

論文 2003-40SP-5-2

장애물 인식 지능을 갖춘 자율 이동로봇의 구현 (Implementation of a Self Controlled Mobile Robot with Intelligence to Recognize Obstacles)

柳翰成*, 崔重暻*

(Hanseong Ryu and Jungkeying Choi)

요약

본 논문은 장애물을 인식하고 회피하면서 목적지까지 자율적으로 이동할 수 있는 로봇을 구현한 논문이다. 우리는 본 논문에서 영상처리보드의 구현이라는 하드웨어적인 부분과 자율 이동로봇을 위한 영상제한 제어라는 소프트웨어의 두 가지 결과를 나타내었다. 첫 번째 부분에서, 영상처리를 수행하는 제어보드로부터 명령을 받는 로봇을 나타내었다. 우리는 오랫동안 CCD카메라를 탑재한 자율 이동로봇에 대하여 연구해왔다. 로봇의 구성은 DSP칩을 탑재한 영상보드와 스텝모터 그리고 CCD카메라로 구성된다. 시스템 구성은 이동로봇의 영상처리 보드에서 영상을 획득하고 영상처리 알고리즘을 수행하고 로봇의 이동경로를 계산한다. 이동로봇에 탑재된 CCD카메라에서 획득한 영상 정보는 매 샘플링 시간마다 캡처한다. 화면에서 장애물의 유무를 판별한 후 좌 혹은 우로 회전하여 장애물을 회피하고 이동한 거리를 Feedback하는 시스템을 구현하여 초기에 지정한 목표지점까지 로봇이 갈 수 있도록 간략한 경로를 계획하여 절대좌표를 추적해 나가는 알고리즘을 구현한다. 이러한 영상을 획득하고 알고리즘을 처리하는 영상처리 보드의 구성은 DSP (TMS320VC33), ADV611, SAA7111, ADV7176A, CPLD(EPM7256ATC144), SRAM 메모리로 구성되어 있다. 두 번째 부분에서는 장애물을 인식하고 회피하기 위하여 두 가지의 영상제한 제어 알고리즘을 나타낸다. 첫 번째 알고리즘은 필터링, 경계검출, NOR변환, 경계치 설정 등의 영상 전처리 과정을 거친 영상을 분할하는 기법이다. 여기에서는 Labeling과 Segmentation을 통한 pixel의 밀도 계산이 도입된다. 두 번째 알고리즘은 위와 같이 전처리된 영상에 웨이블릿 변환을 이용하여 수직방향(y축 성분)으로 히스토그램 분포를 20 Pixel 간격으로 스캔한다. 파형 변화에 의하여 장애물이 있는 부분의 히스토그램 분포는 거의 변동이 없이 나타난다. 이러한 특성을 분석하여 장애물이 있는 곳을 찾아내고 이것을 회피하기 위한 알고리즘을 세웠다. 본 논문은 로봇에 장착된 한 개의 CCD 카메라를 이용하여 장애물을 회피하면서 초기에 설정해둔 목적지까지 도달하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, 영상처리 보드를 설계 및 제작하였다. 영상처리 보드는 일반적인 보드보다 빠른 속도(30frame/sec)와 해상도를 지원하며 압축 알고리즘을 탑재하고 있어서 영상을 전송하는 데에 있어서도 탁월한 성능을 보인다.

Abstract

In this paper, we implement robot which are ability to recognize obstacles and moving automatically to destination. we present two results in this paper; hardware implementation of image processing board and software implementation of visual feedback algorithm for a self-controlled robot. In the first part, the mobile robot depends on commands from a control board which is doing image processing part. We have studied the self controlled mobile robot system equipped with a CCD camera for a long time. This robot system consists of a image processing board implemented with DSPs, a stepping motor, a CCD camera. We will propose an algorithm in which commands are delivered for the robot to move in the planned path. The distance that the robot is supposed to move is calculated on the basis of the absolute coordinate and the coordinate of the target spot. And the image signal acquired by the CCD camera mounted on the robot is captured at every sampling time in order for the robot to automatically avoid the obstacle and finally to reach the destination. The image processing board consists of DSP (TMS320VC33), ADV611, SAA7111, ADV7176A, CPLD(EPM7256ATC144), and SRAM memories. In the second part, the visual feedback control has two types of vision algorithms: obstacle avoidance and path planning. The first algorithm is cell, part of the image divided by blob analysis. We will do image preprocessing to improve the input image. This image preprocessing consists of filtering, edge detection, NOR converting, and thresholding. This major image processing includes labeling, segmentation, and pixel density calculation. In the second algorithm, after an image frame went through preprocessing (edge detection, converting, thresholding), the histogram is measured vertically (the y-axis direction). Then, the binary histogram of the image shows waveforms with only black and white variations. Here we use the fact that since obstacles appear as sectional diagrams as if they were walls, there is no variation in the histogram. The intensities of the line histogram are measured as vertically at intervals of 20 pixels. So, we can find uniform and nonuniform regions of the waveforms and define the period of uniform waveforms as an obstacle region. We can see that the algorithm is very useful for the robot to move avoiding obstacles.

Keyword : 이동로봇, frame grabber, image processing mode, DSP, 영상처리

* 正會員, 國立昌原大學校 電子工學科
(Changwon National University Dept. of Electronics

Engineering)

接受日字: 2003年4月9日, 수정완료일: 2003年9月3日

I. 서론

현대 산업 사회에서는 신호처리 및 영상처리의 발전에 따라 물체의 자동인식 및 윤곽추출 그리고 이것의 정보를 활용하는 이동로봇에 대한 제어연구가 활발히 진행되고 있다^{1, 9, 19, 24}. 초기에는 로봇에 대한 순차적인 제어방법이 주류를 이루었고¹¹⁸ 현대의 전자기술이 급격히 진보하면서 프로세서에 의한 제어 기술이 발전되었다^{3, 4, 20, 21}. 또한, 영상에 대한 관심이 고조되면서 CCD 카메라로부터 입력받은 영상 데이터를 이용하여 장애물을 인식하고 자율적으로 회피하면서 주행할 수 있는 연구가 진행되었고^{11, 9, 20, 21} 가장 최근에는 이러한 장애물을 이용하여 로봇의 이동경로를 직접적으로 제어하는 영상 궤환 제어가 관심의 초점이 되었다. 초기의 영상처리 기술은 하드웨어보다는 소프트웨어에 의한 처리가 주류를 이루었다^{118, 19, 22, 25}. 따라서 고속의 처리속도를 요구하는 생산라인이나 자동화 공정에는 도입하기 어려웠다. 그 이유는 당대의 호스트 컴퓨터의 처리속도가 떨어질 뿐만 아니라 컴퓨터에서 알고리즘의 연산을 수행한 다음에 다시 제어신호를 제어기에 전달하는 데에 걸리는 시간이 있었기 때문이다^{2, 3}. 그래서 많은 연구자들은 하드웨어에 관심을 기울이기 시작했다. 우리는 이러한 연구 동향에 기인하여 다기능의 로봇을 설계하였다. 장애물을 인식하여 회피하는 기능을 가지게 함으로써 맹인을 유도하는 로봇의 기능을 가지게 할 수 있으며 적당한 시스템에 도입하게 된다면 무인 자동차로 응용할 수 있을 것이다. 이와 같은 기능을 충족시키기 위하여 기본적으로 소형의 로봇을 구성하였고 로봇은 두 개의 기어드 스텝 모터를 이용하여 구동하게 하였다. 그리고 영상 신호를 처리하는 영상 보드를 설계하여 여러 가지 알고리즘을 탑재하였다.

II. 하드웨어 시스템 구현

1. 로봇 시스템의 구성

1.1 시스템의 구성 및 실험 환경 설정

본 논문에서 사용한 이동로봇은 고정된 한 대의 CCD카메라만을 사용하여 전방의 장애물을 인식하도록 하였으며 구동모터로는 프로세서를 통한 펄스구동이 용이한 스텝핑 모터를 두 개 사용하였다. 초기의 시스

템 구성은 모든 영상정보와 지령신호, 이동 데이터는 무선으로 송수신이 가능하도록 하였으며 로봇에서 전송되어진 영상정보는 PC로 전달되어서 화면에 나타나게 된다. 영상처리보드에서는 일련의 처리 과정을 거쳐서 로봇의 이동경로를 계산하고 계산되어진 이동신호는 스텝 모터를 구동하는 프로세서로 전달한다. 프로세서는 TI사의 TMS320 계열의 DSP칩을 사용하여 전체적인 시스템을 제어한다. 이러한 시스템을 하나의 보드로 설계하는 것이 하드웨어 부분의 연구목적이다. 로봇의 크기는 25cm로써 회전할 때 많은 공간이 필요하므로 실험을 위한 작업공간은 150cm × 200cm로 설정하였고 임의의 위치에 장애물을 위치시켰다.

1.2 로봇의 구성

제작된 자율 이동 로봇의 구동부는 마이크로 프로세서에 의한 디지털 제어가 편리하고 큰 토크를 낼 수 있는 기어드 스텝핑 모터(g geared stepping motor)를 사용하였다. 기구부는 큰 하중을 견디기 위해 동력 전달 장치로써 캐터필터를 사용하였다. 캐터필터를 통하여 동력을 전달하기 위하여는 몇 가지 문제점을 개선해야 했다. 캐터필터는 재질이 고무로 되어 있어서 적절한 장력을 유지하지 않으면 늘어지게 되고 이런 경우에는 Back-rush 현상에 의하여 원하는 만큼의 제어가 어렵게 된다. 또 너무 장력을 강하게 하여 단단하게 조여 매개되면 모터가 초기에 구동할 때 토크를 너무 크게 받아서 탈조하기 쉽다는 단점을 가지고 있다. 그러나 톱니가 필요한 장력을 견디게 하기 위해서는 차체를 알루미늄 재질로 가공해야 했으므로 바퀴와 톱니를 직접 설계 및 가공하였다. 전원은 12V-2A의 배터리 네개로 모듈을 구성하였다.

1.3 영상신호를 이용한 장애물회피 및 경로추적

1.3.1 영상신호 획득

로봇에 탑재한 CCD카메라에서 획득한 영상 신호는 장애물을 포함한 주변 환경 정보를 담고 있으므로 장애물 인식을 위한 중요한 정보로 사용된다. 영상 신호는 일정 샘플링 주기마다 비트맵 포맷으로 캡처하여 RAW 파일 포맷으로 변환한다. 입력받은 영상에 여러 가지 전처리 과정을 거친 후 장애물을 인식하고 장애물과 그 외 배경으로 분리하게 된다. 그리고 경로 추정 알고리즘에 의해 다음 경로를 결정하여 로봇을 구동한다.

1.3.2 장애물 회피

초기에 현재 이동 로봇의 위치에 대한 상대 좌표값인 X축과 Y축의 좌표를 입력한 후 이동 로봇을 장애물 회피 모드로 구동시키게 된다. 이동 로봇은 계속해서 CCD카메라를 통해 획득한 영상과 자신이 이동한 거리를 전달하게 되고, 그 영상정보를 이용하여 전방의 장애물 유무와 현재 이동로봇과 목표지점까지의 거리 오차를 계속해서 모니터링 한다. 이동로봇의 구동 모터는 스테핑 모터를 사용하였고, 이동 거리는 입력 펄스의 개수로 결정이 되며 속도는 입력 펄스의 주파수로 결정된다. 입력 펄스에 비례한 거리만큼을 이동하지만 실제로 구동 시켜본 결과 매 실험 때마다 이동 거리의 오차가 발생하여 50cm를 이동하는데 필요한 펄스의 개수를 수 차례 실험을 통해서 얻어낸 후 그 평균값을 사용하여 2cm 이동 할 때마다 결과를 전송하여 이동거리를 모니터링 할 수 있도록 하였다.

1.3.3 경로 추적

이동 로봇이 장애물 회피 모드로 구동되게 되면 초기에 입력받은 목표지점의 Y쪽 오차 값을 줄여나가는 방향을 진행한다. 이동 로봇이 이동한 거리를 계속해서 전송하기 때문에 이동로봇과 목표지점까지의 거리 오차값을 계속해서 모니터링 하면서 이동 로봇의 진행 방향을 결정하게 된다. Y쪽 오차값을 줄이는 방향으로 진행 하다가 첫 번째 장애물을 만나게 되면 목표지점 X쪽 좌표값의 부호를 판별하여 양이면 우회전, 음이면 좌회전을 해서 X쪽 오차값을 줄여 나가는 방향으로 진행하게 된다. 2차 장애물을 만나게 되면 목표지점 Y쪽 좌표의 부호를 판별하여 이전 X축 이동 방향과 조합하여 부호에 따른 좌회전과 우회전을 결정한다. X축 양의 방향으로 이동한 경우는 Y축 좌표값이 양이면 좌회전, 음이면 우회전을 하게 되고 X축 좌표값이 음이라면

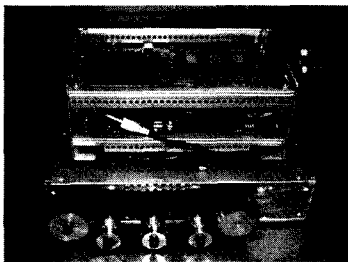


그림 1. CCD 카메라를 장착한 로봇의 구성
Fig. 1. Mobile Robot with CCD Camera.

그 반대방향으로 회전하게 된다. 이러한 알고리즘으로 초기에 입력받은 상대 좌표값까지 경로를 설정하여 이동하게된다. <그림 1>에 제작된 로봇의 구성을 보였다.

1.4 자율이동 로봇의 이동경로

로봇의 이동경로 계획은 다음의 <그림 2>과 같다. 이것은 먼 거리에서 다른 카메라로 캡처한 영상들이다. 로봇의 장애물 회피 및 목표지점까지의 이동모습을 보였다.

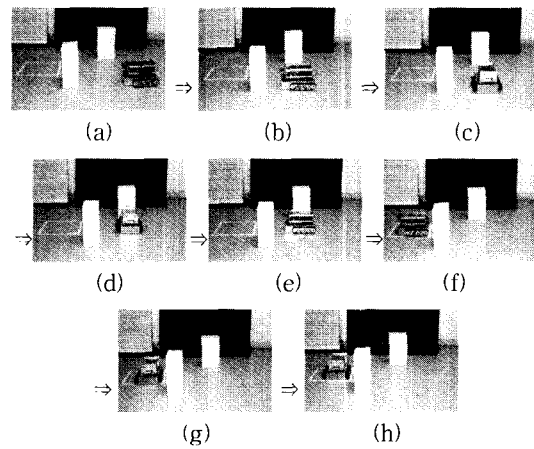


그림 2. 목표지점까지의 이동경로
Fig. 2. Moving path to destination.

2. Frame Grabber설계

<그림 3>과 <그림 4>에서 보여주는 것은 Frame grabber에 대한 내부도와 실제로 제작된 외관을 나타낸 것이다. <그림 3>의 블록도에서 보여진 대로 카메라로부터 들어오는 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 준다. 여기에 사용되는 주요 칩은 SAA 7111A라는 것이며 이 칩은 4개의 아날로그 입력핀이 있으며 입력 선택회로가 내장되어 있다 아날로그 전처리 회로를 가지는 두 개의 채널이 존재하며 메인 채널의 Gain을 임의로 설정하거나 AGC로 사용이 가능하다. 8비트의 비디오 CMOS A/D 컨버터가 내장되어 있어 수평, 수직 동기신호를 검출할 수 있으며 PAL과 NTSC타입을 자동으로 검출하고 50Hz와 60Hz도 자동으로 검출할 수 있다. 한번의 Line에 720번의 샘플링을 할 수 있으며 전원을 사용함에 있어서도 3.3V와 5V가 호환이 되는 특징을 가지고 있다. 여기에서 변환되어진 디지털 신호는 D-ADV611 칩으로 전달되어진다. 여기서 앞에서 받아들인 디지털 정보의 영상을 압축하기 위하여 4비

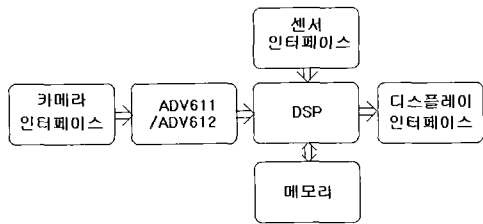


그림 3. 영상보드의 구성도
Fig. 3. BlockDiagram of the frame grabber.

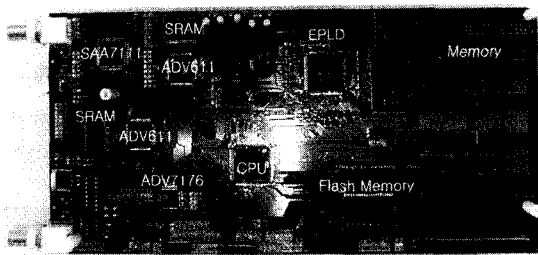


그림 4. 영상보드의 실제 모습
Fig. 4. Designed frame grabber.

트의 신호를 16비트로 분할하는 역할을 한다. 그렇게 되면 4배의 분할을 하는 것이므로 상대적으로 1/4만큼의 시간적인 여유를 벌게 되는 것이며 이러한 시간적인 여유동안 영상처리 알고리즘을 적용할 수 있도록 해 주는 것이다. 이때 EPLD에 저장되어 있는 영상처리 프로그램을 수행하도록 하는 것이다. 또한 외부에서 받아들인 신호를 DSP가 처리할 수 있는 여유를 만들어 주기도 한다. 여기에서 처리가 끝나면 다시 외부로 신호를 내보내기 위하여 16비트로 분할된 신호를 4비트로 변환해 주어야 한다. 그 역할을 A-ADV611이 수행한다. 그러면 D/A Converter에서 외부로 영상신호를 보내기 위하여 다시 아날로그 신호로 변환하여 준다. 메모리 회로에서는 영상처리를 하는 동안의 이미지들을 저장하는 역할을 한다. EPLD는 사용자가 필요할대로 적용하고자 하는 알고리즘을 가지고 있다가 알고리즘을 수행하고자 할 때 프로그램을 전달하는 역할을 한다. 프로세서는 전체적인 시스템을 운영하는 CPU에 해당되며 전체 프로그램의 흐름을 담당하는 역할을 한다. 본 논문에서 보여지는 frame grabber는 카메라 연결을 위한 장치 및 영상처리를 위한 DSP, 그리고 메모리를 주내용으로 한다. 전체 처리 내용은 카메라의 신호를 입력으로 받아 ADV611/ADV612 및 카메라 인터페이스부에서 디지털 데이터로 변환한 후 메모리에 저

장한다. 이 이미지 데이터를 DSP를 통하여 각종 이미지 처리를 하고 센서부에서 들어오는 신호를 처리하여 이미지와 결합한다. 최종 이미지를 디스플레이 인터페이스부를 통하여 전송한다.

III. 장애물 회피를 위한 영상 전처리와 알고리즘

1. 입력영상 전처리 과정

먼저 원영상을 입력받아서 3×3 mask Sobel 연산자를 사용한다. 그리하면 윤곽선이 추출된다. 여기서 추출된 윤곽정보는 처리가 용이하도록 NOR Converter를 거치도록 한다. 마지막으로 영상의 경계값을 찾는다. 처음에 획득한 영상은 깨끗한 환경에서 얻어진 것이 아니라 주변에 여러 가지 기구나 명암대비가 뚜렷하지 못한 조건들로 되어 있다. 어떤 장애물이라도 가까이서 획득한 영상으로 보게 되면 색상이 단일한 색상으로 나타난다. 즉, 멀리 있는 영상정보나 장애물이 없는 영상 정보쪽에 히스토그램이 넓게 분포되기 마련이다. 이런 이유로 마지막에 Convert를 처리한 영상의 경계치를 229로 둔다. 먼저 <그림 2>의 로봇 이동 경로에 따라서 얻어진 원 영상을 <그림 5>에 보였다.

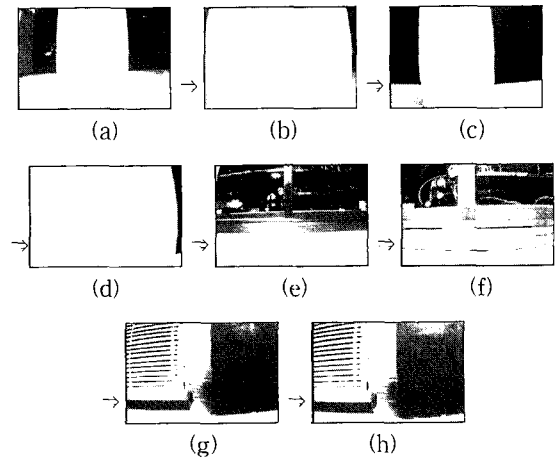


그림 5. 이동로봇에서 얻어진 원 영상
Fig. 5. Original images obtained from the mobile robot.

1.1 Sobel 연산자에 의한 경계검출

경계선 검출 템플릿 방법은 템플릿 매칭 방식을 사용한다. 템플릿 매칭 방식은 경계를 나타내는 패턴

을 미리 정하여 템플릿으로 정하고, 영상의 각 화소들에 이 템플릿과 비교하여 근사한 지를 측정하는 방법이다. 이 때 사용하는 근사치 계산방법은 식 (1)같은 상관관계(correlation)를 주로 사용한다.

$$Z = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k f(i,j)g(x+i,y+j) \quad (1)$$

여기서 k는 템플릿의 크기를 나타내는 값으로 3×3 템플릿인 경우에는 1이 된다. 이러한 템플릿을 이용하여 경계선을 추출하는 방법으로 잘 알려진 소벨(sobel) 변환은 수평이나 수직 방향의 경계선을 추출하여 그 결과를 기하학적으로 합한 것으로 대각선 방향의 경계선 검출에도 뛰어난 성능을 가진다. <그림 6>는 템플릿을 사용하여 계산한 값들이다. 여기서 S_x 및 S_y는 각각 수평 및 수직 방향의 경계선 성분이다.

	-1	-2	-1				
	0	0	0		-1	0	1
Row Mask	1	2	1	Column Mask	-1	0	1

Magnitude : $\sqrt{S_x^2 + S_y^2}$, Direction : $\tan^{-1} \left[\frac{S_y}{S_x} \right]$

그림 6. 수평 및 수직 방향 Sobel 연산자 마스크
Fig. 6. Horizontal and vertical masks of the Sobel operator.

1.2 NOR Converter에 의한 명암 반전

이치화 시킨 영상을 NOR 논리 즉, “둘 다 거짓일 때만 참이고, 그것을 제외한 나머지는 모두 거짓이다”라는 산술논리를 적용하였다. 즉, 자기 자신의 화소의 값과 인접화소와의 대비에서 둘 다 0이면 흰색으로 나타나고, 그 나머지는 모두 검정색이 되는 것이다.

1.3 경계치 설정

이진 데이터는 그레이의 영상을 경계값(threshold)을 이용하여 흑과 백의 두가지로 데이터를 취급하는 것이다^{1), 5) 6)}. 이진영상처리는 그레이 영상 데이터의 경계값을 처리하는 과정이다. 즉, 입력 영상의 각 화소에 대해서 명도가 있는 일정값 이상의 경우에 대응하는 출력 영상의 화소값을 1, 그 외의 경우는 0인 것이다. 경계값 처리는 다음의 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{If } f(x, y) > t \text{ then } g(x, y) = 1 \\ & \text{else } g(x, y) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

본 논문에서는 경계값을 229로 높인다. 이런 이유는 명암대비를 뚜렷하게 하기 위해서이다. 영상에서 장애물을 보다 쉽게 인식하기 위하여 경계값을 높게 설정하는 것이다. <그림 7>에서 Sobel 연산자에 의한 경계 검출과, NOR변환에 의한 영상반전, 그리고 경계치가 설정된 최종 영상을 보였다.

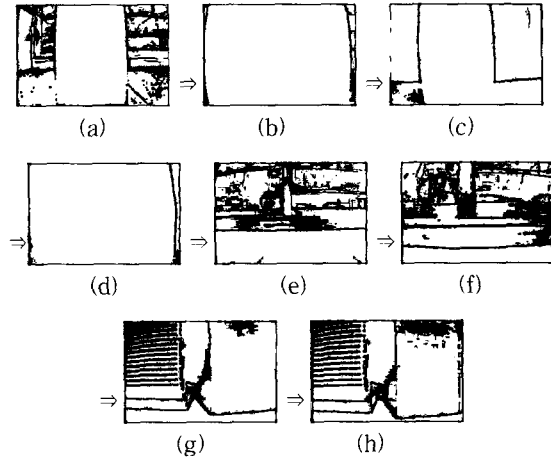


그림 7. 경계치229로 설정된 NOR필터 변환 영상
Fig. 7. Converted images by threshold level of 229.

2. Labeling과 segmentation을 이용한 장애물인식

본 논문에서 사용한 4-연결도를 사용한 순차 연결성분 알고리즘은 다음과 같은 방법으로 구현한다.

- 1) 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 화상을 스캔한다.
- 2) 만약 [i,j]화소가 1의 값이면, 위쪽 ([i-1,j])과 왼쪽 ([i,j-1]) 이웃화소들에 대하여
 - 2-1) 두 이웃화소들 중에서 하나만이 라벨을 가지고 있으면, 그 라벨을 [i,j] 화소에 부여한다.
 - 2-2) 두 이웃화소들이 똑같은 라벨을 가지고 있다면, 그 라벨을 [i,j] 화소에 부여한다.
 - 2-3) 두 이웃화소들이 서로 다른 라벨을 가지고 있다면, 위쪽 이웃화소의 라벨을 부여하고, 준비된 등가 테이블에 두 라벨들을 등가 라벨들로 기록한다.
 - 2-4) 두 이웃화소들이 라벨을 가지고 있지 않다면, 새로운 라벨을 부여하고, 등가 테이블에 이 라벨을 기록한다.
- 3) 라벨이 부여되지 않은 화소들이 남아 있으면, 단계 2)로 간다.

- 4) 등가 테이블에서 각각의 등가 집합에 대해 가장 낮은 라벨을 찾는다.
- 5) 화상을 스캔하여, 각 라벨을 등가 집합에서의 가장 낮은 라벨로 바꾼다.

이 알고리즘은 전체 화상에 대해 두 번의 스캔과정이 필요하다. 첫 번째 스캔에서는 부분 영역을 얻고 부분 영역들간의 연결성을 알아낸다. 두 번째 스캔에서는 등가인 라벨들을 검사하여 다시 라벨링을 한다. 라벨링을 수행할 때에는 2진 영상에 매우 작은 크기의 잡음이 있을 수 있다. 이러한 잡음은 보통 불규칙적으로 발생하므로 잡음에 해당하는 연결성분들은 화소의 수가 작다. 이것은 크기 필터링을 이용하여 제거한다. 이러한 과정이 끝난 영상들은 각각의 영상에서 보면 알 수 있듯이 여러개의 조각들로 나누어져 있음을 알 수 있다. 여러개의 조각들은 각각의 페루프를 형성하고 있으며 페루프마다 제각기 영역에 대한 면적을 가진다. 하나의 영상에서 가장 큰 페루프 즉, 루프의 면적이 10의4승 픽셀 이상이면 장애물로 인식되는 것이다.

3. Line Histogram Intensity를 이용한 장애물인식
 장애물을 인식하기 위한 그레이레벨(grey-level)변화에 의한 방법은 장애물과 그 외의 부분에 대하여 명암차가 일정하게 반복적으로 발생한다는 주파수 특성에 기반을 두었다. 그러나 이러한 방법은 다양한 기준치의 설정이 요구되고 장애물과 유사한 특성이 발생할 경우 오류의 가능성이 높기 때문에 본 논문에서는 웨이브렛 변환(Wavelet Transform: WT)을 이용하기로 한다. 웨이브렛 변환은 Grossmann과 Morlet에 의하여 발표^[13, 14]되어서 많은 신호처리분야에 사용되어왔다. Grossmann은 여러종류의 질감으로 구성된 영상을 WT를 한 후 계수를 특징으로 한 영상 분할 방법을 제시하였다^[13]. Mallat은 WT에 의한 다해상도 피라미드 영상과 다중스케일 에지정보 결합에 의한 edge detection에 대하여 연구하였다^[15, 16]. Mallat은 경계검출에서 피라미드 구조의 다해상도와 multiscale 영상분해 방법에 의하여 좋은 결과를 보여주었다^[15, 16]. 다해상도는 높은 해상도 정보를 검색하는 것으로 해상도 2^j 을 갖는 영상 $f[n,m]$ 에 대한 low-pass filtering과 행(row)과 열(column)의 subsampling에 의한 연산으로 피라미드 구조를 가진다. 직교 다해상도 해석에서 근접하는 두 개의 스케일 단계간에 2만큼의 해상도 차이가 발생하게 된다. 이들은 다음 식 (3), 식 (4)와 같이 표현된다.

$$f^j[n, m] = f^{j+1} * h_2[2n, 2m] \tag{3}$$

$$\begin{pmatrix} T^1 f(2^j, u, v) \\ T^1 f(2^j, u, v) \end{pmatrix} = -2^j \nabla(f * \tilde{\theta}_{2^j})(u, v) \tag{4}$$

where

$$h_2[n, m] = h[-n]h[-m] \quad : \text{low-passfilter}$$

$$T^k f(2^j, u, v) = f * \tilde{\Psi}_{2^j}^k(u, v) \quad : \text{wavelettransform}$$

where

$$\tilde{\Psi}_{2^j}^k(u, v) = \Psi_{2^j}^k(-u, -v),$$

$$\Psi_{2^j}^k(u, v) = \frac{1}{2^j} \Psi^k\left(\frac{u}{2^j}, \frac{v}{2^j}\right) \text{ for } (1 \leq k \leq 2),$$

$$\Psi^1(u, v) = \frac{\partial \theta(u, v)}{\partial u}, \quad \Psi^2(u, v) = \frac{\partial \theta(u, v)}{\partial v}$$

$$\nabla f(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{pmatrix}$$

$$\tilde{\theta}_{2^j}(x, y) = \frac{1}{2^j} \theta\left(\frac{-x}{2^j}, \frac{-y}{2^j}\right)$$

따라서 본 논문은 WT에 의한 영상분해방법과 장애물 영역의 주파수 특성에 착안하여 장애물을 추출하는 방법을 제안한다. y축 성분에 대한 히스토그램의 변화에 대하여 분할 영역간의 분산 히스토그램을 구성하여 장애물의 유·무를 판별한다. 이러한 방법으로 x좌표로 0에서 280까지 20픽셀의 간격으로 이동한다. 그리고 y축으로 0에서 197까지의 고정적인 스캔을 한다. 그리고 픽셀의 스캔 간격이 60이상 intensity 파형의 변화가 없으면 장애물로 인식하도록 한다. 파형 측정 간격을 20 픽셀로 두는 것은 로봇이 실시간에 이동을 하면서 장애물의 유무를 빠르게 판별하기 위해서이다.

IV. 실험결과 및 분석

실험의 결과는 매우 분량이 많아서 전체를 나타내기에 지면의 제한이 있어서 대표적인 결과 하나씩만 나타내기로 한다.

1. Labeling 기법에 의한 장애물 회피

앞의 전처리 과정에서 경계치 설정 작업이 끝난 <그림 7>의 영상은 이미 각각의 영상에서 보면 알 수 있듯이 여러개의 조각들로 나누어져 있음을 알 수 있다. 그런 여러개의 조각들은 각각의 페루프를 형성하고 있으며 페루프마다 제각기 영역에 대한 면적을 가진다. <그림 7(a)>을 보면 알겠지만 장애물은 바닥과 붙어있

으므로 입력받은 영상에서는 바닥면을 포함한 기둥 같은 형상의 장애물의 형상까지 포함하여 가장 큰 영역을 형성한다. 만약 멀리서 캡처한 영상으로 보면 여러 개의 루프들이 가지는 면적값 즉, 픽셀수가 그다지 큰 차이를 가지지 않는다. 이것은 로봇이 앞으로 더 전진해도 뒀을 의미한다. <그림 7(a)>에 대한 실험결과를 <그림 8>과 <그림 9>에 나타내었다.

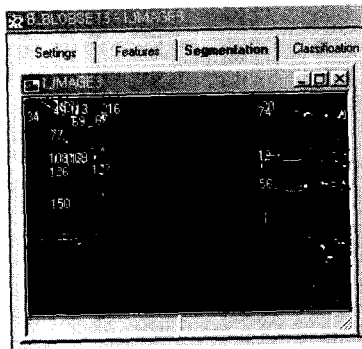


그림 8. 영역이 분할 된 그림 3.3(a)
Fig. 8. Segmented area of Fig. 3.3(a) image.

<그림 8>에서 보여주는 영상에서 각 영역별로 픽셀 수를 계산하여 면적값으로 대치 할 수 있다. 이러한 값에 대한 비교를 <그림 9>에 나타내었다.

<그림 9>에서 보면 216번 루프에 있는 픽셀수이다 큰 루프 면적에 비하여 3,3530이라는 매우 큰 값을 가지고 있다. 그 외의 다른 루프들은 10의 3승 단위 이내의 값을 가지고 있음을 보여주고 있다. 따라서 216번 루프가 장애물임을 알 수 있다.

Label	Area
13	287
20	775
34	2465
42	217
49	21
67	85
68	177
74	1488
77	43
108	20
109	50
112	905
118	406
126	61
127	77
150	554
156	1825
216	3.353e+004

그림 9. <그림 7(a)>의 분할영역 면적계산
Fig. 9. Calculation of the segmented area of Fig. 7(a).

2. Line histogram intensity에 의한 장애물 회피
<그림 7(a)>에서 전처리 된 영상을 각각 20픽셀씩의 간격을 두고 Line histogram intensity를 측정한다. 처음에 영상의 좌표를 (0, 0)에서 (0, 197)까지의 히스토그램 분포를 스캔한다. 같은 방법으로 다음 좌표는 (20, 0)에서 (20, 197)로 이동하여 스캔한다. 이런 방법으로 픽셀간격을 20씩 하여 (280, 0)에서 (280, 197)까지 스캔하게 되면 장애물이 있는 곳의 히스토그램은 변화가 없다. 각 좌표의 스캔된 히스토그램 측정과 분포곡선을 아래에 <그림 1>에 나타내었다.

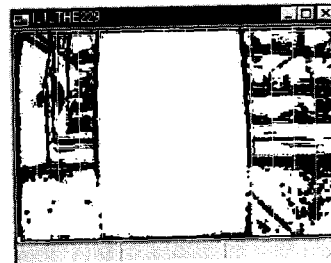
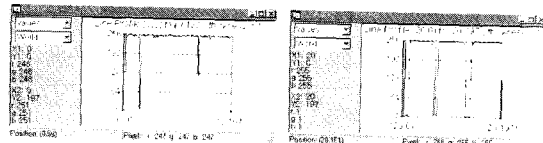


그림 10. 영상 3.3(a)의 line histogram intensity Scan
Fig. 10. Scanned line histogram intensity of 3.3(a).

<그림 10>의 스캔 결과를 보면 x좌표로 0에서 280까지 20픽셀의 간격으로 이동하였다. 그리고 y축으로 0에서 197까지의 고정적인 스캔을 하였다. 그 결과 x좌표가 80까지는 intensity 파형의 변화가 보인다. 그러나 100에서 200까지는 intensity 파형의 변화가 없고 220부터 280까지 intensity의 변화를 보인다. 여기에서 x좌표 100에서 200까지가 장애물로 인식할 수 있다. 따라서 픽셀의 스캔 간격이 60이상 intensity 파형의 변화가 없으면 장애물로 인식하도록 한다.

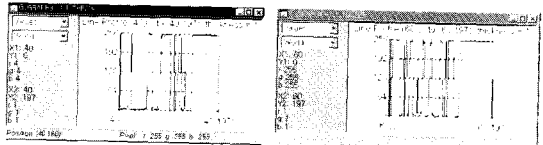
3. 분석 및 비교

기존의 논문들에서는 주로 장애물 회피 알고리즘만을 연구하거나 제어 알고리즘만을 독립적으로 연구하여 왔다. 그러나 본 논문에서는 영상정보에서 장애물을 인식하는 직접적인 센싱을 하므로 기존의 논문에 비하여 영상에서 장애물을 직접 추출하고 여러 가지 영상 처리 알고리즘을 이용하여 장애물 부분과 배경부분을 분리하므로 이동경로 계획에 즉시 반영할 수 있으므로 하나의 독립적인 영상 궤환 제어이다. 또한 처리속도를 향상하기 위하여 복잡한 장애물 인식 알고리즘보다는 DSP에서 실시간으로 처리할 수 있는 라벨링 기법을



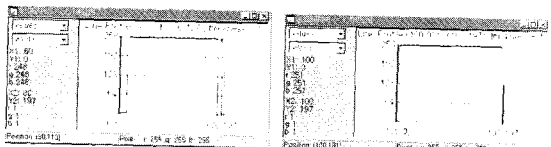
(x좌표 0)

(x좌표 20)



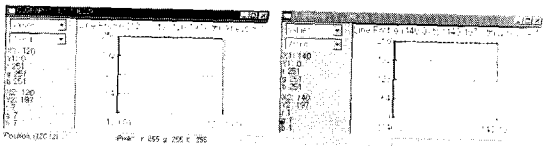
(x좌표 40)

(x좌표 60)



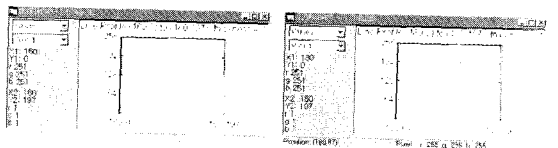
(x좌표 80)

(x좌표 100)



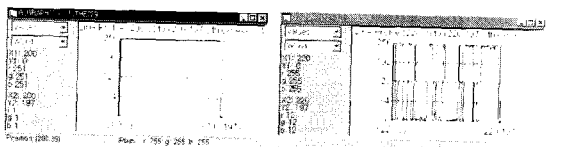
(x좌표 120)

(x좌표 140)



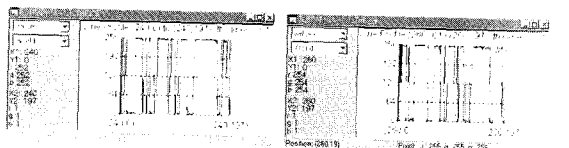
(x좌표 160)

(x좌표 180)



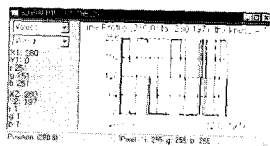
(x좌표 200)

(x좌표 220)



(x좌표 240)

(x좌표 260)



(x좌표 280)

이용하였다. 또한 장애물 후보지역을 추출하기 위하여 라인 히스토그램의 세기를 측정하여 적용하였다. 하드

웨어적인 측면에서 보더라도 영상보드를 직접 제작하여 사용한 경우는 극히 드물며 DSP를 이용하였다 하더라도 에뮬레이터에 의존한 논문이 대부분이다. 영상보드를 직접 제작하여 이용한 경우는 참고문헌[21]의 경우가 있으며, 영상 압축을 위하여 ADV611을 이용한 보드의 설계에 대한 논문은 아직까지는 언급된 적 없다. 이러한 영상보드의 설계 및 제작에 있어서 Stand alone 형식의 보드는 별로 없다. 대부분이 PCI버스를 이용하여 주 프로세서를 컴퓨터에 의존하고 있기 때문이다. 따라서 호스트 PC에 의존하지 않고 자체적인 영상 획득과 연산, 영상압축/해제, 필터링과 경로 설정을 하는 독립적인 영상처리보드이다. 보드의 성능면에서 보면 압축 전용 칩에 의한 자체 처리 속도를 향상하였으므로 영상처리 알고리즘을 탑재하고 실시간 영상처리(프레임 처리 속도: 30 frame/sec)를 할 수 있다. 또한 영상데이터를 제어에 직접 응용함으로써 모니터링을 위한 영상의 활용이 아닌 제어를 위한 센서로서의 역할을 하고 있으며 라벨링 기법의 경우 장애물의 영상 대비가 뚜렷한 경우는 오차율이 1/1000 이하로 매우 빠른 처리 속도와 정확성을 보인다.

IV. 결 론

본 논문은 이동 로봇에 장착된 한 개의 CCD 카메라를 통해 입력되는 영상 정보를 이용하여 초기에 지정한 목표지점까지 중간의 장애물을 회피하면서 도달하기 위한 알고리즘을 제안하였으며 실험을 통해 결과를 확인하였다. 알고리즘은 크게 분류하여 두 가지를 제안하였다. 본 논문은 크게 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분에 대하여 두 가지 관점에 대하여 논하였다. 결론에 대하여 요약하자면 다음과 같다.

첫째는 DSP(TMS320VC33)에 의한 영상제한 제어를 통하여 장애물을 회피하는 이동 로봇을 구현하였다. 또한 이동 로봇의 자율적 경로 설정과 장애물 인식을 유연하게 하기 위하여 영상 보드를 설계하였다. 영상보드는 입력 영상을 획득하기 위하여 SAA7111A를 이용하였으며, DSP(TMS320VC33)를 이용하여 제어하도록 설계 및 제작하였고 실시간 영상전송과 처리를 위하여 ADV611을 이용하여 압축과 해제를 하였으며 영상제한 제어 알고리즘을 CPLD(EPM7256ATC144)를 이용하여 수행하도록 하였다. 또한 영상의 출력을 위하여 ADV7176을 이용하여 외부로 전송하도록 하였다.

두 번째는 영상처리를 함에 있어서 영상의 개선과 장애물에 대한 인식율을 높이기 위하여 영상을 개선하는 전처리 알고리즘을 에지검출, 영상전환, 경계치 설정 등으로 구현하였다.

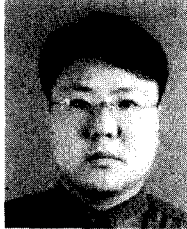
세 번째는 이동로봇이 전방의 장애물을 인식할 수 있도록 하였다. 전처리와 후처리로 나누어진 영상처리 알고리즘을 적용하여 제한되지 않는 필드 즉, 배경과 장애물의 식별이 까다로운 필드에서 적용하게 될 알고리즘을 소개하였다. 이 알고리즘에서는 Labeling 기법을 이용하여 각각의 루프를 형성하고 그 루프가 가지는 픽셀의 수를 면적값으로 대치하여 서로의 값을 비교하는 방법을 도입하였다.

네 번째는 Line Histogram을 y축으로 0에서 197까지의 고정된 스캔을 통하여 intensity를 측정하였으며 x축으로 20픽셀씩 이동하면서 일정한 스캔을 함으로써 각각의 위치에서의 히스토그램을 가지고 장애물로 인식시키는 방법을 소개하였다.

참 고 문 헌

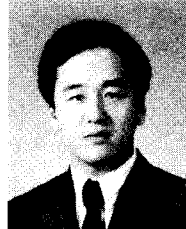
- [1] 류한성, 최종경, 구분민, 박무열, 권정혁, “자율 이동로봇의 장애물회피 및 경로계획에 대한 간략화 알고리즘과 복합 알고리즘에 관한 연구”, 한국해양정보통신학회 논문지, 제6권, 1호, 2002
- [2] 류한성, “타이어 음, 양각 문자의 입력영상 개선 및 전처리에 관한 연구”, 국립경상대학교 대학원 석사학위 논문, 1998. 2
- [3] 김영탁, 정태영, 탁영봉, “핵 연료봉번호 자동인식 시스템 개발”, 제8회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp.236-240, 1996
- [4] 원윤재, “영상 기반 자율 이동로봇의 주행 제어기술 개발”, 고려대학교 대학원, 석사학위 논문, 2002
- [5] A. Perez and C. Gonzalez, “An Iterative Thresholding Algorithm for Image Segmentation”, IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PaMI-9, No.6, 1987.
- [6] M. Haralick and G. Shapiro, “Image Segmentation Techniques”, Computer vision, Graphics and Image processing 29, pp.100~132, 1985.
- [7] C. Gonzalez and R. Woods, Digital Image Processing, Addition Wesley, pp.161~247, 413-482, 1992.
- [8] 전병태, 윤호섭, “신호처리 기법을 응용한 차량번호판 추출방법”, 대한전자공학회 논문집, 제30권, B편, 제7호, pp.728-737, 1993
- [9] 류한성, 최종경, 구분민, 박무열, “Line Histogram Intensity를 이용한 이동로봇의 장애물 회피 알고리즘에 관한 연구”, 한국해양정보통신학회 논문지, 7권, 1호, 2003
- [10] TMS320C3X DSP Controllers CPU and Instruction Set Reference Guide, Texas Instrument, 1999.
- [11] 강현덕, “전경 영상을 이용한 자율 이동로봇의 자기 위치 측정”, 울산대학교 대학원, 석사학위 논문, 2002
- [12] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle, Image Processing, Analysis and Machine Vision, Champman & Hall, 1994.
- [13] 황운주, 박성욱, 박정욱, “Wavelet 변환을 이용한 차량 번호판 영역추출”, 대한전자공학회 논문지, 제36권, S편, 6호, 1999. 6
- [14] A. Grossmann and J. Morlet, “Decomposition of Hardy-functions into Square Integrable Wavelets of Contrast Shape”, SIAM J. Math, Vol.15, pp.723-736, 1984.
- [15] Stephane Mallat, “Wavelets for a vision”, Proc. of the IEEE Vol.84 No4, pp.604-614, 1996.
- [16] Ruskai et al., Wavelets and their Applications, Jones and Bartlett, pp.65-104, 1992.
- [17] 이승훈, 윤동한, 알기쉬운 웨이브렛 변환, 진한도서, 2002
- [18] 김경민, 이병진, 류경, 박귀태, “상관계수와 허프 변환을 이용한 차량번호판 자동인식”, 제어자동화 시스템공학 논문지, 제3권, 5호, PP.511-519, 1997. 10.
- [19] 전병태, 윤호섭, “신호처리 기법을 이용한 차량번호판 추출방법”, 대한전자공학회 논문지, 제30권 B편 제7호, PP.92-100, 1993. 7
- [20] 류한성, “자율 이동로봇을 위한 영상 변환 제어 알고리즘과 DSP 영상처리보드 구현”, 국립창원대학교 박사학위 논문, 2003. 7
- [21] 박무열, “DSP(TMS320C6211) 비전 시스템을 이용하는 자율 이동차량의 장애물 회피 및 경로계획에 관한 연구”, 국립 창원대학교 석사학위논문, 2001.12

저 자 소 개



柳 翰 成(正會員)

경상대학교 전자재료공학과 공학사. 경상대학교 대학원 전자재료공학과 공학석사. 창원대학교 대학원 전자공학과 영상제어 전공 공학박사. 거창전문대학 컴퓨터응용전자과 겸임 전임강사. (주)동양엔지니어링 연구소장, (주)화이트스콜 연구소장. 현재 : 국립진주산업대학교 전자공학과 겸임 조교수. <주관심분야 : 영상처리, 영상 하드웨어시스템, 위성통신>



崔 重 暻(正會員)

고려대학교 전기공학과 공학사. 고려대학교 대학원 전기공학과 공학석사. 고려대학교 대학원 디지털제어전공 공학박사. 현재 : 창원대학교 전자공학과 교수. <주관심분야 : 서보기기제어, 자동동조제어, μ P응용, 영상제어>