

이동로봇을 위한 영상의 자동 엣지 검출 방법

Automatic Edge Detection Method for Mobile Robot Application

이 왕 헌*, 김 동 수, 권 인 소
(Wangheon Lee, Dongsu Kim, and Inso Kweon)

Abstract : This paper proposes a new edge detection method using a 3×3 ideal binary pattern and lookup table (LUT) for the mobile robot localization without any parameter adjustments. We take the mean of the pixels within the 3×3 block as a threshold by which the pixels are divided into two groups. The edge magnitude and orientation are calculated by taking the difference of average intensities of the two groups and by searching directional code in the LUT, respectively. And also the input image is not only partitioned into multiple groups according to their intensity similarities by the histogram, but also the threshold of each group is determined by fuzzy reasoning automatically. Finally, the edges are determined through non-maximum suppression using edge confidence measure and edge linking. Applying this edge detection method to the mobile robot localization using projective invariance of the cross ratio, we demonstrate the robustness of the proposed method to the illumination changes in a corridor environment.

Keywords : ideal binary patten, edge confidence measure, fuzzy-based edge thresholding, automatic edge detection, projective invariance, mobile robot, self-localization

1. 서론

본 논문은 영상 기반의 이동로봇제어에서 많이 사용 되어 왔던 그레디언트(image gradient) 기반의 엣지 검지기가 지니고 있는 몇 가지 문제점을 개선하기 위한 방법에 관한 것이다.

통상 이동로봇의 주행공간은 잦은 조명의 변화뿐 아니라 복잡한 환경 구조를 지닌 로봇 주행환경의 특성상 다양한 종류의 영상이 입력 되게 된다. 이와 같은 로봇 주행 환경 특성에도 강인하게 엣지를 검출할 수 있기 위해서는 엣지 검출을 위한 내부 변수를 제어해 주어야 하나 로봇의 경우는 불가능 함으로 자체적으로 영상 입력 변화 환경에 대처할 수 있는 강인하게 동작하는 엣지 검출 기술 개발의 필요성이 대두 되어 왔다.

특히 영상의 특징치중 엣지 성분을 추출하고 추출된 엣지 성분의 기하학적인 관계를 이용하여 로봇의 자기 위치를 인식하는 경우 엣지 검출의 인식 정도는 로봇의 공간 인식 능력에 지대한 영향을 주고 로봇의 자기인식 오차 발생의 원인으로 작용 할 수 있다[1]. 그럼으로 엣지를 영상의 특징치로 이용하는 이동 로봇의 응용에 있어서는 로봇 주행환경내의 조명등 환경 변화에도 강인하게 작동하는 엣지 검출기술은 필수적인 것이다.

종래의 그레디언트 기반의 엣지 검지 방법을 사용하는 경우 엣지 검출의 오차는 다음과 같은 원인에 의해 발생된다.

첫 번째로 영상의 그레디언트를 계산할 때 영상내의 고주파 성분의 효과를 완화하기 위하여 평활화를 하게 되는데 이러한 조작성은 엣지 영역까지를 포함한 전 화소에 가하게 되어 엣지요소가 왜곡되게 되고 접합부나 모서리 같은 부분에서

는 엣지를 잃어 버리게 되는 경우가 발생 된다(그림 3참조).

두 번째로 복잡한 실내 공간의 화소들의 영상의 그레디언트만으로 의미 있는 엣지 값을 찾는 것은 어렵다. Meer[2]는 이러한 정확한 엣지 위치검출의 애매모호성을 줄이기 위한 방법으로 신뢰 측정자를 제안 하였으나 이 경우 이치화 문턱치를 수동으로 조절해 주어야 한다.

세번째로 그레디언트 기반의 엣지 검출 방법은 그레디언트 방향을 결정하기 위한 제곱근이나 역 삼각함수의 계산에 시간이 많이 걸림으로 실시간 적용을 요구하는 이동로봇분야에 있어서는 가능한 한 계산에 걸리는 시간을 단축하여야 한다. 마지막으로, 그레디언트 기반의 영상 처리에 있어서는 입력 영상을 이치화하기 위하여 한 개 또는 두 개의 전역 문턱치만을 사용하고 원하는 최상의 결과를 얻기 위하여 이치화 문턱치를 수동으로 조절해 주어야 하는데 이동로봇과 같은 동적 환경에서 자동으로 에 엣지를 검출해야 하는 경우 엣지 검출을 위한 문턱치등 내부 변수의 수동 조절은 불가능하다.

Rosin[2]은 엣지 히스토그램을 사용하여 자동적으로 엣지 이치화 문턱치를 결정 하였으나 노이즈가 많이 포함된 엣지 히스토그램을 사용하므로 많은 경우 불안정한 결과를 보여 주고 있다. 이러한 점을 고려하여 본문에서는 이동로봇의 자기 위치 인식에 적용이 가능하도록 종래의 그레디언트 기반의 엣지 검출기가 지닌 이러한 단점들을 해결하고 조명등 환경 변화에 적응성이 뛰어나며 엣지를 강인하게 추출할 수 있는 새로운 엣지 검출방법을 제안한다.

첫 번째로 접합부와 코너등에서 발생하는 엣지 요소들의 왜곡을 방지하기 위하여 3×3 원도우의 이상적인 이치화 패턴을 그림 2와 같이 도입하고, 3×3 원도우 내의 화소들을 모두 필터링 하지 않고 원도우 내의 화소의 유사성에 따라 두 개의 그룹으로 나눈다(그림 2(b)).

두 번째로 화소의 신뢰측정자를 정의하여 의미 있는 엣지 요소를 결정할 때에 화소의 엣지 애매모호성을 제거할 수 있게 하였고 NMS(Non-Maximum Suppression) 방법을 적용하여 가능성이 있는 엣지 요소들을 강화하도록 한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 8. 30., 채택확정 : 2004. 12. 29.

이왕헌, 김동수, 권인소 : 한국과학기술원 전기전자 공학과

(whlee@kaist.ac.kr/kds@kaist.ac.kr/iskweon@ee.kaist.ac.kr)

※ 본 연구는 산업기술재단 지역 석박사 연구 인력 사업의 지원 및 과학기술부 국가지정연구실 지원사업(과제 번호:M1-0302-00-0064)의 지원으로 수행되었음.

세 번째로 이동로봇에 적용 시 필요한 계산시간 단축을 위해 에지의 크기를 3×3 윈도우내의 두 화소 그룹간의 평균 영상의 크기 차를 구하였고, 에지의 방향은 모든 이상적 이치화 패턴에 대하여 계산해 놓은 LUP로 부터 찾아 내도록 함으로써 계산시간을 단축한다.

마지막으로 퍼지기반의 에지 이치화 문턱치 결정 방법을 도입하여 입력 영상에 대한 다중의 이치화 문턱치를 결정하도록 한다. 이러한 다중 이치화 문턱치는 영상의 히스토그램을 구하고 히스토그램 상에 유사한 크기를 갖는 화소들을 그룹핑 하고 각 그룹들의 에지 이치화 문턱치를 퍼지 추론 과정을 이용하여 구한다.

새로이 제안한 에지 검출 알고리즘을 복도상에서 이동로봇의 자기 위치 인식에 적용하여 그 유용성을 검증 하였다.

II. 새로운 에지 크기와 방향검지 방법

본 논문에서는 3×3 이상적인 이치 패턴을 사용하여 화소에 대한 에지의 크기와 방향을 결정한다. 우선 3×3화소 블록내의 평균치를 구하고 이를 기준으로 3×3블록내의 화소들을 두개의 그룹으로 나눈다. 중앙의 화소와 같은 값을 갖는 화소들은 "1"을 할당하고 그렇지 않으면 "0"을 할당 한다 (그림 2(b)참조). 그리고 그림 2(c)에 보여주고 있는 바와 같이 중앙 화소를 중심으로 8개의 위치에 1,2,4,8,16,24,128의 가중치를 부여한다. 1의 값을 갖는 위치의 가중치를 더하면 8비트의 코드를 발생시킬 수 있으며 이를 GLSC(Grey Level Similitude Code의 약어)라 부른다. 이 GLSC는 화소의 이상적인 이치화 패턴을 나타낸다. 256개의 GLSC가 발생되며 대칭성등을 고려하면 49가지로 분류할 수 있다.

Otsu [4]의 경우 가우시안을 이용한 방법을 제안하고 있으나 여기서 제안하는 3×3 윈도우내에 그 방법을 적용하기 어려움으로 여기서는 단순히 윈도우 내의 평균치를 이치화 문턱치로 사용하였다. 아래의 (1)은 본 연구에서 새로 제안하는 에지의 크기를 구하는 식이다.

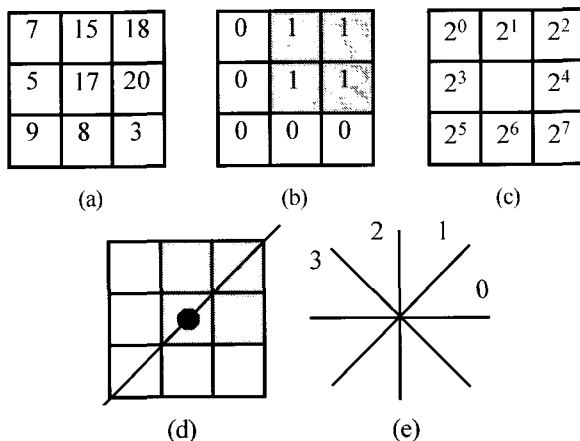


그림 1. GLSC와 에지 방향의 정의. (a) 입력영상의 예 (b) 이상적인 이치화 패턴 (c) 계산 예: GLSC = 2+4+16 = 22, (d) 에지 방향 (e) 방향 코드.

Fig. 1. Definitions of the GLSC and edge direction. (a) example input image (b) IBP (c) calculation example: GLSC = 2+4+16 = 22 (d) edge direction (e) edge gradient.

$$M(x, y) = |\bar{I}_1 - \bar{I}_0| \quad (1)$$

여기 $M(x,y)$ 는 입력 영상좌표 (x,y) 위치에서 에지 영상의 크기를 나타내고 \bar{I}_1 과 \bar{I}_0 는 3×3 윈도우내의 각 화소 그룹간의 각각의 평균 강도를 나타낸다. 에지의 크기는 화소에 대한 이상적 이치 패턴을 기반으로 계산하기 때문에 방향에 따른 차를 구하는 것과 같다. 화소의 에지의 방향은 화소 GLSC에 대하여 구하여 놓은 LUT의 방향코드와 방향값을 읽어 들여 결정한다. 여기서 LUT에는 256종류의 GLSC에 대하여 4개의 방향 코드값과 방향각이 사전에 다량의 실험 영상을 통하여 계산하고 저장되어 있다 (그림 2 (d),(e) 참조).

III. 에지 신뢰 측정자를 이용한 NMS

본 논문에서는 에지 신뢰측정자를 이용하여 화소들이 지니는 에지검출 위치의 애매 모호 성을 해결 하였고 이를 이

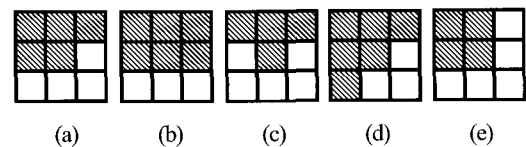


그림 2. ESF와 다섯가지의 이상적인 이치 패턴. (a) GLSC-15 (17.9%) (b) GLSC-31 (13.7%) (c) GLSC-7 (12.6%) (d) GLSC-47 (10%) (e) GLSC-11 (10%).

Fig. 2. Five binary edge patterns with high ESFs. (a) GLSC-15 (17.9%) (b) GLSC-31 (13.7%) (c) GLSC-7 (12.6%) (d) GLSC-47 (10%) (e) GLSC-11 (10%).

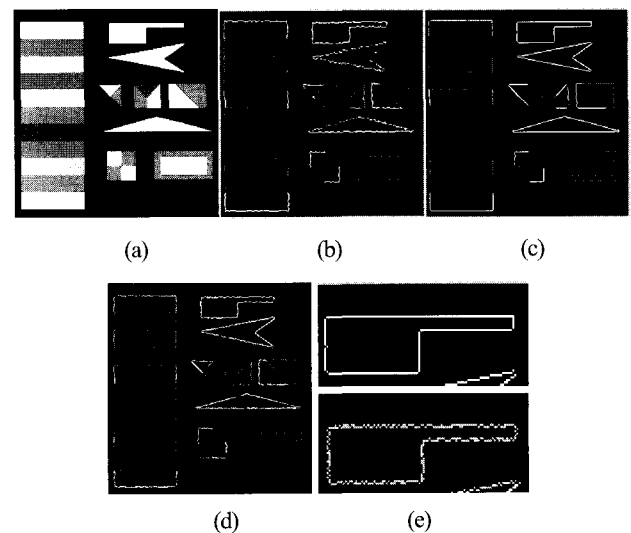


그림 3. NMS까지 구한 에지 검출 결과. (a)입력영상 (b) ESF가 없는 출력 영상 (c) ESF적용한 결과[6] (d) ISEF[191] (e) 확대시킨 에지 검출의 일부 결과: 상부는 제안된 방법, 하부는 ISEF에 의한 결과, 괄호 안의 수는 입력 (a)와 2화소 이상의 차이가 나는 화소 수.

Fig. 3. Edge detection result up to NMS. (a) input image (b) output without the ESF (c) with ESF[6] (d) ISEF[191] (e) expanded view: upper denotes the result of proposed method, lower of ISEF and the number inside [] represents the number of pixel with 2 pixel's discrepancy from (a) input image.

상적인 이치 패턴에 대한 에지 형태 요소(Edge Shape Factor, 이하 “ESF”라함)라 정의 한다. 에지 형태 요소는 많은 실험 영상을 대상으로 모든 이상적인 이치 패턴에 대한 에지 검출을 수행하여 구한다. 실험 영상에 대하여 모든 화소의 GLSC를 구한 다음 종래의 잘 알려진 에지 연산자인 SOBEL[5]을 적용하여 에지가 잘 검출 되도록 변수들을 조정 한다.

SOBEL을 적용하는 것은 기존의 잘 알려진 알고리즘을 적용하여 최상의 조건에서 ESF를 구하기 위한 단계이다. 여기서 ESF는 다음의 (2)와 같이 정의 한다.

$$ESF(k) = N_e(k) / N_i(k) \quad k = 0, 1, \dots, 255 \quad (2)$$

여기서 k는 이상적인 이치화 패턴에 대한 GLSC를 나타내고 $N_e(k)$ 와 $N_i(k)$ 는 GLSC-k에서의 최종 에지 요소의 수와 최종 화소의 수를 나타낸다. 이런 방법으로 결정된 에지 신뢰 측정자는 어떤 화소가 에지 요소가 될 수 있는가를 나타내는 가능성을 나타낸다. 10% 이상의 에지 요소 가능성을 갖는 GLSC의 수는 49개의 이상적인 이치화 패턴 중에서 단지 그림2에 보여주는 다섯 개의 패턴 뿐이다. 다른 대부분의 이상적인 이진 패턴들은 1%보다 작은 ESF 값을 갖는다. 모든 GLSC에 대한 ESF를 LUT에 저장 하여 필요에 따라 GLSC에 대응하는 값을 읽어 들일 수 있도록 하였다.

NMS 단계에서는 LUT로부터 ESF를 읽어낸 다음 이를 에지 크기에 곱한다. 이 값이 강화된 합성 에지 컨피던스가 되며 화소들을 비교할 때 사용한다. 3×3 윈도우내에서 그래디언트 방향으로 최대가 되지 않는 화소들은 지워버리는 과정을 반복한다. 그림3은 제한한 에지 검출 방법과 다른 방법들을 비교한 결과이다. 입력 영상은 약간의 가우시안 노이즈를 부가한 합성영상이다. ESF를 도입한 본 연구의 에지 검출 방법은 종래의 최적한 에지 검출 방법인 Shen과 Castan의 ISEF [6]방법의 결과 보다 더 좋은 에지 검출 결과를 보여 주고 있는데 이러한 결과는 NMS단계에서 ESF를 도입 함으로써 에지 주의의 스무딩 효과를 줄였기 때문이다.

IV. 퍼지 기반의 에지 검출을 위한 자동 이치화 문턱치 결정 방법

영상을 구성하는 각각의 화소그룹에 대하여 다중의 이치화 문턱치를 결정한다. 그림 4(b)에는 그림 4(a)의 히스토그램상의 화소 그룹 (i)에 해당하는 화소 만을 분리해 낸 결과를 보여 주고 있다. 화소 그룹들은 그림 4(a)에 보여주고 있는 영상 히스토그램에서 두개의 연속한 계곡들 사이의 화소들로 구성한다. 화소 그룹의 수는 히스토그램상의 정점의 수와 같다. 그림4(a)는 입력 영상 그림 4(b)의 히스토그램을 이용한 화소 그룹핑의 예를 보여주고 있으며 여기서는4개의 그룹이 발생되며 대해 각각 (i), (ii), (iii), (iv)로 표시하였다.

화소그룹을 구성한 후에 퍼지 추론 과정을 통하여 각 화소 그룹의 에지 이치화 문턱치를 결정한다. 다량의 에지 추출 실험을 통하여 퍼지 추론에 사용할 퍼지 입력 값들을 결정한다. 여기서는 화소 그룹의 세가지 통계치, 즉 최빈값, 평균 그리고 그룹내의 화소의 수를 퍼지 추론의 입력으로 사용한다. 화소그룹에 대한 이 세가지 입력 통계치를 계산할 때에 그 그룹의 대표적인 화소들 만을 고려하며, 이때 JND(Just Noticeable Difference)[7]내에서 최대 영상의 크기를 갖는 그룹

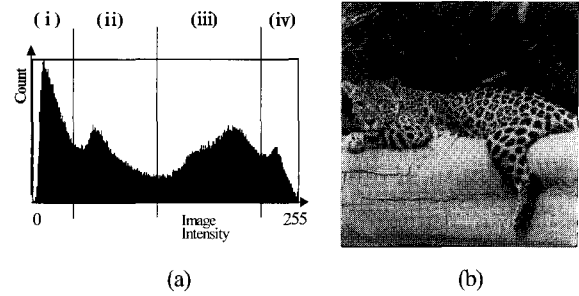


그림 4. 표범 영상에 관한 그룹 구성의 예. (a) 영상의 히스토그램을 이용한 화소 그룹핑 (b) 각 화소 그룹에 해당하는 픽셀, 여기서 (a)의 (i)영역은 (b)의 영상의 검은 색 부분에 해당한다.

Fig. 4. An example of group construction for the jaguar image. (a) grouping by the input image histogram (b) pixels (b) pixel groups where (i) region in (a) corresponds to black background region in (b).

표 1. 퍼지추론을 위한 룰 베이스.

Table 1. Rule-base for fuzzy reasoning system.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
In1	S	S	S	S	S	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L	L	L
In2	S	S	M	M	L	L	S	S	M	M	L	L	S	S	M	M	L	L
In3	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Out1	M	M(S)	M	M	M	M	M	M	M	L	M	L	M	M	M	L	L	L
Out2	M	S	M	M	M	M	M	M	M	L	M	L	M	M	M	L	L	L

의 화소 만을 고려한다. 이러한 개념을 이용하여 인간 시각 시스템과 유사한 에지 추출 결과를 얻을 수 있다. 구현 과정에서는 경험적으로 영상에서의 가장 큰 값의 1/50을 JND로 정의 하였다.

수백 개의 다른 종류의 실험 영상을 이용하여 에지 검출 실험을 하였고 이를 통해 퍼지 룰을 구축 하였다. 표 1은 18개의 룰로 구성된 퍼지 룰을 보여주고 있다. 각각의 룰은 입력력과 출력으로 구성되며 “S”, “M”, “L”은 각각 “small”, “medium”, “large” 값을 나타낸다.

물리적으로 첫 번째 입력인 최빈값은 화소 그룹내의 의미 있는 영상의 크기 변화를 나타낸다. 두 번째 입력인 평균-최빈값은 화소 그룹내의 지배적인 작은 영상 강도변화의 정도를 나타낸다. 이러한 최빈값을 이용하여 강한 노이즈를 지닌 영상을 분리할 수 있고 동시에 대략적인 노이즈 강도도 예측할 수가 있다. 세번째 입력인 픽셀의 수는 그 수가 많거나 큰 경우에만 영향을 미친다. 세개의 입력을 그림 5의 (a), (b), (c)와 같은 멤버 함수를 이용하여 퍼지화 한다. 여기서는 단순화 및 빠른 계산을 하기 위하여 삼각형의 멤버십함수를 사용하였다. 첫 번째 및 두번째 입력은 JND로 정규화 하였고 세번째 입력은 영상에서 전 화소 그룹 들 중에서 최대 및 최소 화소 수로 정규화하였다.

비퍼지화 값 β 는 그림 5(d)에 보여주고 있는 것과 같은 출력 멤버 함수와 표 1의 정해진 룰에 따라 결정된다. 대부분의 경우에 Out1이 동작 되며 Out2는 첫 번째와 두 번째의 입력이 아주 작고 세 번째 입력이 아주 클 경우에 동작 된다. 영상에서의 전체 화소 그룹의 수의 크기로 입력 영상의 복잡

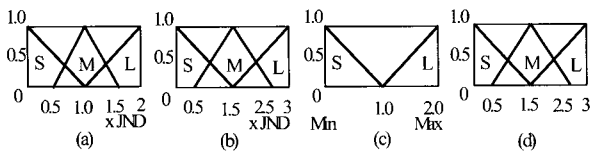


그림 5. 퍼지 멤버쉽 함수 (a) 최빈값, (b) mean-mode, (c) 화소 수 (d) 출력.

Fig. 5. Fuzzy membership functions (a) mode, (b) mean-mode, (c) pixel count, (d) output.

성을 예측 할 수 있으므로 Out 2가 Out 1보다 큰 값에서 결정 되도록 표1에서와 같이 룰 베이스를 결정하였다. 그리고 룰 No.2에서의 출력 Out 1이 “M”이 아닌 “S”가 되기 위해서는 첫 번째 입력(In1)이 두 번째 입력 (In2)보다 작을 때 출력 Out1은 “M”대신에 “S”가 되고 문턱치는 통상치 보다 낮은 값으로 결정되는데 아주 많은 화소가 있는 그룹내에서 의미를 지닌 약한 에지 요소들을 추출하기 위해서 이다.

Mamdani의 MIN-MAX법 [8]을 이용하여 각각의 룰에 대한 합성 입력에 대해 퍼지 추론을 실행하여 지지 영역을 구하고 비 퍼지화는 무게 중심법을 사용 하여 구한다. 여기서 비 퍼지화 출력 β를 이용하여 최종적으로 에지 문턱치를 다음의 (3) 과 같이 구한다.

$$Eth[k] = mode[k] + \beta[k] * JND$$

for k=1~(number of pixel groups) (3)

여기서 Eth[k]는 에지 이치화 문턱치 이며 mode[k]는 에지 크기의 최빈값이고 β[k]는 화소그룹 k에 대한 퍼지 추론의 출력 값이다. 이치화 에지 문턱치는 에지의 크기 레벨에서 결정 되며 인간 시각 시스템에 의해 쉽게 인지 할 수 있는 가장 지배적인 영상 강도 변화값 보다 큰 값으로 설정한다. 이 에지 이치화 문턱치는 에지 결합단계 에서 에지를 연결할 때 사용한다.

V. 조명 변화에 따른 에지 검출실험

수백 장의 다른 종류의 영상에 대하여 본 알고리즘을 실험 하였다. 그림 6에서 첫번째 열은 입력 영상을 두 번째 열에는 제안된 알고리즘에 의한 자동으로 에지가 검출된 결과를 세 번째 열은 종래의 에지 검출기인 ISEF에 의한 결과를 보여 주고 있다.

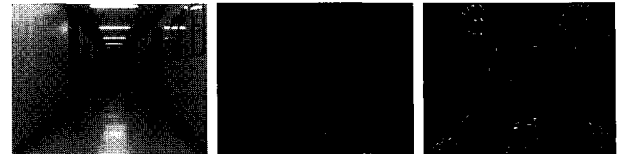
ISEF의 경우는 평활화 하기 위한 상위와 하위 변수 값을 수동으로 조절하여 최상의 결과를 얻을 수 있도록 여러 번의 시행착오를 통하여 결정 하였다. 그림 6(a)에서 lth=25, hth=50로 하였고 평활화 필터의 값은 1.0, 그리고 그림 6(b) 및 (c)에서는 lth=5, hth=10과 평활화 변수값은 5.0으로 각각 조절하였다.

그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 제안된 방법이 조명변화에 대해서 내부 변수의 수동조작 없이 잘 동작하며 검출 된 결과는 문턱치 값을 수동으로 조절 하여 최상의 값을 얻어낸 세 번째 열의 ISEF 에 의한 결과에 필적할 만한 결과를 보여 주고 있다.

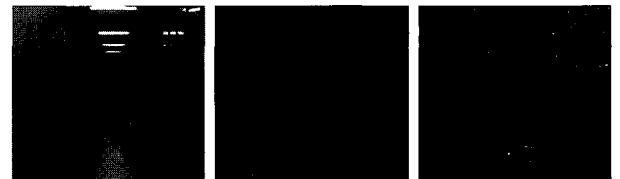
세가지 에지 검출 방법에 대한 계산 시간을 Pentium-IV 1.4 GHz PC 에서 실행 하였고 그 결과를 표 2에 두 종류의 입력



(a) lth=25, hth=50, Filter=1.0



(b) lth=5, hth=10, Filter 5.0



(c) lth=5, hth=10, Filter 5.0

그림 6. 조명변화에 따른 에지 검출 결과. 첫번째 열: 입력 영상, 두번째 열: 제안된 방법에 의한 결과, 세번째 열: ISEF에 의한 결과.

Fig. 6. Edge dection results according to the illumination changes. The first column: Input image, the second: result from the proposed and the third from the ISEF.

표 2. 에지 검출기에 대한 계산 시간 결과.

Table 2. Processing time for edge detectors.

	256x256 (Lena)	512x512 (jaguar)	640x480 (cal-box)
Ours	0.11 sec	0.40 sec	0.49 sec
ISEF	0.11 sec	0.50 sec	0.55 sec
Sobel	0.11 sec	0.50 sec	0.60 sec

영상에 대하여 보여 주고 있다. 본 연구에서 제안한 방법이 추론에 시간을 많이 걸리는 퍼지 추론 룰을 사용하기는 하였으나 종래의 방법보다 빠른 계산 결과를 보여 주고 있다.

VI. 제안한 알고리즘을 이용한 자기 위치인식 실험

1. 복도 실험 및 카메라 투사 모델

본 절에서는 투사 불변량과 상대 위치 추정[1] 방법을 이용한 이동로봇의 자기 위치 인식의 실험을 하였다. 이동로봇의 주행실험을 위한 복도환경은 그림 7과 같다.

그림 8(a)는 일반적인 복도의 단면을 보여 준다. 복도를 따라 두개의 평행선이 있고 이 두선이 소실점을 구성한다. 수직으로 놓여진 문틀들은 소실선과 만나며 이 교점들을 복도 환경인식을 위한 영상 특징치로 사용한다. 또한 이 점들을 그림 8(b)와 같이 영상면에 투사되며 교차비מת 상대적인 위치 결정법[1]에 의해 복도를 주행하는 로봇의 자기 위치 인식에 사용된다.

그림 9는 영상의 강도 분포를 사용한 문틀의 추출 결과를 보여준다.

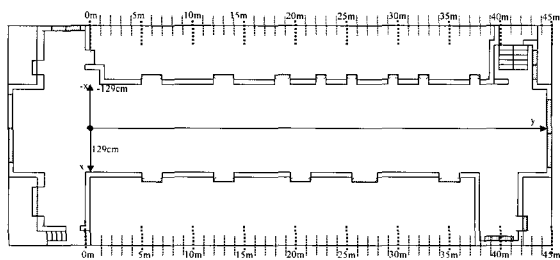


그림 7. 복도 환경의 평면배치도.
Fig. 7. Floor plane for the corridor experiment.

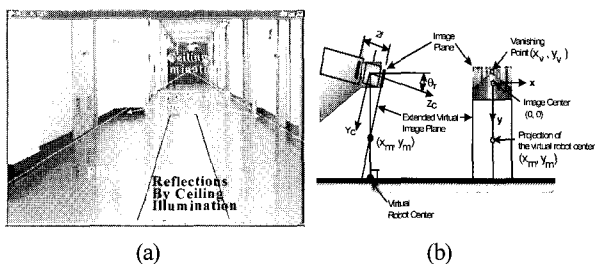


그림 8. 일반적인 복도의 그림. (a) 일반 복도 환경 (b) 가상 로봇 센터와 영상 평면.
Fig. 8. Scene of the general hallway. (a) general corridor (b) virtual robot center and image plan.

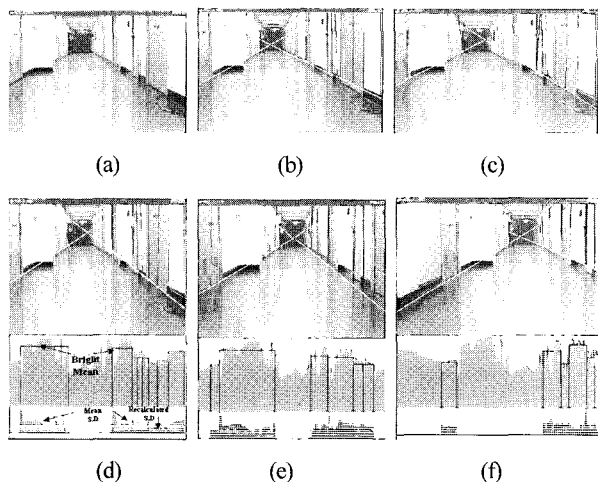
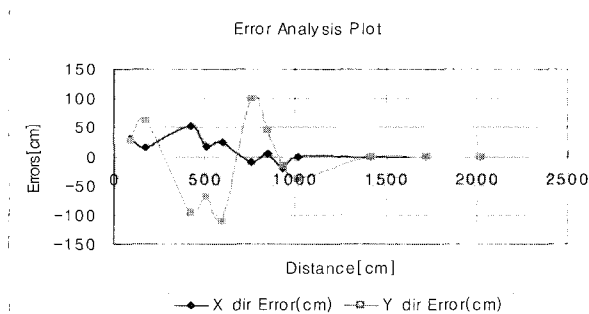


그림 9. 복도 실험 결과. (a) 입력 영상 (b) 소실점과 수직라인 (c) 특징점추출 (d) 실패한 경우 (L. Door>Bright_Th) (e) 실패한 경우 (R. door>S.D_Th), (f) 성공한 경우.
Fig. 9. Preprocessing results. (a) input image (b) vanishing point and vertical lines (c) feature point extraction (d) fails case(L. Door>Bright_Th) (e) another failed case (R. door>S.D_Th) (f) successful.

여기서 검출된 문틀은 밝기 평균에 관한 기준 값과 밝기의 표준편차(SD) 값을 만족하는 경우 베이스 수직 라인으로 결정된다. 그림 9(d)에서 왼쪽의 문틀은 평균 밝기 기준값 보다 크며 (e)는 그림 9(e)의 경우 오른쪽의 문틀에서는 밝기 평균에 관한 기준을 만족하지만 표준 편차(SD) 기준을 만족하지 않는다. 그림 9(f)의 경우는 양쪽의 문틀이 평균 밝기 기준 및 밝기 표준편차를 만족하므로 로봇의 자기 위치 인식

Dist.from Org.	Input Image	Processed Output	Localized Data
190cm			X= +30 cm Y=+116cm
175cm			X=+15cm Y=+235cm

그림 10. 검출된 영상과 자기 위치 확인 결과.
Fig. 10. Sample image inputs and their localized results.



(a) Localization error

	x dir error(cm)	y dir error(cm)
RMS error	25	72

(b) Root mean square error

그림 11. 로봇 주행 위치에 따른 제곱 평균 오차.
Fig. 11. Self-localization errors depending on the robot locations.

을 위한 베이스 수직 라인으로 선정 하여 로봇의 자기위치 인식에 사용한다.

만약 소실점을 중심으로 왼쪽 또는 오른쪽 문틀의 영상 중 어느 한쪽의 밝기 평균 기준 및 표준 편차기준을 만족하지 않으면 영상처리 기반의 자기 위치 인식은 실패하게 된다. 그림으로 로봇이 주행하는 환경의 조명 변화와 같은 예측 불가능한 환경 조건 하에서도 강인하고 정확하게 작동되는 에지 검출기는 로봇의 자기 위치 검출에 있어서 아주 중요한 역할을 하게 된다.

2. 실 환경 적용 실험

그림 10은 복도에서 영상의 에지 검출을 이용한 로봇의 자기 위치 인식의 결과를 보여준다.

그림 11은 복도주행 실험을 통하여 얻은 결과를 (4)를 이용하여 자기위치 인식오차를 구한 결과이다.

$$\begin{aligned}
 X_{dir_{RMS}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^K (X_{TRUE}[i] - X_{MEAS}[i])^2}{K+1}} \\
 Y_{dir_{RMS}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^K (Y_{TRUE}[i] - X_{MEAS}[i])^2}{K+1}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 K , $X(Y)dir_{RMS}$, $X(Y)dir_{TRUE}$ 그리고 $X(Y)dir_{MEAS}$ 는 각각 검출된 위치의 수, x (또는 y) 방향의 제곱평균 위치 오차와 x (또는 y) 방향의 줄자로 측정된 값 및 영상에 의한 측정치를 나타낸다.

VII. 결론

본 논문에서는 영상의 에지를 기반으로 로봇의 자기 위치를 인식하는 영상기반의 이동로봇의 제어에 있어서 에지 검출의 신뢰성의 로봇의 기하학적인 위치인식의 오차와 밀접한 관계가 있음으로 로봇 주행 환경의 조명 변화뿐 아니라 다양한 종류의 영상 입력에도 내부 변수의 조절 없이 강인하게 에지를 검출 할 수 있는 영상의 에지 검출에 관한 것이다.

이러한 환경변화에 적응하며 강인한 에지 검출기를 구현하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 새로운 알고리즘을 제안하였다. 이상적인 이치 패턴과 에지의 GLSC개념을 제안하여 에지를 따라 나타나는 스무딩 효과를 최소화하고 화소의 에지 크기를 산술적으로 구하며 에지의 방향을 실험을 통해 구한 GLSC값에 대응하는 방향코드와 크기값을 LUT에서 읽어 들임으로 결정하였다. 또한 에지 컨피던스 측정자를 도입하여 구한 에지값에 곱 해줌으로서 NMS 단계에서 신뢰성 있는 에지의 검출이 가능하도록 하였다. 또한 퍼지 추론 기반의 에지 문턱치의 결정 방법을 통하여 자동으로 다중의 에지 문턱치를 결정 하도록 하였다.

새로 제안한 방법을 이동로봇을 이용하여 실내 복도 공간을 주행하는 실험을 통하여 조명이 변화하는 주행환경내의 복잡한 환경에서도 잘 적용 됨을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제안한 에지 검출 방법이 로봇과 같이 동적인 영상 취득 환경에서 내부변수의 조절이 어렵거나, 또는 환경에 관한 사전 정보를 얻을 수 없는 경우 사용이 가능함을 실험을 통하여 검증하였다.

참고문헌

- [1] W.-H. Lee et.al, "Self-localization of a mobile robot without camera calibration using projective invariants," *Pattern Recognition Letters*, 21 (2000) 45-60.
- [2] P. Meer, and B. Georgescu, "Edge detection with embedded confidence," *IEEE T. PAMI*, vol. 23, no. 12. 2001.
- [3] P. Rosin, "Unimodal, thresholding," *Pattern Recognition*(34), no. 11, pp. 2083-2096. 2001.
- [4] N. Otsu, "A threshold selection method from grey-level histograms," *SMC*(9), no. 1, pp. 62-66. 1997.
- [5] I. Sobel, "On calibrating computer controlled cameras for perceiving 3-D scenes," *Artificial Intelligence*, 5(2), pp. 185-198. 1974.
- [6] J. Shen, and S. Castan, "An optimal linear operator for edge detection," *Proceedings of IEEE, International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 109-114, Miami. 1986.
- [7] A. Jain, *Fundamental of Digital Image Processing*, P. H, pp. 68, p72. 1989.
- [8] E. H. Mamdani, and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man Machine Stud.*, vol. 7, pp. 1-13. 1974.



이 왕 현

1985년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1995년 2월 한국과학기술원 자동화 및 설계 공학과(공학석사). 2001년 8월 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과(공학박사). 2001년 11월~2003년 10월 한국과학기술원 전자전산학과 BK21 연구원.

2003년 11월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 초빙교수. 관심분야는 센서 융합 기반의 이동로봇제어.



김 동 수

1982년 서울대학교 공과대학 기계설계학과(공학사). 1994년 8월 한국과학기술원 자동화 및 설계 공학과(공학석사). 2003년 8월 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과(공학박사). 1997년~현재 삼경정보 통신(주) 연구소장. 관심분야는

Low Level Image Processing, 삼차원 물체 측정, 문자 인식 등.



권 인 소

1981년 2월 서울대학교 기계설계학과(공학사). 1983년 2월 서울대학교 기계설계학과(공학석사). 1991년 2월 Carnegie Mellon University, Ph.D. In Robotics. 1991년 2월~1992년 2월 도시바 R&D Center, 연구원. 1992년 2월~현재한국과학기술원

교수.