

효율적인 전처리와 개선된 하프변환을 이용한 무선 이동로봇 영상에서 직선검출

조보호[†], 정성환^{**}

요 약

본 논문은 무선 이동로봇의 영상에서 빠르고 정확하게 직선을 검출하는 방법에 대한 연구이다. 직선검출 처리시간 향상을 위하여 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 영상의 특성을 분석하고 기존의 전처리 방법들 중 효율적인 전처리 방법을 선택하였다. 그리고 직선검출 정확도 향상을 위하여 하프변환의 결과를 저장하는 하프배열에서 지역 최대값을 선택하는 방법을 마스크를 설계하고 하프배열에 적용하여 개선하였다. 무선 이동로봇으로부터 획득한 실험영상을 가지고 실험을 실시하였고 제안방법은 처리시간과 직선검출에 있어 기존 방법들에 비해 좋은 성능을 보였다.

Line Detection in the Image of a Wireless Mobile Robot using an Efficient Preprocessing and Improved Hough Transform

Bo-Ho Cho[†], Sung-Hwan Jung^{**}

ABSTRACT

This paper presents a research on the fast and accurate method of line detection in the image of a wireless mobile robot (WMR). For the improvement of the processing time to detect lines, the characteristics of the transmitted image from the WMR was analyzed, and the efficient preprocessing method among the existing preprocessing methods was selected. And for the improvement of the accuracy to detect lines, the selection method of local maximum value at the Hough array (HA) which has the result of Hough transform was improved by designing a mask and applying it to HA. The experiment was performed with acquired images from the WMR, and the proposed method outperformed the existing methods in terms of processing time and line detection.

Key words: Wireless Mobile Robot(무선 이동로봇), Preprocessing(전처리), Hough Transform(하프변환), Mask Design(마스크 설계), Line Detection(직선검출)

1. 서 론

이동로봇의 위치인식과 자율주행을 위해 사용되는 센서(sensor)로는 원거리 측정에 사용되는 초음파 센서, 근거리 측정을 위한 IR 센서, 빠르고 높은 정밀도를 제공하는 레이저 센서 그리고 비전 센서

등이 있다. 특히 비전 센서의 경우 다른 센서들이 줄 수 없는 주변 환경에 대한 종합적인 정보를 제공해주므로써[1,2] 단독 혹은 다른 센서들과 융합하여 자율주행과 위치인식에 많이 사용되고 있다[1-6]. 또한 문 열림 상태 파악[7]이나 침입자 추적[8] 등과 같은 다양한 응용 영역에 그 사용 빈도수가 늘어나고 있다.

※ 교신저자(Corresponding Author): 조보호, 주소: 경남 창원시 의창구 사립동 9번지 55호관 505호실(641-773), 전화: 055)213-3819, FAX: 055)286-7429, E-mail: chobh@changwon.ac.kr
접수일: 2010년 10월 5일, 수정일: 2011년 3월 28일

완료일: 2011년 4월 22일
[†] 준회원, 창원대학교 컴퓨터 공학과
^{**} 종신회원, 창원대학교 컴퓨터 공학과
(E-mail: sjung@changwon.ac.kr)

비전 센서를 갖춘 이동로봇으로부터 컴퓨터로 영상을 실시간으로 전송하기 위하여 많이 사용하는 압축 포맷은 MPEG 4와 MJPEG (motion JPEG)이다 [8,9]. 이 중 MJPEG은 독립적으로 하나의 영상을 JPEG 형식으로 압축하여 연속적으로 영상을 전송하는 형태이다. 이 방법의 영상 포맷은 MPEG 4 보다 압축률은 낮지만 영상을 전송하는 쪽에서 움직임 추정 및 보상 등의 처리가 필요 없고 영상을 수신하는 쪽에서는 영상 복원을 독립적으로 처리할 수 있기 때문에 MPEG 4 보다 낮은 지연 시간을 제공한다. 이와 같은 이유로 MJPEG 포맷은 영상 움직임과 물체 추적과 같은 영상처리에 더 적합하다[10].

압축된 영상을 이동로봇으로부터 컴퓨터로 전송하는 방법에는 유선을 이용한 방법(유선 이동로봇)과 무선선을 이용한 방법(무선 이동로봇)이 있다. 유선 이동로봇의 경우 이동로봇에 랩톱 컴퓨터를 장착하는 형태로 대부분 이루어져 있다. 이 경우 로봇의 전체 크기가 커지게 되고 로봇의 이동반경이 제한된다. 또한 배터리 소모가 높고 유지 및 관리의 어려움이 있다. 그러나 높은 해상도 영상을 빠르게 전송하고 처리할 수 있는 장점이 있다[2,4,6]. 무선 이동로봇의 경우 로봇과 컴퓨터가 분리되어 있어 크기가 상대적으로 작고 주행 가능한 공간의 제한이 적다. 또한 배터리 소모가 작고 유지 및 관리가 편리한 장점이 있다. 그러나 이동로봇과 컴퓨터 간 실시간 전송을 위하여 낮은 해상도 영상을 전송해야 하는 단점이 있다 [5,8]. 기존 대부분의 비전 영상처리에는 유선 기반 환경에서 영상을 획득하여 이루어진다. 따라서 유선 이동로봇의 경우 기존 비전 분야의 방법을 응용할 수 있는 여건이 조성되어 있지만 무선 이동로봇의 영상처리는 그 여건이 상대적으로 열악하다.

본 논문은 팬/틸트 구동이 가능한 비전 센스가 장착된 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 영상에서 기하학적 특징인 직선을 빠르고 정확하게 검출하는 연구이다. 일반적으로 이동로봇의 전송영상에서 직선 검출은 전송 받은 영상을 전처리하여 이진영상을 획득한 후 하프변환을 이용하여 이루어진다[1,3,4,6,7, 11]. 따라서 본 논문은 전송받은 영상의 전처리 과정의 효율성을 높이기 위하여 무선 이동로봇으로부터 전송받은 영상의 특성을 분석하고 전처리 단계에서 기존 방법들을 비교하여 효율적인 방법을 선택한다. 그리고 하프변환의 성능을 개선하기 위하여 하프변

환의 결과를 저장하는 하프배열의 지역 최대값을 선택하는 방법을 마스크 설계와 적용을 통하여 개선한다. 본 논문의 실험은 무선 이동로봇으로부터 획득한 영상을 4개의 클래스로 구분하여 각 50개씩 총 200개의 실험영상을 가지고 이루어졌다. 제안 방법은 처리 시간과 직선검출에 있어 기존 방법들에 비해 좋은 성능을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 유선 이동로봇으로부터 전송받은 영상의 전처리 방법을 소개한다. 3장에서는 무선 이동로봇으로부터 전송받은 영상의 특성을 살펴보고 전송받은 영상의 효율적인 전처리 방법을 설명한다. 4장에서는 하프변환과 직선검출의 문제점을 알아보고 마스크 설계를 이용한 개선된 하프변환을 제안한다. 그리고 5장에서 실험 및 분석을 살펴본 후 6장에서 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 유선 이동로봇의 전처리

그림 1은 비전 센서가 장착된 유선 이동로봇으로부터 컴퓨터로 전송된 영상에서 직선이나 장애물과 같은 특징을 검출하기 위해 일반적으로 수행되는 전처리 흐름도이다[2,4]. 전처리 수행 단계는 다음과 같다. 1) 로봇의 비전 센서를 이용하여 관심 대상을 컬러영상으로 획득한다. 2) 획득된 컬러영상을 명암도 영상으로 변환한 후 명암도영상에서 스무딩 필터를 이용하여 잡음을 제거한다. 3) 잡음이 제거된 영상에서 에지 검출기를 이용하여 에지영상을 획득한 후 문턱치를 이용하여 이진영상을 획득한다. 4) 획득된 이진영상에 추가 잡음 제거가 필요한 경우 모폴로지를 실시하고 세션화 과정을 거쳐 최종적으로 두께 1인 영상을 획득한다. 5) 획득한 최종영상을 이용하여 이동로봇으로부터 전송된 영상에서 특징을 추출한다.

그림 1과 같이 유선 이동로봇으로부터 전송된 영상에 대한 전처리는 기존의 다른 분야에서 비전 센서를 기반으로 획득한 영상의 전처리와 유사하다. 그러나 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 영상에 대한 전처리 단계는 그 방법들이 아직까지 명확하지 않고 유선 이동로봇의 전처리 방법을 그대로 사용하는 것은 유무선 이동로봇의 전송영상 특성이 상이함을 인하여 효율성이 떨어질 수 있다.

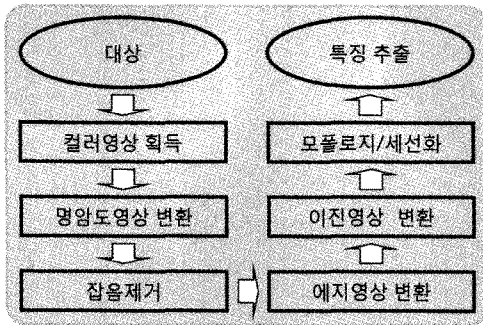


그림 1. 무선 이동로봇의 전처리 흐름도

3. 무선 이동로봇의 전송영상 특성과 전처리

3.1 무선 이동로봇의 전송영상 특성

본 논문에서 사용한 HBE-RoboCAR-Vision 무선 이동로봇은 팬/틸트 구동이 가능한 비전 센서가 장착된 4 바퀴형 이동로봇이다[12]. 비전 센서로 입력되는 영상은 MJPEG 영상 포맷으로 변환되어 RF 전송 모듈을 이용하여 컴퓨터로 전송된다. MJPEG 영상은 각 비디오 프레임을 JPEG 알고리즘을 이용하여 인코딩하여 전송하는 형태이다. JPEG 알고리즘의 인코딩 과정을 간략히 살펴보면 다음과 같다. 1) 원 영상을 8x8 블록들로 나누고 각각의 블록을 DCT 변환하여 64 개의 DCT 계수를 얻는다. 2) 수식 1과 같이 양자화 테이블 계수를 이용하여 DCT 계수를 나누는 양자화 과정을 거친다. 3) 지그재그 스캐닝과 엔트로피 코딩 과정을 거쳐 인코딩한다[13].

실시간 전송을 위하여 JPEG 영상의 압축률을 높이는 방법 중 한 가지는 64 개의 DCT 계수를 나누는 양자화 테이블 계수의 크기를 수식 2와 같이 스칼라 값을 곱하여 크게 해줌으로써 가능하다. 크진 양자화 테이블 계수를 이용하여 정규화 과정을 거치게 되면 계수 중 0이 아닌 계수는 DC 계수 외에는 대부분 남지 않게 되어 압축률을 높일 수 있다.

$$F^Q(u, v) = \text{Integer Round} \left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad (1)$$

여기서 $F(u, v)$ 는 DCT 계수이고, $Q(u, v)$ 는 양자화 테이블 계수이다.

$$Q(u, v) * k, \quad k = 2, 4, 8, 16, 32 \quad (2)$$

이와 같이 무선 이동로봇의 비전 센서를 이용하여 획득한 영상을 압축률을 높여 컴퓨터로 전송하게 되면 전송영상은 평균 필터링에 의해 잡음이 제거되는

효과를 가지게 되고 블로킹 현상이 두드러지는 특징을 가지게 된다[14].

3.2 무선 이동로봇의 효율적인 전처리

영상처리 분야에서 전처리는 전체 시스템의 성능을 좌우하는 매우 중요한 부분으로 알려져 있다. 무선 이동로봇으로부터 전송되는 영상은 3.1 절에서 언급한 것과 같이 높은 압축률로 인해 잡음이 제거되는 평균 필터링 효과 때문에 무선 이동로봇의 전처리 단계 중 스무딩 필터 단계가 필요 없다. 본 논문의 스무딩 필터 단계를 제외한 나머지 전처리 단계는 다음과 같다. 1) 컬러영상에서 명암도영상 획득 단계, 2) 명암도영상에서 에지영상 획득 단계, 3) 에지영상에서 이진영상 획득 단계로 한다. 모폴로지와 세션화 단계는 선택적인 단계이기 때문에 생략한다. 본 논문에서는 전처리 각 단계에서 효율적인 방법을 선택하기 위하여 기존 방법들을 비교 평가한다. 다음은 비교 평가를 위한 자세한 내용이다.

1) 실험영상 준비

(1) 무선 이동로봇으로부터 획득한 200 개의 실험영상을 준비한다.

2) 처리시간 비교

(1) 기존 방법들의 처리시간을 비교하기 위하여 다음의 단계별 처리시간을 측정한다.

(2) 컬러영상에서 명암도영상 획득시간(Gray), 명암도영상에서 에지영상 획득시간(Edge), 에지영상에서 이진영상 획득시간(Binary), 이진영상을 이용한 하프변환 실행시간(Hough)

(3) (2)의 단계별 처리시간과 전체 처리시간(Total)을 비교한다.

3) 이진영상 비교 및 효율적인 방법 선택

(1) 전체 처리시간 상위 5가지 방법을 선택한다.

(2) 선택된 5 가지 방법을 이용하여 이진영상을 획득한다.

(3) 획득된 이진영상을 비교 평가하여 해당 전처리 단계에서 효율적인 방법을 선택한다.

3.2.1 컬러영상에서 명암도영상 획득 단계

무선 이동로봇으로부터 전송 받은 JPEG 컬러영상을 명암도영상으로 변환하는 기존 방법들은 다음

과 같다. RGB 컬러공간을 YCbCr 컬러공간으로 변환한 후 휘도 Y 채널을 이용하는 방법, RGB 컬러공간을 HSI 컬러공간으로 변환하여 명암도 I 채널을 이용하는 방법, RGB 컬러공간을 CIE XYZ 컬러공간으로 변환한 후 휘도 Y 채널을 이용하는 방법, 각 RGB 채널의 채색을 이용하는 방법, RGB 각 채널을 명암도영상으로 직접 이용하는 방법 등이 있다[13].

표 1은 각 방법의 처리시간을 비교한 표이고 G 채널을 이용한 방법의 전체 처리시간이 가장 빠르다. 휘도 Y 채널을 이용한 YCbCr과 CIE XYZ 방법의 경우 비슷한 성능을 나타내었고 HSI과 SQRT 방법은 명암도영상 획득 처리시간이 많이 소요되었다. RGB 각 채널의 경우 하프변환 실행시간이 R, B, G 채널 순으로 오래 걸렸으며 이는 각 방법을 이용하여 획득한 이진영상의 복잡도가 R, B, G 채널 순으로 복잡하다는 것을 나타낸다.

그림 2는 표 1에서 전체 처리시간 상위 5가지 방법을 이용하여 무선 이동로봇으로부터 전송받은 문 영상으로부터 획득한 이진영상이다. 그림 2를 살펴보면 5가지 방법에 의하여 획득된 이진영상에는 큰 차

표 1. 명암도영상 획득 처리시간(sec.)

Methods	Gray	Edge	Binary	Hough	Total
YCbCr	0.010	0.015	0.008	0.425	0.459
HSI	0.044	0.015	0.008	0.418	0.484
CIE XYZ	0.010	0.015	0.008	0.421	0.454
SQRT	0.040	0.015	0.008	0.448	0.510
R channel	0.005	0.015	0.008	0.460	0.487
G channel	0.005	0.015	0.008	0.420	0.447
B channel	0.004	0.015	0.008	0.424	0.452

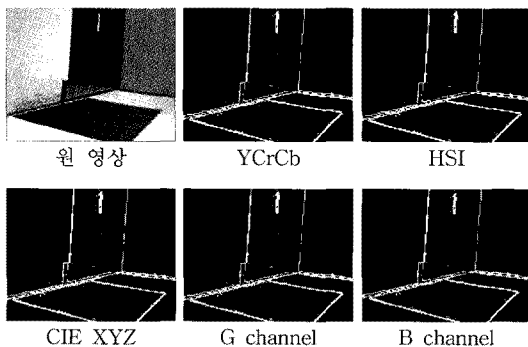


그림 2. 문(door) 영상의 이진영상

이가 없다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문은 각 방법의 처리시간과 이진영상 비교를 바탕으로 컬러영상에서 명암도영상을 획득하는 방법으로 G 채널을 이용하는 방법을 선택한다.

3.2.2 명암도영상에서 에지영상 획득 단계

에지는 영상의 밝기가 낮은 곳에서 높은 곳으로 혹은 그 반대로 변하는 지점에 존재하는 부분으로서 1차 미분 연산자와 2차 미분 연산자를 이용하여 획득할 수 있다[13]. 본 논문은 G 채널을 이용하여 획득한 명암도영상에서 에지영상을 효율적으로 획득하기 위해 표 2와 같이 위쪽 4개의 1차 미분 연산자인 그래디언트, 소벨, 프리윗, 로버츠와 아래쪽 3개의 2차 미분 연산자인 라플라시안, 로그, 캐니의 처리시간을 비교하였다.

표 2를 보면 1차 미분 연산자는 2차 미분 연산자보다 명암도영상에서 에지영상을 획득하는 처리시간은 빠르지만 하프변환 실행시간은 늦다. 이는 1차 미분 연산자를 사용하여 획득한 에지가 2차 미분 연산자를 사용하여 획득한 에지 보다 굵기 때문이다. 캐니 방법의 경우 이중 문턱치로 인해 영상 내의 블로킹 현상과 같은 불필요한 에지까지 검출함으로써 하프변환 실행시간이 길다. 라플라시안 방법은 전체 처리시간이 가장 빠르지만 무선 이동로봇의 해상도가 낮은 영상에서 에지를 검출하지 못하는 경우가 발생한다.

그림 3은 전체 처리속도 상위 5가지 방법을 이용하여 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 벽 영상에서 획득한 이진영상이다. 그림 3을 보면 로버츠, 라플라시안, 로그의 경우 점차적으로 밝기 값이 변하는 바닥과 벽이 만나는 부분의 에지를 검출하지 못한다. 그러나 그래디언트와 프리윗 방법은 영상에서 충분

표 2. 에지영상 획득 처리시간(sec.)

Methods	Gray	Edge	Binary	Hough	Total
Gradient	0.004	0.014	0.007	0.436	0.462
Sobel	0.004	0.079	0.007	0.542	0.633
Prewitt	0.004	0.083	0.007	0.482	0.577
Roberts	0.004	0.083	0.007	0.386	0.480
Laplacian	0.004	0.103	0.007	0.296	0.411
LoG	0.004	0.211	0.007	0.296	0.519
Canny	0.004	0.193	0.006	0.602	0.805

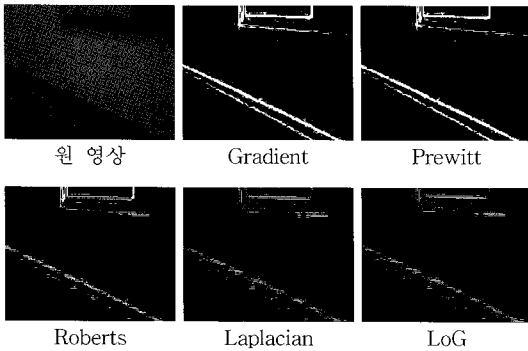


그림 3. 벽(wall) 영상의 이진영상

한 에지를 검출하는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문은 각 방법의 처리시간과 획득한 이진영상을 바탕으로 명암도영상에서 에지영상을 획득하는 방법으로 그래디언트 방법을 선택한다.

3.2.3 에지영상에서 이진영상 획득 단계

획득한 에지영상에서 이진영상 획득은 문턱치를 이용하여 구할 수 있다. 문턱치는 영상을 일정한 크기로 나누어 지역적으로 다른 문턱치를 이용하는 지역 문턱치와 영상 전체에 단일 문턱치를 이용하는 전역 문턱치 방법이 있다[13].

본 논문은 이진영상을 획득하는 각 방법을 비교 평가하기 위하여 표 3과 같이 각 영상을 20x20, 40x40, 80x80 블록으로 나누어 각각의 블록 평균값을 지역 문턱치로 이용하여 이진영상을 획득하였다. 그리고 영상 전체의 평균을 이용하는 방법(Mean), 이전 평균과 새로 구한 평균을 반복 비교하는 방법(Iterate), 분산이 최대가 되도록 하는 오스(Otsu)의 방법을 이용하여 전역 문턱치를 구하여 이진영상을 획득하였다.

표 3은 각 방법의 처리시간을 비교한 표이다. 표 3과 같이 블록의 크기가 20x20, 40x40, 80x80 그리고

표 3. 이진영상 획득 처리시간(sec.)

Methods		Gray	Edge	Binary	Hough	Total
Local	20x20	0.005	0.014	0.009	0.361	0.389
	40x40	0.004	0.014	0.008	0.542	0.569
	80x80	0.004	0.014	0.008	0.795	0.821
Global	Mean	0.004	0.014	0.007	1.227	1.253
	Iterate	0.004	0.014	0.007	0.784	0.810
	Otsu	0.004	0.014	0.008	0.466	0.492

영상 전체로 커질수록 하프변환 실행시간과 전체 처리시간이 길어진다. 이는 블록이 커지면 문턱치인 평균의 크기가 작아져서 획득되는 이진영상 복잡도가 높아지기 때문이다. 특히 블록의 크기가 20x20의 경우 높은 평균의 문턱치로 인하여 이진영상의 복잡도가 낮아지게 되어 하프변환 실행시간과 전체 처리시간이 가장 빠르다. 그러나 영상에서 필요한 에지를 검출하지 못하는 경우가 발생한다.

그림 4는 전체 처리속도 상위 5개의 방법을 이용하여 무선 이동로봇으로부터 전송받은 장애물 영상으로부터 획득한 이진영상이다. 블록의 크기가 20x20, 40x40, 80x80으로 커지면 영상 내의 에지가 굵어지고 이진영상의 복잡도가 높아진다. 그림 4의 20x20 블록의 경우 처리속도는 빠르지만 높은 평균의 큰 문턱치 때문에 영상의 중간 높이 부분의 에지를 검출하지 못한다. 또한 지역 문턱치를 사용하는 경우 전역 문턱치를 사용하는 경우에는 나타나지 않는 영상 상단 부분의 불필요한 영역까지 검출한다.

따라서 본 논문은 표 3의 처리시간과 그림 4의 이진영상을 바탕으로 오스의 방법을 에지영상에서 이진영상을 획득하는 방법으로 선택한다.

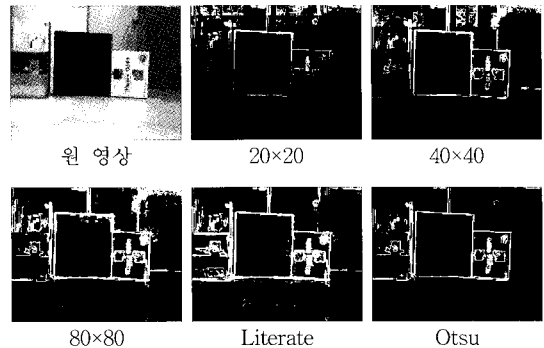


그림 4. 장애물(obstacle) 영상의 이진영상

4. 하프변환과 마스크 설계

4.1 하프변환과 직선검출의 문제점

본 논문은 3.2 절의 전처리 과정을 거쳐 획득한 이진영상을 하프변환의 입력으로 사용하여 이동로봇으로부터 전송된 영상에서 직선을 검출한다. 하프변환의 경우 공간영역의 X, Y 좌표의 모든 특징점을 수식 3을 이용하여 변환영역의 θ 와 r 좌표로 사상시킨 후 해당 θ 와 r 좌표의 하프배열의 값을 누적시킨

다. 하프변환 실행 후 하프배열에서 지역 최대값의 θ 와 r 의 좌표를 이용하여 공간영역의 X, Y 좌표에서 직선을 검출한다[13].

$$r = x\cos(\theta) + y\sin(\theta), \quad 0 < \theta \leq 180 \quad (3)$$

여기서 r 는 원점에서 직선까지의 법선의 길이이고, θ 는 법선과 x 축이 이루는 각도이며, (x, y) 는 공간영역에서 특징점 좌표이다. 하프변환은 공간영역에서 직선을 검출하는 문제를 변환영역에서 지역 최대값을 찾는 문제로 단순화시킴으로써 다양한 비전 분야에서 직선을 검출하는데 사용되고 있다. 또한 이동로봇으로부터 전송 받은 영상에서 직선을 검출하는 기본 도구로써 널리 사용되고 있다[1,3,4,6,7,11]. 그러나 공간영역의 모든 특징점을 수식 3을 이용하여 변환영역으로 사상시키는데 소요되는 처리시간 문제와 공간영역에서 영상 내 직선을 검출할 때 동일 직선을 겹쳐서 검출하는 문제가 있다[11].

3.1절의 무선 이동로봇의 전송영상 특성 분석과 3.2절의 효율적인 전처리는 하프변환 실행속도와 시스템의 전체 처리속도 개선에 큰 도움이 된다. 그리고 동일 직선을 겹쳐서 검출하는 문제는 전처리 과정을 거쳐 획득한 이진영상의 직선 굵기를 참조하여 최적의 마스크를 설계하고 설계된 마스크를 하프배열에 적용하여 개선한다.

4.2 마스크 설계 및 적용

전처리 과정을 거쳐 획득한 이진영상에는 2에서 4픽셀 굵기의 직선들이 존재한다. 이진영상을 이용하여 하프변환을 실시한 후 하프배열의 지역 최대값을 조사해 보면 4픽셀 직선의 두 대각선 방향의 지역 최대값이 두드러진다. 따라서 단순히 지역 최대값의 θ 와 r 좌표를 이용하여 공간영역에서 직선을 검출하게 되면 하나의 직선이 그림 5의 (1), (2)과 같이 겹쳐

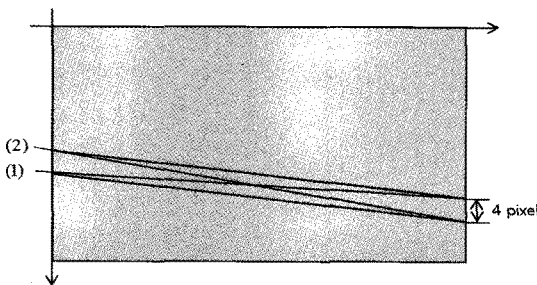


그림 5. 동일 직선검출 모델링

서 검출된다.

본 논문은 4픽셀 굵기의 직선이 하프변환에 의해 변환영역으로 사상될 때 영향을 미치는 하프배열의 θ 와 r 좌표 범위를 조사하고 그 조사 범위를 참조하여 마스크를 설계한 후 하프배열에 적용하여 동일 직선을 겹쳐서 검출하는 문제를 해결한다. 이를 위하여 수직방향과 수평방향의 모든 직선의 대각선을 모델링한다. 그림 6은 두 방향 중 수직방향의 모든 직선의 두 대각선에 대한 모델링이다. 그림 6의 왼쪽 상단은 오른쪽으로 1씩 증가하고 오른쪽 하단은 왼쪽으로 1씩 감소하게 설계하여 수직방향의 모든 직선의 대각선을 모델링하였다. 그림 6의 두 대각선 L1, L2를 각각 구한다. 수식 4는 두 대각선 중 두 점 (x_1, y_1) 과 (x_3, y_3) 를 지나는 직선 L1이다.

$$m = 240 / (x_3 - x_1) \quad \text{if } x_1 \neq x_3 \quad (4)$$

$$L1: y = m(x - x_1)$$

$$L1: y = x_1 \text{ or } L1: y = x_3 \quad \text{if } x_1 = x_3$$

여기서 m 은 대각선 L1의 기울기이고, $0 \leq x_1 \leq 320$, $0 \leq x_3 \leq 320$, $y_1 = 0$, $y_3 = 240$, $x_1 = x_3$ 인 경우 y 축에 평행인 기울기가 무한대인 직선이다. 다음으로 원점 $(0, 0)$ 을 지나는 두 대각선에 대한 법선(normal line: NL)을 각각 구한다. 수식 5는 두 대각선 중 L1의 법선(NL1)이다.

$$m = 240 / (x_3 - x_1) \quad \text{if } x_1 \neq x_3 \quad (5)$$

$$NL1: y = (-1/m)x$$

$$NL1: y = x_1 \text{ or } NL1: y = x_3 \quad \text{if } x_1 = x_3$$

여기서 $x_1 = x_3$ 이면 대각선 L1이 y 축과 평행이므로 법선은 $NL1: y = x_1$ 혹은 $NL1: y = x_3$ 이 된다.

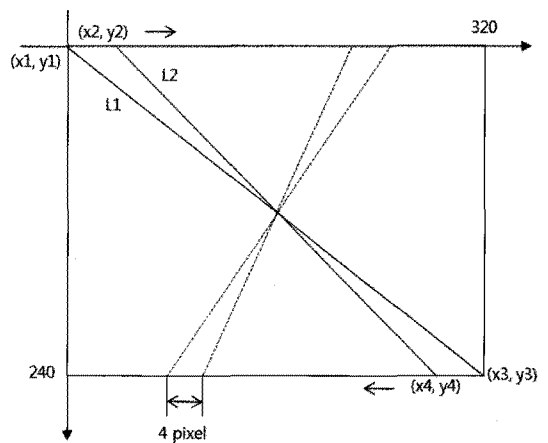


그림 6. 수직방향 대각선 모델링

그리고 원점에서 두 대각선까지의 법선의 길이(r)을 각각 구한다. 수식 6은 원점에서 L1까지의 법선의 길이를 구한 것이다. 수식 4의 대각선 L1과 수식 5의 법선 NL1의 교점(x_i, y_i)을 구하고 원점과 교점을 이용하여 법선의 길이를 구한다.

$$\begin{aligned} x_i &= (m^2/(1+m^2))x_1 & (6) \\ y_i &= -(m/(1+m^2))x_1 \\ r &= \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \end{aligned}$$

여기서 (x_i, y_i)는 L1과 NL1과의 교점이고, r 는 원점에서 교점까지의 법선의 길이이다. 마지막으로 두 대각선의 법선과 x 축이 이루는 각도(θ)를 각각 구한다. 수식 7은 대각선 L1의 법선 NL1과 x 축이 이루는 각도를 원점과 교점을 이용하여 구한 것이다.

$$\begin{aligned} \theta &= \text{atan}(y_i/x_i) \text{ if } x_i \neq 0 & (7) \\ \theta &= 90^\circ \text{ if } x_i = 0 \end{aligned}$$

여기서 $x_i = 0$ 인 경우 NL1이 x 축과 평행이므로 $\theta = 90^\circ$ 이 된다.

수식 4에서 수식 7까지의 과정을 거쳐 구한 두 대각선의 법선의 길이와 법선과 x 축이 이루는 각도를 이용하여 두 대각선 방향의 지역 최대값의 좌표를 알 수 있다. 각도 샘플링을 1° 로 하고 법선의 거리 양자화를 1로 하였을 때 수직방향과 수평방향의 모든 직선의 두 대각선 방향의 지역 최대값의 상대적인 좌표 차이를 표 4와 같이 정리할 수 있다. 표 4와 같이 4 픽셀 굵기의 직선의 경우 두 대각선의 지역 최대값의 θ 의 상대적인 좌표 차이는 항상 1° 이고 r 의 상대적인 좌표 차이는 최대 4 이다. 따라서 본 논문은 표 4에서 정리한 θ 와 r 의 상대적인 좌표 차이를 참조하여 최종적으로 9×3 크기의 마스크를 설계한다.

설계된 마스크는 다음 과정을 거쳐 하프배열에 적용되고 영상에서 직선 검출의 정확도를 높인다. 1) 가장 큰 지역 최대값의 θ 와 r 의 좌표를 이용하여 공간영역의 영상에서 직선을 검출한다. 2) 설계된 9×3 마스크를 가장 큰 지역 최대값을 중심으로 적용하여 동일 직선의 영향을 받아 생성된 다른 지역 최대값들

표 4. 지역 최대값의 상대적 좌표 차이

	θ 의 상대적 좌표 차이	r 의 상대적 좌표 차이
수직방향 대각선	$\theta_dif = 1^\circ$	$-1 \leq r_dif \leq 4$
수평방향 대각선	$\theta_dif = 1^\circ$	$1 \leq r_dif \leq 3$

이 직선을 검출하는데 관여하지 못하도록 한다.

5. 실험 및 분석

5.1 실험 환경

본 실험에서는 HBE-RoboCAR-Vision 무선 이동로봇으로부터 Visual C++ 2008과 OpenCV Library를 이용하여 해상도 240x320의 MJPEG 포맷의 컬러 영상을 획득하였다. 획득된 영상은 문(door) 영상, 벽(wall) 영상, 복도(corridor) 영상, 장애물(obstacle) 영상으로 각 50개씩 4개의 클래스로 분류된 총 200개의 실험영상이다. 실험영상 분석은 Windows Xp, Core2Duo 2.66GHz에서 MATLAB 7.1을 이용하여 이루어졌다. 그림 7은 본 실험에서 사용한 실험영상 중 일부이다.



Door Wall Corridor Obstacle

그림 7. 4개 클래스의 실험영상

5.2 기존방법과 제안방법의 비교

5.2.1 처리방법 비교

4개의 클래스로 분류된 실험영상을 사용하여 Potter 방법[4], Lee 방법[2], 제안방법의 처리시간과 직선검출을 비교한다. Potter 방법은 이동로봇의 비전 센서로부터 전송받은 영상에서 전처리 과정을 거쳐 복도를 인식하고 Lee 방법의 경우는 이동로봇의 비전 센서로부터 전송받은 영상에서 전처리 과정을 거쳐 장애물을 인식한다.

표 5는 세 방법에서 사용한 처리방법을 비교한 것이다. 표 5의 첫 번째 행의 의미는 다음과 같다. 명암도영상 획득 방법(Gray), 1, 2차 잡음 제거 방법

표 5. 기존방법과 제안방법의 처리방법 비교

	Gray	NR(I)	Edge	Binary	NR(II)	Thinning	HT
Potter's	YCbCr	Gaussian ($\sigma=0.4$)	Sobel	Otsu		MT	SHT
Lee's	HSI	Median	Sobel	Otsu	Closing	MT	SHT
Proposed	G channel		Gradient	Otsu		MT	SHT

(noise reduction: NR(I), NR(II)), 에지영상 획득 방법(Edge), 이진영상 획득 방법(Binary), 세선화 영상 획득 방법(Thinning), 하프변환 방법(HT)이다. 이진 영상 획득, 세선화 획득, 하프변환과 같은 각 논문에서 명확하게 언급되지 않은 방법은 표 5와 같이 오스, 모폴로지 세선화(morphological thinning: MT), 표준 하프변환(standard Hough transform: SHT) 방법을 채택하였다. 특히 오스 방법은 각 영상마다 문턱치를 적응적으로 선택하여 이진영상을 획득한다.

5.2.2 처리시간 비교

표 6은 4개의 클래스로 분류된 실험영상에 표 5의 단계별 처리방법을 이용하여 획득한 처리시간이다. 전체 처리시간은 제안방법, Potter 방법, Lee 방법 순으로 빨랐다. Potter 방법의 경우 복잡도가 낮은 문영상과 벽 영상 중 벽 영상의 처리속도가 빨랐고 복잡도가 높은 복도 영상과 장애물 영상에서는 복도

영상이 빨랐다. Lee 방법의 경우 1, 2차 잡음제거 때문에 전체 처리시간이 많이 소요되었으나 하프변환 처리시간은 가장 빨랐다. 그리고 복잡도가 낮은 두 영상 중 벽 영상의 처리속도가 빨랐고 복잡도가 높은 두 영상의 처리속도는 장애물 영상이 빨랐다. 제안방법은 3.1절의 전송영상 특성 분석과 3.2절의 영상의 효율적인 전처리 방법을 이용하여 처리시간을 Potter와 Lee 방법보다 평균 33%와 41% 각각 단축하였다. 그리고 4개의 클래스로 분류된 영상 중 복잡도가 낮은 두 영상 중 벽 영상의 처리속도가 빨랐고 복잡도가 높은 영상에서는 장애물 영상의 처리속도가 빨랐다.

5.2.3 직선검출 비교

본 논문의 4.2절에서 제안한 지역 최대값 선택 방법의 유효성을 검사하기 위하여 세 방법을 이용한 직선검출을 비교한다. 이를 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 직선검출을 위한 가정과 이상적인 직선검

표 6. 기존방법과 제안방법의 처리시간 비교(sec.)

	Class	Gray	NR(I)	Edge	Binary	NR(II)	Thinning	HT	Total
Potter's	Door	0.010	0.111	0.077	0.007		0.155	0.259	0.619
	Wall	0.010	0.111	0.078	0.007		0.151	0.255	0.611
	Corridor	0.010	0.111	0.078	0.007		0.175	0.312	0.693
	Obstacle	0.010	0.111	0.078	0.007		0.185	0.331	0.722
	Ave.	0.010	0.111	0.078	0.007		0.167	0.289	0.661
Lee's	Door	0.045	0.172	0.078	0.007	0.015	0.164	0.230	0.711
	Wall	0.045	0.172	0.078	0.007	0.013	0.164	0.224	0.703
	Corridor	0.043	0.170	0.078	0.007	0.013	0.233	0.261	0.806
	Obstacle	0.045	0.170	0.078	0.007	0.013	0.185	0.267	0.764
	Ave.	0.044	0.171	0.078	0.007	0.013	0.187	0.246	0.746
Proposed	Door	0.004		0.014	0.007		0.150	0.242	0.418
	Wall	0.004		0.014	0.007		0.143	0.242	0.411
	Corridor	0.004		0.014	0.007		0.166	0.285	0.477
	Obstacle	0.004		0.014	0.007		0.151	0.287	0.464
	Ave.	0.004		0.014	0.007		0.153	0.264	0.443

출 개수를 구한다.

- 1) 직선검출을 위한 가정
 - (1) 하나의 실험영상에서 최대 5 개의 직선을 검출하는 것으로 한다.
 - (2) 하나의 실험영상에는 검출될 직선이 최소 1개 이상 존재한다.
- 2) 이상적인 직선검출 개수
 - (1) 클래스별 이상적인 직선검출 개수의 합은 다음과 같다.
 - (2) 문 영상(204개), 벽 영상(174개), 복도 영상(215개), 장애물 영상(228개)

표 7은 4개의 클래스로 분류된 실험영상에 Potter 방법, Lee 방법, 제안방법을 이용하여 구한 직선검출의 개수를 비교한 표이다. Potter와 Lee 방법의 경우 전체적으로 비슷한 성능을 나타내었다. 특히 복잡도가 높은 두 영상 중에서 Potter 방법은 복도 영상에서 Lee 방법 보다 더 좋은 결과를 나타내었고 Lee 방법은 장애물 영상에서 Potter 방법 보다 더 좋은 결과를 나타내었다. 본 논문에서 제안한 방법은 4 개의 클래스 모두에서 기존 방법들보다 좋은 성능을 보였고 Potter와 Lee 방법 보다 평균 21%와 23% 더 좋은 결과를 각각 나타내었다. 그리고 복잡도가 낮은 문 영상과 벽 영상에서 복잡도가 높은 복도 영상과 장애물 영상보다 직선검출이 일반적으로 높게 나타났다.

그림 8은 문 영상, 벽 영상, 복도 영상, 장애물 영상에 3 가지 방법을 이용하여 획득한 직선검출 결과이다. Potter와 Lee 방법의 경우 각 실험영상에서 직선을 겹쳐서 검출함으로써 충분한 직선을 검출하지 못하였다. 그러나 제안방법은 4.2 절에서 설계한 마스크를 하프배열에 적용하여 지역 최대값 선택 방법을 개선함으로써 실험영상에서 충분한 직선을 검출할 수 있었다.

표 7. 기존방법과 제안방법의 직선검출 비교

	Potter's	Lee's	Proposed
Door	148/204 (73%)	147/204 (72%)	195/204 (96%)
Wall	124/174 (71%)	116/174 (67%)	165/174 (95%)
Corridor	145/215 (67%)	135/215 (63%)	189/215 (88%)
Obstacle	156/228 (68%)	161/228 (71%)	198/228 (87%)
Ave.	143/205 (70%)	140/205 (68%)	187/205 (91%)

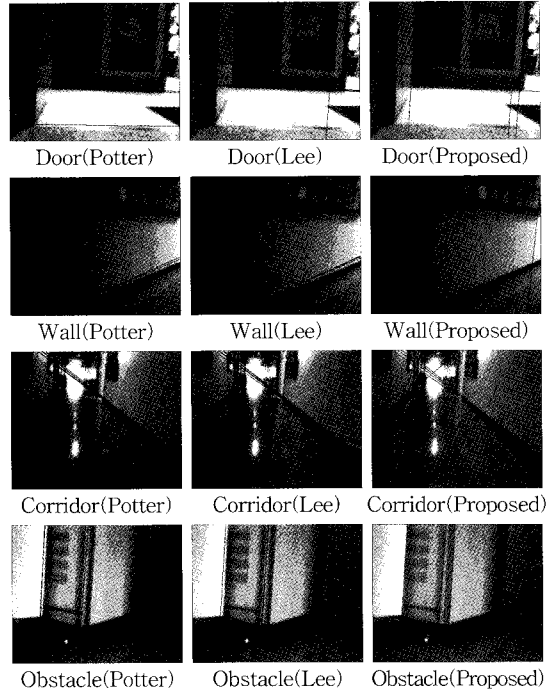


그림 8. 기존방법과 제안방법의 직선검출

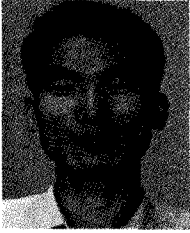
6. 결 론

본 논문은 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 영상에서 직선을 빠르고 정확하게 검출하기 위한 연구를 수행하였다. 본 논문은 무선 이동로봇으로부터 전송된 영상의 특성을 분석하여 잡음 제거 단계를 생략한 간소화된 전처리 단계를 소개하였다. 그리고 전처리 각 단계에서 사용하는 기존 방법들을 비교 평가하여 효율적인 처리 방법을 선택하였다. 또한 전처리 과정을 거쳐 획득한 이진영상의 직선 굵기를 참조하여 영향을 미치는 하프배열의 θ 와 r 의 좌표를 분석하고 이를 바탕으로 최적의 마스크를 설계하고 하프배열에 적용하여 지역 최대값 선택 방법을 개선하였다.

전처리 단계의 간소화와 효율적인 방법의 선택은 무선 이동로봇으로부터 전송 받은 영상에서 직선검출의 전체 시스템 처리시간을 단축시킬 수 있었다. 그리고 마스크를 이용한 지역 최대값 선택 방법의 개선은 전송 받은 영상에서 직선검출의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 또한 본 논문의 연구는 상대적으로 열악한 무선기반 영상처리에 도움이 될 것으로 기대되며 향후 연구로는 하프변환의 처리시간 단축을 위한 추가 연구를 수행하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Guilherme N. DeSouza and Avinash C. Kak, "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.24, No.2, pp. 237-267, 2002.
- [2] Jun-young Heo, Geun-taek Kang, and Won-Chang Lee, "Navigation of an Autonomous Mobile Robot with Vision and IR Sensors Using Fuzzy Rules," *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol.17, No.7, pp. 901-906, 2007.
- [3] Giulio Reina, Genya Ishigami, Keiji Nagatani, and Kazuya Yoshida, "Vision-based Estimation of Slip Angle for Mobile Robots and Planetary Rovers," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 486-491, 2008.
- [4] Y. One, H. Uchiyama, and W. Potter, "A Mobile Robot for Corridor Navigation: A Multi-agent Approach," *ACM Southeast Regional Conference*, pp. 379-384, 2004.
- [5] Scott Jantz and Keith L Doty, "TJPRO-AVR: A Wireless Enabled Mobile Robot for Vision Research," *Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, pp. 1-5, 2006.
- [6] Eiji Hayashi and Tomoyuki Kinoshita, "Development of an Indoor Navigation System for a Monocular-vision-based autonomous Mobile Robot," *Artificial Life and Robotics*, Vol.14, No.3, pp. 324-328, 2009.
- [7] E. Aude, E. Lopes, C. Aguiar, and M. Martins, "Door Crossing and State Identification Using Robotic Vision," *International Symposium on Robot Control*, 2006.
- [8] Jung-Hyun Park, Min-Young Lee, and Kwee-Bo Sim, "A Design of Intelligent Surveillance System Based on Mobile Robot and Network Camera," *Journal of Korean institute of intelligent systems*, Vol.18, No.4, pp. 476-481, 2008.
- [9] Barry O'Brien and Jesse Kovach, "Future Combat Systems (FCS) Small Unmanned Ground Vehicle (SUGV) Teleoperation Experiment Results," *ARL-TR-4660*, 2008.
- [10] Zhengting He, "Video Compression and Data Flow for Video Surveillance," *CSD-91-646, Texas Instruments*, 2007.
- [11] Axel Großmann and Riccardo Poli, "Robust Mobile Robot Localisation from Sparse and Noisy Proximity Readings Using Hough Transform and Probability Grids," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.37, No.1, pp. 1-18, 2001.
- [12] Tae-Ung Choi, *Intelligent Robot System*, HBE, 2009.
- [13] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Third Edition, 2008.
- [14] Bo-Ho Cho and Sung-Hwan Jung, "Edge Extraction and Line Detection in The Transmitted Image from Wireless Mobile Robot," *Proceeding of The KMMS Fall Conference*, Vol.12, No.2, pp. 403-405, 2009.



조 보 호

1991년 창원대학교 전자계산학과
이학사
1998년 창원대학교 컴퓨터공학과
공학석사
현재 창원대학교 컴퓨터공학과
박사과정

관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 이동로봇



정 성 환

1979년 경북대학교 전자공학과
공학사
1983년 경북대학교 대학원 공학
석사
1988년 경북대학교 대학원 공학
박사

1983년~1985년 한국전자통신연구소 연구원
1986년 전자계산기기술사, 1992년 정보처리기술사
1993년~1994년 Univ. of California (UCSB) Post-Doc.
1999년~2000년 Colorado School of Mines 연구교수
2008년~2009년 Univ. of Missouri (UMKC) 방문교수
1988년~현재 창원대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전 및 패턴인식, 멀티미디어 정보보호