해서는 안 된다. AGV는 구동 중 수많은 영상을 획득하므로 오각형이 존재하는 모든 영상에서 반드시 모든 오각형을 찾아내야 하는 것은 아니다. 반면 다른 물체를 오각형이 아님을 판별하는 일은 반드시 이루어져야 한다. 또한 인식된 오각형의 5개의 꼭짓점을 정확하게 찾아내는 일은 오각형의 불변 특징량을 구하는 일 뿐 아니라 카메라 캘리브레이션 과정을 위해서도 중요한 부분이다. 오각형의 인식은 다음의 과정을 통하여 이루어졌다.

- Step 1 : AGV는 영상을 획득한다.
- Step 2 : 흑백영상으로 변환
- Step 3 : 에지맵 획득
- Step 4 : Connected Component Labelling하여 객체 분리
- Step 5 : 객체의 화소의 좌표 값을 정렬
- Step 6 : 정렬된 화소 위치에서 정렬에 따른 곡률 추출
- Step 7 : 최대 곡률 5개를 기준으로 선분을 분리
- Step 8 : 분리된 점들을 이용하여 각각의 직선을 구한 뒤 교점 산출
- Step 9 : 오각형의 특징량 조사
- Step 10 : 오각형의 컬러 조사
- Step 11 : 시퀀스 정보와 비교하여 오각형 인식

취득한 칼라영상은 계산량을 줄이기 위해 먼저 입력 영상을 흑백 영상으로 변환하고, 변환된 그레이 영상에 먼저 영상의 Canny 에지검출기를 적용하여 에지를 검출하였다. Canny 에지 검출기의 처리과정은 (그림 7)과 같다.



(그림 7) 입력 영상으로부터 에지 추출 과정

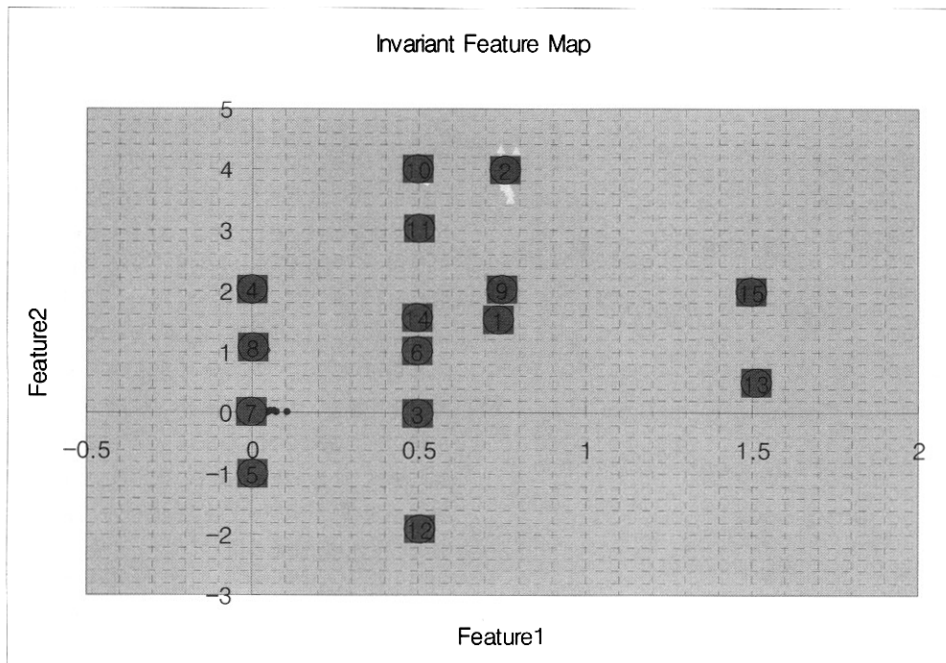
Canny 에지 검출기를 통해 얻은 에지맵에서 연결된 에지 성분들을 찾아 객체를 분리하고, 이 과정에서 분리된 객체의 크기가 작으면 오각형의 외곽선이라 볼 수 없기 때문에

이후의 처리과정에서 무시하였다. 오각형의 외곽선이라 가정되는 연결선분 객체 들은 왼쪽-아래 부분부터 시계방향으로 선분을 점유하는 화소 좌표 값들을 정렬하고, 정렬된 화소위치에서 곡률을 구하였다. 정렬순서에 따라서 다음 픽셀과의 곡률을 계산하고 구해진 곡률은 미디언 필터를 통하여 스무딩하였다. 오각형의 연결선분의 곡률은 뚜렷하게 5개의 첨두치를 가지며 그렇지 않은 연결선분 객체는 첨두치가 5개미만으로 존재하기 때문에 이 과정에서 역시 5각형 존재 유무를 판별하였다. 곡률의 첨두치 사이에서의 화소의 좌표 값들은 오각형의 선분들을 의미하며, 최소자승법에 의해 직선 근사화를 통하여 얻어진 직선들의 교점으로부터 오각형의 꼭짓점을 추출하였다.

오각형의 컬러는 AGV의 구동 환경에서 서로 구별 될 수 있는 컬러를 사용하였으며, 이는 운행환경에 따라 제약을 받는다. Hue값은 영상의 밝기에 비교적 둔감하므로, HSI 좌표계를 사용하였다. 인식률을 높이기 위해 서로 충분히 구별될 수 있는 Hue값과 운행 환경에서의 에지인식을 위한 균일한 컬러의 밝기를(Intensity=0.5)를 사용하였다. 그리고 일반적으로 운행 환경에서는 높은 Saturation의 컬러는 드물므로, 사용된 컬러들이 쉽게 구별할 수 있는 높은 Saturation을 컬러 선택의 조건으로 사용하였다. 실험에 의해 최종 7개의 컬러가 선택 되었다.

5. 실험결과

실험환경은 Pentium 4(2.4G) PC의 Visual C++ 환경에서 알고리즘이 구축되었으며, 카메라는 JVC900Kr을 사용하였다. 실험은 오각형 인식률, 꼭짓점 추적오차, 상대위치의 정



(그림 8) 오각형들의 불변 특징량

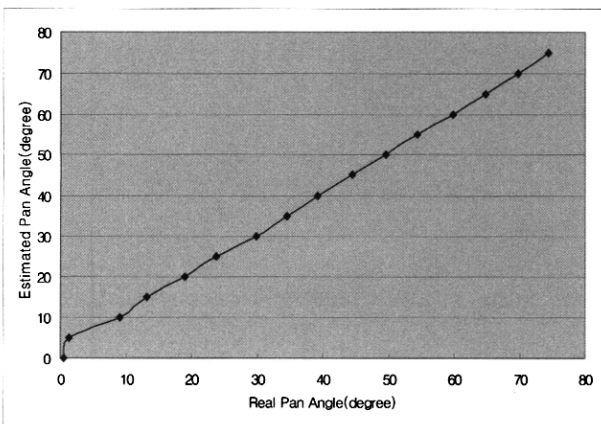
확도로 나누어 실험하였으며, 마지막으로 AGV실제 주행 실험을 하였다.

오각형 인식 결과 - 15개의 오각형을 사용하였으며 (그림 8)은 사용된 15개의 불변 특징량을 나타내며, 불변 특징량 간의 차이는 꼭짓점 추출 오차보다 커야 한다. 일반적으로 Hue값은 빛의 밝기에 둔감하므로 오각형으로 인식된 영역에서 Hue값을 조사하여 결정하였다. Hue값은 빛의 밝기에 따라 조금씩 변화하게 되는데 비교적 Hue값 간의 거리가 크고, 흑백영상에서 에지검출을 위하여 <표 2>와 같은 범위의 7개 컬러를 선택하였다. <표 2>는 사용된 컬러들의 Hue 범위를 나타내었다.

<표 2> 사용된 오각형의 Hue 범위

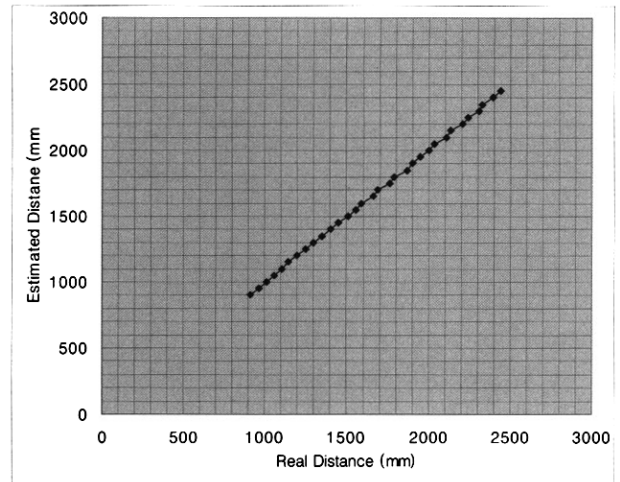
선택된 컬러의 Hue의 범위
10 < Color 1 < 25
45 < Color 2 < 55
62 < Color 3 < 75
90 < Color 4 < 100
110 < Color 5 < 125
135 < Color 6 < 150
170 < Color 7 < 180
평균 조도 : 15.1(lux)

카메라 캘리브레이션 실험 결과 - AGV의 위치산출과정에서 이정표로부터 패닝각과 거리 값은 위치결정에 큰 영향을 미친다. 또 입력영상의 오각형의 크기가 지나치게 작거나 혹은 지나치게 커서 오각형의 전체 모양을 얻지 못하는 경우는 위치산출 범위를 벗어나게 된다. (그림 9)는 패닝 실험 결과를 나타내었고, (그림 10)은 거리측정 결과를 각각 표현하였으며, (그림 11)은 AGV가 단일 오각형으로부터 위치산출 가능 범위를 표현하였다.



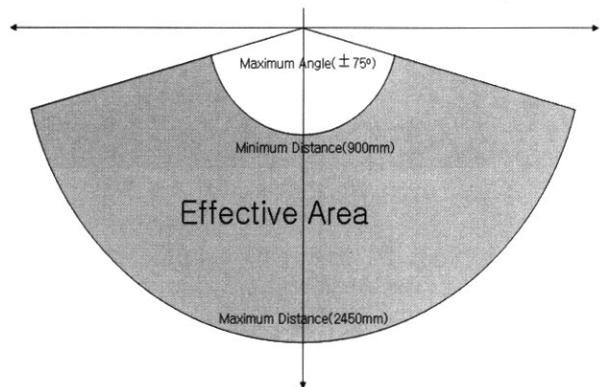
(그림 9) 패닝 측정데이터

(실제 값과 측정값의 차이의 절대 값 평균 : 0.82
 실제 값과 측정값의 차이의 절대 값 표준편차 : 0.87
 실험조건 Tilt=-0.5, Role=0.0, Tx=240, Ty=-100, Tz=1600)



(그림 10) 거리 측정데이터

(실제 값과 측정값의 차이의 절대 값 평균 : 7.758998
 실제 값과 측정값의 차이의 절대 값 표준편차 : 5.351
 실험 조건 - Tilt=-7, Pan=-3, Role=0.5, X0=30, Y0=280)



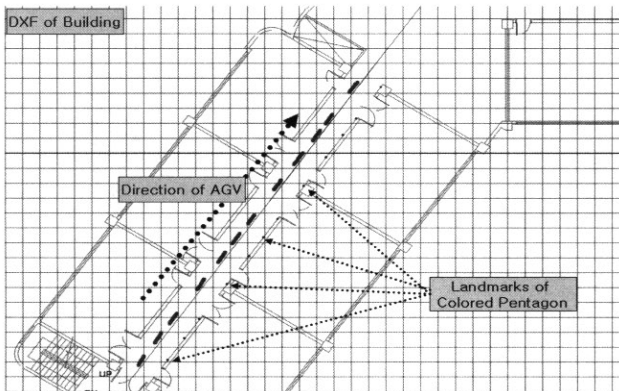
(그림 11) 오각형으로부터 AGV의 위치 산출 가능 범위

오각형 인식 실험 결과 - AGV는 이동 중에 오각형영상을 얻고 이로부터 얻은 꼭짓점으로부터 오각형을 인식하고 미리 부착된 오각형 시퀀스 정보로부터 절대적인 위치 및 카메라 캘리브레이션 과정으로부터 상대적인 위치를 최종적으로 산출하게 된다. <표 3>은 AGV가 이동 중에 획득한 영상의 인식률을 의미하며, 각각 획득한 영상에 오각형이 있는 경우와 없는 경우, AGV가 오각형을 인식한 경우와 실패한 경우를 의미한다. 실제 오각형이 있는 경우는 총 2564 프레임이며, 이중 2407프레임에서만 오각형을 인식하여 94%의 인식률을 보였다. 또한 오각형이 없는 영상 혹은 다른 모양(예 : 출입문에 부착된 사각형의 이름표 등)을 오각형으로 잘못 인식 하는 경우 잘못된 위치를 산출하여 AGV의 위치추정에 심각한 오류를 범하게 되는데, 제안한 알고리즘을 적용한 실험에서는 이러한 경우가 발생하지 않았다. (그림 12)는 AGV가 실제 건물 안에서 이동한 경로를 DXF 맵 상에 도시 하였으며, 직선거리 약 22미터를 이동한 위치이다. (그림 13)은 실제 AGV가 주행한 통로를 나타내었다.

〈표 3〉 촬영영상의 오각형 인식결과

Detected \ Real	오각형이 있는 영상	오각형이 없는 영상
오각형 있음	2407 frames	0 frames
오각형 없음	157 frames	1441 frames
인식율	94%	100%

이동거리 : 약22미터
 설치된 오각형 : 12개
 획득한 전체 영상 4005 frames
 이미지 샘플타임 : 3 frame/sec
 운행환경의 조도 : 평균 조도 : 15.1(lux)



(그림 12) AGV의 이동경로



(그림 13) 실제 AGV가 주행한 통로

6. 결 론

본 논문에서는 다양한 색과 형태를 가진 오각형을 이정표로 활용하는 비전 가이드 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 색과 형태가 다른 오각형들을 이정표로 사용하고 이를 주행공간에 부착하여, 이동체에 부착된 카메라를 통하여 오각형을 인식하였다. 또한 인식된 오각형의 5개의 꼭짓점을 이용하면 현재 이동체의 위치와 조향각 즉 이정표로부터 이동체의 상대적인 위치를 알 수 있다. 본 논문의 위치 결

정 알고리즘은 오각형의 불변 특징량과 컬러를 찾아내어 이정표의 시퀀스 정보를 참조한 후 절대적인 위치를 산출하는 단계와 인식된 오각형의 5개의 꼭짓점을 대응점으로 하여 카메라 캘리브레이션 과정 두 부분으로 나누어진다. 또한 카메라 캘리브레이션에 의해 3차원상의 위치 값을 가지기 때문에 기존의 방법에 비하여 이정표의 부착위치의 제한이 없다. 실험에서는 총 22미터 직선거리를 주행하였으며 총 4005프레임을 획득하였으며, 94%의 인식률을 보였다. 또한 실제로 오각형이 존재하지 않는 영역에서 오각형을 잘못 감지하는 경우는 없었다. 제한한 위치인식 방법은 비전 기반의 위치인식으로 AGV뿐 아니라 다양한 실내 측위시스템으로 활용될 것으로 기대된다. 향후 과제는 실험환경이 다른 경우 파라미터의 선택을 사용자가 쉽게 선택 할 수 있는 방법이 연구되어져야 한다.

참 고 문 헌

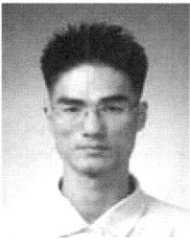
- [1] M. R. Kabuka and A. Arenas, "Position verification of a mobile robot using a standard pattern," *IEEE J. Robotics Automat.*, Vol.RA-3, No.6, pp.505-516, Dec., 1987.
- [2] G. Jang, Sungho Kim, W. Lee and I. Kweon, "Robust Self-localization of Mobile Robots using Artificial and Natural Landmarks" in *Proc 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation* July 16-20, 2003, Kobe, Japan.
- [3] J. L. Mundy and A. Zisserman, *Geometric Invariance in Computer Vision*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, England, pp.14-22, 476-485, 1992.
- [4] E. B. Payton and P. M. Haag, "General Methods for Determining Projective Invariants in Imagery," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol.53, No.1, pp.46-65, Jan., 1991.
- [5] Z. Zhang "A Flexible New Technique for Camera Calibration", *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 2000.
- [6] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-shelf TV cameras and lenses," *IEEE Journal Robotics automation*, Vol.RA-3, No.4, pp.323-344, Aug., 1987.



김 영 삼

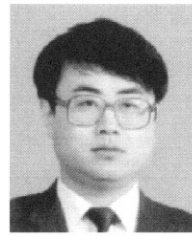
e-mail : dudtkal@yahoo.co.kr

2003년 전북대학교 제어계측공학과(학사)
 2005년 전북대학교 전자공학과 졸업(석사)
 현재 KIST 지능로봇 연구센터 위촉 연구원
 관심분야: 지능로봇, 컴퓨터 비전



박 은 종

e-mail : for0511@paran.com
2003년 군산대학교 컴퓨터정보과학과(학사)
2005년 전북대학교 전자공학과(석사)
현 재 전북대학교 영상공학과 박사과정
관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전



이 준 환

e-mail : chlee@moak.chonbuk.ac.kr
1980년 한양대학교 전자공학과(학사)
1982년 한국과학기술원 전자공학과
(공학석사)
1982년~1985년 전북대학교 전자공학과
교수

1985년~1987년 전북대학교 전자공학과 전임강사
1990년 미주리대학 전산학과(공학박사)
1990년~1994년 전북대학교 전자공학과 조교수
1994년~현재 전북대학교 전자공학과 부교수
관심분야: 영상처리 및 분석, 인공지능



김 준 철

e-mail : jkkim@tiger.seonam.ac.kr
1986년 전북대학교 전자공학과(석사)
1988년 전북대학교 전자공학과(공학석사)
1988년~1991년 LG 산전 연구소 연구원
1991년~1995년 전북대학교 전자공학과
(공학박사)

1993년~현재 서남대학교 전기전자통신공학부 조교수
관심분야: 영상처리 및 컴퓨터비전