

단일 비전 시스템과 레이저 포인터를 이용한 이동 로봇의 자율주행 연구

김태완*,이창구**

*전북대 대학원 제어계측공학과,**전북대 전자정보공학부

A study of the mobile Robot's autonomous navigation using single camera vision and laser pointer

Tae-wan Kim,Chang-goo Lee
Chonbuk National University

Abstract - 본 논문에서는 이동로봇의 실시간 영상처리와 장애물 검출을 위한 알고리즘을 제시하였다. 단일 비전 시스템을 사용하여 복도의 경계선을 추출하기 위하여 개선된 허프 트랜스폼 알고리즘을 적용하고 많은 연산량을 수행하기 위한 방법으로 레이저 포인터를 이용한 장애물 검출을 한다. 레이저 포인터의 레이저 빔이 장애물에 반사되어지는 정도를 영상처리를 통해 처리한 후 장애물의 유무를 판단하게 된다. 실험을 통하여 제시한 알고리즘의 우수성을 확인하였다.

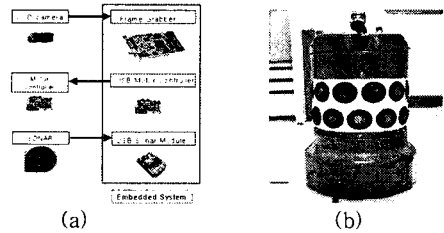


그림1.(a)이동 로봇전체구성도 (b)이동로봇의 외관

1. 서 론

이동로봇의 주행 시 영상을 통하여 주변 환경을 인식하여 주행 할 경우 가장 큰 문제는 두가지로서 실시간 영상처리와 로봇의 자기 위치 인식이다. 카메라를 통한 영상처리는 3차원 환경을 2차원 영상으로 변환시킨 후 영상처리를 행하기 때문에 깊이 정보를 알 수 없다. 깊이 정보를 획득하기 위한 방법으로 두 대의 카메라를 사용하는 스테레오 비전 방식이 있다. 이는 두 대의 카메라를 통해 영상 내의 공통된 특정점을 찾아 영상의 깊이 정보를 알아내기 때문에 카메라의 설치 및 주행 시 진동으로 인해 이동 로봇에 적용하기에는 제약조건이 많다(1). 이러한 제한 조건을 가지는 스테레오 비전 대신 단일 카메라를 사용하여 허프 트랜스폼을 통한 깊이 정보를 획득하여 실제 주행에 사용하였다. 허프 트랜스폼은 많은 연산량을 필요로 하기 때문에 이동로봇의 실시간 제어를 위해 연산량을 줄이는 방법이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 허프 트랜스폼을 수행하기 위한 전처리 과정으로 데이터의 양을 줄이기 위한 세션화 작업을 수행하고 허프 트랜스폼 수행 중 복도의 기하학적 특성을 이용하여 좀더 연산량을 줄였다. 복도 주행 시 발생하는 장애물의 검출은 일반적으로 주위에서 쉽게 사용하는 레이저 포인터를 이용하였고 검출 알고리즘으로 간단한 이진화 알고리즘과 Label 알고리즘을 적용하여 실시간으로 장애물을 검출하는 알고리즘을 제시한다.

그림에서 보듯이 CCD 카메라는 영상을 얻기 위해 이동 로봇의 상단에 바닥면과 a도의 각을 형성하도록 고정되어 있다. 바닥에서 카메라까지의 높이는 64cm이고 카메라의 시야각에 의해 a는 실제로 보이는 거리이며 b는 사각거리이다. 이는 고정값으로 설정이 된다.

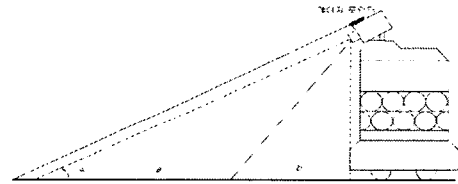


그림2. 이동로봇 비전시스템 레이저 포인터 구성도

일반적으로 사용되어지는 USB 방식의 캠 카메라는 설정이 간단하고 Device Driver를 통해 쉽게 영상을 획득할 수 있지만 해상도와 처리 속도가 떨어지기 때문에 영상전문 캡처 보드를 통하여 영상을 받아 들인다. 사용한 frame grabber board는 Matorx 사의 MeteorII 보드이며 640*480 크기에 8bit gray level의 이미지로 변환되어 진다. 실험에 사용된 CCD 카메라 및 frame grabber의 사양은 <표1>과 같다.

2. 본 론

2.1 이동로봇의 구성

이동 로봇에 사용된 제어기의 구성은 구동과 조향 그리고 터릿을 제어하기 위해 2축 USB 모터 제어기 보드 2장이 장착되고, 24개의 초음파 센서를 제어하기 위해 USB 초음파 거리 측정 보드가 장착되어 있다. 영상을 처리하기 위해 PCI04버스 타입의 영상처리 보드가 내장되어 있고 이들을 제어하기 위한 Transmeta Crusoc TM 5400-500 Processor를 장착한 Embedded System을 장착하고 있다. <그림1> 의 (a)는 이동 로봇의 전체 구성도를, (b)는 실제 외관을 보여 주고 있다.

2.2 이동 로봇의 비전 시스템의 구성

<그림2>는 이동 로봇의 비전 시스템의 구성도이다.

표1. Frame Grabber 및 CCD camera 사용

Frame Grabber		CCD Camera	
모델명	Matrox Meteor II	모델명	WAT-202B
출력형태	NTSC,RS170,PAL (실험영상:RS170)	Image Sensor	1/3inch interline transer CCD
Ram	16M (System ON)	Scanning System	2:1 interlaced NTSC
Frame	30Frames/s	H/R	420TV line
Type	PC/104	Lens	samsung CCTV Lens

2.3 Image Processing

비전센서를 이용한 외부 환경의 인식을 위해 영상 내에서의 상대 위치에 대한 상대적인 위치와 영상의 기하학적인 관계에 대한 모델링이 필요하다. 단일 카메라를 이용한 비전 시스템에서는 이미지의 깊이에 대한 정보가 포함되어 있지 않다. 그래서 본 논문에서는 이미지 상의

두 점을 이용하여 로봇이 벽면으로부터 떨어져 있는 거리 정보를 추출해 낸다.(3) 그림 3는 로봇이 주행해야 할 경계선을 추출해 내는 이미지 프로세싱 단계의 블록 다이어그램이다.

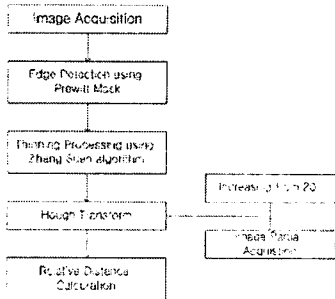
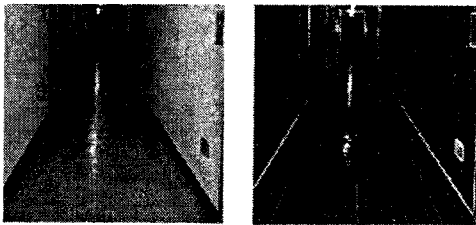


그림 3. 이미지 처리 과정

2.3.1 특징 추출을 위한 이미지 전처리 과정

실험에 사용된 영상은 640 * 480 크기의 RS-170 데이터 타입의 8bit 영상으로 초당 30frame으로 들어온다. 들어온 이미지는 일차적으로 외곽선 추출 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 실험을 통하여 복도의 환경에 가장 적합한 프리윗 마스크(Prewitt Mask)를 통하여 에지 검출을 하였으며 그림 4는 그 결과를 보여주고 있다.



(a) 복도 원영상 (b) 프리윗마스크결과
그림 4 복도 영상

2.3.2 처리 데이터 감소를 위한 세션화 작업

허프 트랜스폼은 계산량이 많은 작업이기 때문에 실시간성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위하여 처리하고자 하는 데이터의 양을 줄이는 과정이 필요하고 그 방법으로 마스크를 통한 이미지 전처리 과정을 거친 영상은 세션화 과정을 거치게 된다. 세션화의 기본 개념은 두꺼운 선을 가장 바깥부분부터 한 겹씩 벗겨나가서 마지막에 남은 성분만을 추출하는 것이다. 따라서 세션화 과정을 거치게 되면 영상은 본질적인 구조는 보존한 채, 골격선의 폭은 1이 되어 처리해야 할 영상 데이터의 양이 현격히 줄어들게 된다. 본 논문에서 채택한 세션화 처리 알고리즘은 병렬적 처리 방법의 하나로써 1984년에 처음 발표된 Zhang Suen의 알고리즘을 채택하였다.

2.3.3 허프 트랜스폼

세션화 작업까지 끝난 영상 데이터는 마지막으로 허프 트랜스폼을 거쳐 복도의 벽과 바닥면이 이루는 경계선을 추출하게 된다. 영상 내의 어떤 점 (r,c) 가 있다고 하자. 그러면 이 점을 지나는 직선의 방정식을

$$\rho = r \cos \theta + c \sin \theta \quad \text{식 (1)}$$

형태로 표현해 보자. 여기서 ρ 는 원점으로부터의 최단거리를 나타내고, θ 는 r 축과 직선의 법선방향이 이루는 각도이다. 영상 내의 검출된 edge pixel의 (r,c) 값을 위의 식에 대입하고 θ 와 ρ 값을 증가시켜 가면서 $[\rho, \theta]$ 블록에

r,c 값을 저장시킨다. $[\rho, \theta]$ 값에 대한 임계점을 두어 그 임계점 이상의 값을 가지는 $[\rho, \theta]$ 를 찾아낸다. 세션화 작업까지 끝난 영상 데이터는 마지막으로 허프 트랜스폼을 거쳐 복도의 벽과 바닥면이 이루는 경계선을 추출하게 된다.

2.3.4 연산량 감소 알고리즘

세션화 작업을 통하여 영상데이터의 양을 줄였다고 하지만 허프 트랜스폼을 이용하여 실시간 작업을 하기에는 아직 많은 연산량이 필요로 하기 때문에 허프 트랜스폼 알고리즘 내에 연산량을 줄이는 작업이 필요로 한다. 이를 위해 본 논문에서는 두 가지 알고리즘을 허프 트랜스폼 내에 삽입했다. 복도의 기하학적 특성을 이용하여 첫 번째로 복도의 경계선이 일반적으로 20° 를 넘는 경우가 대부분이기 때문에 허프 트랜스폼을 20° 부터 시작하여 1° 씩 증가시켰다. 두 번째 작업으로 복도는 일반적으로 직선으로 구성되어 있기 때문에 전체 영상에서 데이터를 얻지 않아도 대표 특성을 나타내는 일정 부분에서 데이터를 획득하면 나머지 부분에서도 예측이 가능하다. 그림 5는 20° 부터 1° 씩 증가시키며 일정부분에서만 데이터를 얻어낸 결과이다.

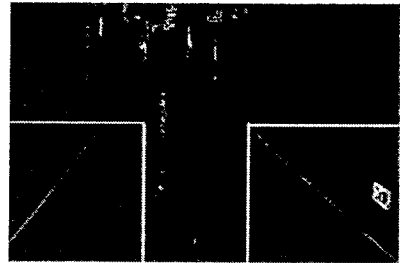


그림 5. 허프 트랜스폼 결과

2.4 레이저 포인터를 이용한 장애물 검출

레이저는 단색성, 지향성, 간섭성, 고휘도 등의 특징을 가지고 있다. 순수 레이저는 단일광이기 때문에 어떠한 환경 내에서도 색상의 변화는 일어나지 않는다. 이러한 특징을 이용하여 본 논문에서는 주행 시 장애물을 검출하게 된다. 사용되어지는 레이저는 레이저 다이오드를 사용하는 저가의 레이저 포인터이다. 순수 레이저에 비해 단색성 및 지향성 등이 떨어지지만 레이저의 특징을 가지고 있기 때문에 별다른 영향을 끼치지 않았다. 그림 6은 레이저를 이용한 장애물 검출을 보여주는 블록 다이어그램이다.

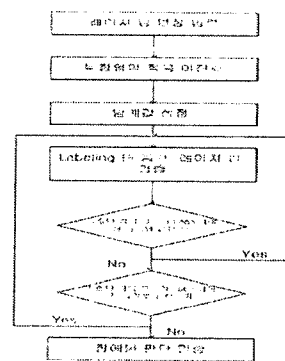


그림 6. 장애물 검출

2.4.1 레이저의 검출

레이저의 성질 중 단색성과 고휘도의 특성을 이용하여 영상을 이진화 시 임계값을 높게 잡았다. 이진화시 임계값을 높게 잡음으로써 영역내의 다른 영상을 지우고

레이저 빔을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 이진화 과정 후 영상 처리에서 처리 속도를 높이는 역할을 한다. 빔은 이동 로봇으로부터 100cm 떨어진 곳에서 점의 형태로 발사 되어진다. 이진화 속도를 높이기 위해 적응 이진화 알고리즘을 사용하였는데 적응 이진화란 입력되는 영상 데이터 중 관심 부분의 정보만을 빠르고 효율적으로 검출하는 방법이다.

$$y(x) = 0 \text{ if } x < T$$

$$255 \text{ otherwise}$$

식 (2)

$$T = T_0 - i$$

여기서 T는 이진화를 위한 경계값이다. T_0 는 입력된 영상에 대한 픽셀들의 평균값으로 모든 Pixel에 대하여 구하지 않고 중앙부분에 있는 검출된 레이저 포인터의 Pixel들에 의해 구해진다. 카메라 위에 장착되어진 레이저 포인터는 일정한 위치에서 빔을 쏘게 되므로 원하는 관심영역을 쉽게 설정할 수가 있다. 그림 7은 이동 로봇으로부터 100cm 떨어 위치에서의 빔의 검출 그림이다.

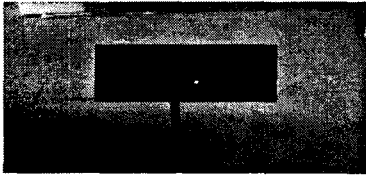


그림 7. 레이저 빔 검출

2.4.2 장애물 검출

카메라 위에 장착되어진 레이저 포인터는 일정한 위치에서 빔을 쏘게 된다. 일정한 거리에서 반사되어 영상으로 입력되는 빔은 일정한 크기를 유지하는 pixel들의 집합으로 구성되어진다. 이동 로봇이 장애물을 만나 빔과의 거리가 가까워지게 되면 영상에 입력되는 빔의 크기는 커지게 되며 이에 따라 pixel들이 이루고 있는 집합의 크기도 커지게 된다. 이런 pixel의 집합은 이진화 된 영상 내에서 label 알고리즘을 통해 검출되게 된다. 적응 이진화 과정에서 검출되어진 경계값을 통해 이진화를 거친 후 label 알고리즘을 통해 pixel이 이루고 있는 크기를 얻을 수가 있다. 이러한 label 알고리즘은 주변의 잡음까지 제거해주는 효과가 있어 좀더 정확한 값을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.4.3. 실험결과

레이저 빔이 실제 바닥면을 비치는 거리는 이동 로봇으로부터 100cm이며 실험 상 놓여진 장애물은 그 앞쪽에 위치하고 있다. 이동 로봇의 이동 거리는 이동 로봇에 장착되어져 있는 Encoder 정보를 통하여 얻어져야 하나 실험에 이용한 이동 로봇의 Encoder 값이 완벽히 설정되어 있지 않기 때문에 줄자를 통한 거리 측정을 하였다. 그림 8은 거리에 비례해 Obstacle에 반사된 레이저 빔의 크기를 나타내고 있다. 표2는 장애물의 위치에 따른 Label에 크기와 로봇이 실제로 멈춘 거리를 나타낸 것이다.



그림 8. 거리에 따른 Obstacle에 반사된 레이저 빔 검출

표2. 실험 데이터

장애물의 위치	Label 크기	장애물 검출위치	로봇의 멈춤 위치
100cm (Non Obstacle)	32		
100cm	39	96	97cm
90cm	51	87	87.5cm
80cm	63	77	78.5cm
70cm	76	69	69cm

장애물 위치에 따라 Label의 크기가 달라지는 것을 알 수 가 있다. 위치에 따라 Label의 크기가 일정 비율로 늘어나지 않고 약간씩 오차가 생기는 이유는 거리가 가까울수록 장애물의 표면에 빔이 산란하여 좀 더 크게 잡히고 있다. 장애물 검출 위치는 레이저 포인터의 크기를 가지고 장애물이 위치해 있는 거리를 측정 한 것이다. 장애물에 반사된 빔의 크기를 가지고 삼각함수를 이용하여 간단히 구현해 본 것이다.

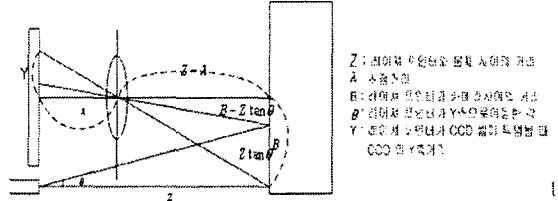


그림 8. 장애물까지의 거리 검출

그림 8에서 로봇에서 장애물까지의 거리 Z 는

$$\frac{Y}{\lambda} = \frac{B - Z \tan \theta}{Z - \lambda}$$

$$Z(Y + \lambda \tan \theta) = \lambda B + \lambda Y$$

$$Z = \frac{\lambda B + \lambda Y}{Y + \lambda \tan \theta}$$

식 (3)

가 된다. 로봇의 주행은 단지 Feed-Back 으로 이루어지고 있는데 이유는 로봇의 하드웨어에 대한 소프트웨어가 아직 완성이 되지 않아 정확한 제어를 못하고 있기 때문이다.

3. 결 론

단일 카메라를 이용한 이동 로봇이 많은 사회 분야에서 사용되어지고 있다. 단일 카메라를 통해 입력받은 영상 분석하고 처리하기 위해서는 많은 계산량이 필요로 하고 자기 위치 인식과 장애물 검출을 위해 부가적인 하드웨어를 장착함으로써 추가적인 비용과 복잡한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 이동로봇의 정확한 자기 위치 인식과 주행 중 장애물 검출을 위한 간단한 시스템과 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서는 영상을 통한 자기위치 인식과 레이저 빔을 이용한 장애물 검출을 다루고 있지만 추후에는 좀더 빠른 알고리즘의 자기위치 인식과 장애물 검출 후 주행 방향 결정에 대한 알고리즘 작성에 관한 연구를 수행해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) A.Goshtasby and W.Gruver, "Design of a single stereo camera system", Pattern Recognition, Vol.26, no. 6, pp.923-937,1993.
- (2) H.F.Li,D.Pao and R.Jayakumar, "Improvements and systolic implementation of the Hough Transform for straight line detection",Pattern Recognition, Vol.22 No.6, pp.697 706, 1990
- (3) 김태환,김영숙, "허프 트랜스폼을 이용한 이동 로봇의 퍼지 주행 제어에 관한 연구", 제어·자동화 시스템 공학회 전주 전북지부학술대회 논문집, 제5권1호, pp.14 17, 2002