

화상 정보를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘

Obstacle Avoidance Algorithm of a Mobile Robot using Image Information

權五常*, 李應赫**, 韓永煥***; 洪勝弘*

(O-Sang Kwon*, Eung-Hyuk Lee**, Yong-Hwan Han***, and Seung-Hong Hong*)

요약

이동로봇의 주행에 있어서 단일센서만으로는 문제점들이 있다. 이러한 문제에 대하여 본 논문에서는 초음파센서와 카메라의 장점을 취한 시스템을 제안한다. 또한 이동로봇의 주행동안에 장애물을 회피하기 위한 좌표추출 알고리즘을 제안한다. 이동로봇의 전방부에 카메라를 장착하였으며 제안된 알고리즘의 유용성을 검증하기 위한 실험을 하였다. 실험결과 초음파 센서만을 사용하는 경우보다 영상센서를 사용하는 경우에 에러율이 줄어 들었다. 또한 측정된 값들을 사용하여 장애물을 회피하기 위한 경로를 생성할 수 있다.

Abstract

There are some problems in robot navigations with a single kind of sensor. We propose a system that takes advantages of both CCD camera and ultrasonic sensors for the concerning matter. A coordinate extraction algorithm to avoid obstacles during the navigation is also proposed. We implemented a CCD based vision system at the front part of the vehicle and did experiments to verify the suggested algorithm's availability.

From experimental results, the error rate was reduced when a CCD camera was used rather than when only ultrasonic sensors were used. Also we can generate path to avoid those obstacles using the measured values.

Key Words : Vision system(비전시스템), Mobile robot(이동로봇), Obstacle avoidance(장애물 회피), Texture analysis(텍스처 해석), Coordinate extraction(좌표 추출)

I. 서론

-
- * 仁荷大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.)
 - ** 建陽大學校 컴퓨터工學科
(Dept. of Computer Engineering, Konyang Univ.)
 - *** 尙志大學校 電算學科
(Dept. of Computer Science, Sangji Univ.)
 - ※ 이 연구는 인하대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

최근 공학 기술의 발달로 인간생활의 편리를 도모하고 복지향상을 위해서 로봇을 이용하는 연구가 여러 분야에서 수행되고 있다. 이동 로봇은 산업 현장, 사람의 접근이 어려운 유해환경, 해저, 우주 등에서의 탐사, 의료용 그리고 가정에서 다양하게 사용되어질 수 있다. 이러한 다양한 목적에 사용되기 위하여 로봇

接受日: 1998年4月22日, 修正完了日: 1998年8月24日

은 작업환경에 대한 충분한 사전지식을 가지거나 미지의 환경일 경우 환경에 대한 인식능력을 갖추는 것이 필수적이다.

한 장소에서 다른 장소로 안전하게 이동하기 위해서는 주변환경에 대한 인식능력 뿐만 아니라 이동 경로 계획과 장애물 회피 능력을 가져야 한다. 이와 같은 기능들을 이동 로봇에 부여하기 위해 최근에 많은 연구가 수행되어져 왔으나 센서의 불확실성, 정보처리 속도, 데이터 저장 용량 등의 여러 제한 요인들로 인하여 실제로 적용하는데에는 한계를 가지고 있다.

일반적인 이동 로봇에서는 장애물과의 충돌을 회피하거나 이동에 필요한 정보를 얻기 위해서 비전 센서(CCD 카메라), 초음파 센서 중의 어느 하나를 사용하고 있다. 그러나 사용하는 센서에 따라 다양한 특성과 문제점을 나타내게 된다.

로봇이 이동 경로를 생성하기 위해 물체와의 거리 및 물체의 크기를 측정하는데에 초음파 센서를 사용할 경우, 가격이 저렴하고 제작 및 설치가 용이하다는 장점이 있는 반면에 센서 자체의 불확실성과 거울효과에 의해 그릇된 정보가 다수 포함된다는 단점이 있다. 이러한 초음파 센서 고유의 문제점을 개선하기 위한 시도는 Roman Kuc, Durrant Whyte, Yoram Koren 등에 의해 연구되어 왔으나 시스템이 방대해지며 복잡한 알고리즘이 요구된다^{[11][9]} 한편 비전 센서만을 사용하여 이동 경로를 생성하는 경우, 주변 환경의 영향을 많이 받으며 각 화소의 위치에 따른 실제거리가 다르므로 물체의 크기 및 장애물과의 거리를 정확하게 측정하는 것이 불가능하다. 이문제를 해결하고자 스테레오 비전 기법등이 사용되고 있으나, 이는 화상 처리 시간이 길어지고 복잡한 수학적 해석을 필요로 한다^{[10][12]}.

본 논문에서는 이상과 같이 하나의 센서만을 채택함으로써 발생하는 문제점들을 개선하기 위하여 장애물의 윤곽을 파악하는데에는 CCD카메라를 사용하며 보조적으로 정확한 거리계측을 위해서는 초음파 센서를 이용하였다. 즉 이동 로봇이 실내의 환경에서 주행할 때에 만나게 되는 장애물을 회피하기 위하여, 초음파 센서에 의한 거리 정보를 기반으로 카메라로 입력된 화상을 해석하여 장애물의 크기를 구하고, 장애물

의 특징점을 이용하여 최단 경로로 주행하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

II. CCD카메라를 사용한 장애물의 폭 인식

초음파 센서를 이용하여 장애물을 인식할 경우 초음파 센서의 고유특성인 지향성, 거울효과, 산란 등에 의해 물체의 에지에서 거리를 정확하게 구할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 초음파 센서에 의해 검출된 거리와 CCD카메라에서 입력되는 화상을 해석하여 물체의 윤곽을 검출하고, 화소간의 거리를 이용하여 장애물의 폭을 측정하는 방법을 제안하였다.

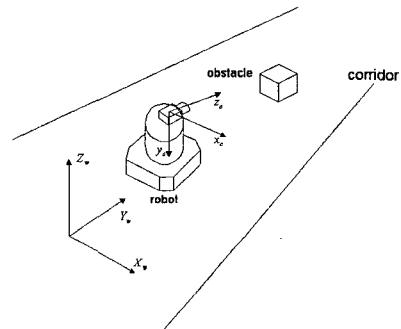


그림 1. 로봇에서의 카메라 배치

Fig. 1. Camera configuration on robot

이동 경로상에 존재하는 장애물의 폭을 검출하기 위하여 카메라를 그림 1과 같이 이동 로봇의 최상부에서 바닥면을 향하도록 설치하였다. 여기서 카메라는 주행경로의 전방 3m 앞에서 장애물이 화상의 중앙 부근에 위치하도록 이동 로봇의 중앙과 복도면에 대하여 75° 의 각도를 갖도록 장착하였다.

또한 장애물 회피 및 국부 경로계획에 대한 정보를 얻기 위하여 화상 처리는 이동 로봇에 장착된 카메라에 의해 화상을 입력받아 입력되는 화상을 8×8 및 4×4 의 소블럭으로 나누고, 각 블럭의 텍스처 해석을 통한 형판 정합(template matching)을 사용하였다. 이동 로봇이 장애물을 회피하여 주행경로를 수정하기 위해

서는 기준형판의 형성과 입력된 화상의 텍스처 해석, 정합의 평가 과정을 거쳐 최종적으로 장애물의 폭 및 장애물 회피 경로가 추출 되어야 한다. 이와 같이 원 화상으로부터 장애물을 판단하여 장애물의 폭을 검출하는 과정을 그림 2에 나타내었다.

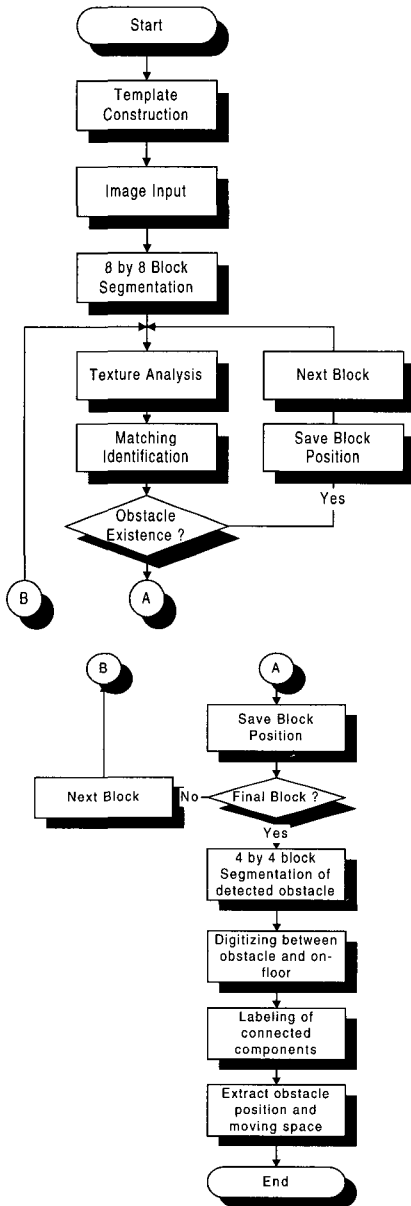


그림 2. 장애물의 폭을 계산하는 흐름도

Fig. 2. Flowchart of calculating the width of obstacle

1. 기준 형판의 형성

먼저 형판정합을 하기 위해서는 기준 형판이 필요하다. 형판의 형성은 이동 로봇의 초기화 과정에서 바닥면에 대한 자료로 부터 만들어 진다. 이 과정에서 만들어진 자료를 사용하여 이동중에 얻어지는 화상을 해석한다.

2. 블럭 분할

입력된 화상을 처리하기 전 즉, 로봇이 이동하기 전에 형판정합을 하기 위한 전처리 단계로, 주행하여야 하는 바닥면에 대하여 기준 형판을 형성하는 과정을 수행한다. 이후 로봇이 주행하면서 입력되는 화상을 처리하게 되는데 첫번째 단계로 입력되는 화상을 블록으로 분할한다. 이는 블록의 특성을 이용하여 장애물의 유무를 판단하기 때문이다. 블록 분할에서 중요한 것은 분할하는 블록의 크기인데 그 크기를 선정하는 방법은 정해져 있지 않다. 본 실험에서는 8×8의 크기로 블록을 분할하고 장애물이 검출되면 4×4로 세분화하여 사용하였다. 이렇게 분할된 블록은 화상 전체에 대해 $S(i, j)$ 로 표현되며 각 블록의 위치는 그림 3과 같이 나타내어진다.

$S(1, 1)$	$S(2, 1)$	$S(3, 1)$...	$S(K, 1)$
$S(1, 2)$	$S(2, 2)$	$S(3, 2)$...	$S(K, 2)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
$S(1, K)$	$S(2, K)$	$S(3, K)$...	$S(K, K)$

그림 3. 전처리 단계에서 화상의 블록분할

Fig. 3. Partition of image in the preprocessing step

3. 텍스처 해석을 통한 형판 정합

텍스처 해석은 화상의 경계 또는 일정 영역 내의 공통적 성질을 해석하는 것으로 대표적인 방법으로는 농도분포에 의한 해석, 농도차 분포에 의한 해석, 2차 확률 밀도 함수에 의한 해석, 선형 추정 수법에 의한 해석, 전력 스펙트럼에 의한 해석, 구성 요소 추출에 의한 해석 등이 있다. 본 논문에서는 이동 로봇이 장애물을 회피하는데 필요한 장애물의 폭을 구하기 위하여 텍스처 해석 방법중에서 가장 간단한 농도 분포에 의한 해석을 사용하였다. 한 화상에서 $S(1, 1), S(2, 1), \dots, S(K, K)$ 은 각각의 소영역을 의미하며, 이 소영역에 대해 형판정합을 하기 위해 사용하는 통계량은 평균값 $M_{i,j}$ 와 분산값 $V_{i,j}$ 를 사용하였다. 소영역의 크기를 결정할때, 너무 작은 영역으로 하면 평균값 및 분산값이 한쪽으로 치우치기 때문에 등질 영역을 통합할 수 없게 된다.

또, 역으로 영역을 너무 크게 하면 영역 분할의 경계 영역에서 정밀도가 떨어지거나 특정량이 평균화되어 특징을 추출하기가 어렵게 된다.

$S(1, 1), S(2, 1), \dots, S(K, K)$ 의 소영역들과 형판들이 정합되는지 평가하기 위하여 평균값 및 분산값이 식 (1)에 나타낸 바와 같이 어떤 값 이내에 존재하면 그 소영역을 통합하여 등질 영역으로 한다. 즉, 소영역과 형판의 값 사이의 차이가 문턱치 이내이면, 두 지역은 정합된다고 간주한다.

$$a_1 < M_{i,j} < a_2, \quad b_1 < V_{i,j} < b_2 \quad (1)$$

4. 장애물과 복도사이의 이치화 및 라벨링(Labeling)

입력된 영상을 분할하여 형판정합을 수행한 후 검출된 장애물은 복도환경과 구별을 하여 이동 로봇이 주행할 공간을 결정하기 위해서, 장애물은 1로 복도에 대해서는 0으로 표현한다. 이러한 이치화된 영상에서 다수의 장애물을 검출하기 위해서 간단한 라벨링(labeling)기법을 각각의 장애물에 대해 적용하였다.

라벨링을 수행한 후 영상에서 3m되는 부분에 대해서 스캐닝을 수행하여 라벨링이 복도의 기준 라벨과 차이가 있으면 시작되는 점과 끝나는 점을 계산하여 장애물 각각에 대한 폭과 이동로봇이 주행할 공간의 폭을 계산하였다.

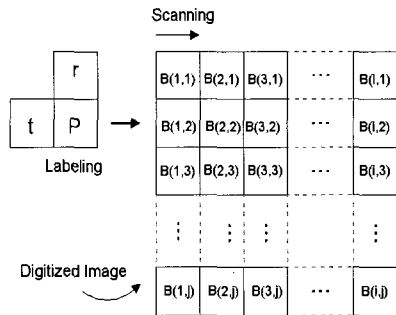


그림 4. 다중 장애물 인식을 위한 라벨링(Labeling)기법

Fig. 4. Method of Labeling for recognition of multiple obstacles

그림 4는 기본적인 라벨링 기법으로 4-연결성을 이치화된 영상의 왼쪽에서 오른쪽으로 그리고 위에서 아래로 수행한다. 이때, p=0이면 다음 위치로 스캐닝을 계속하고, p=1이면 r과 t를 조사한다. r=t=0이면 새로운 라벨링을 시작하고 r=1, t=0 또는 r=0, t=1이면 해당 라벨을 취한다. 또한 r=1, t=1이면 r과 t가 같은 라벨을 취한다. r과 t가 다른 라벨이면 어느한 라벨을 취한다.

그림 5는 위에서 설명한 라벨링기법을 이치화된 영상에 적용한 후에 각각의 독립된 장애물에 라벨링을 수행한 후 두 개의 장애물의 위치와 폭을 계산하는 과정이다. 이러한 계산과정이 끝난 후에 로봇이 이동할 공간을 결정하여 주행할 수 있는 경로계획을 수정할 수 있다.

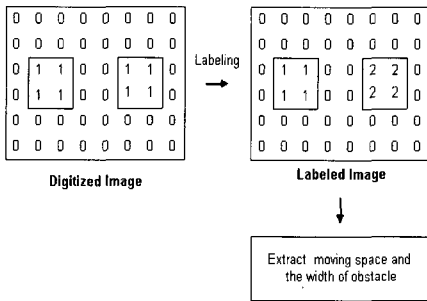


그림 5. 라벨링 방법을 사용한 장애물 검출
 Fig. 5. Obstacle detection using the method of Labeling

III. 장애물 회피를 위한 좌표추출 알고리즘

이동 로봇이 실내의 복도를 주행할 때에 만나게 되는 장애물을 회피하기 위해서는 장애물에 대한 데이터 및 장애물을 회피하기 위한 경로가 필요하다. 이를 위해 제안한 좌표 추출 알고리즘은 다음과 같다.

1. 장애물로 부터의 안전 거리 확보

복도를 주행하는 이동 로봇에 있어서 진행경로의 최단 거리 생성은 벽이나 모서리에서의 안전 거리를 고려해야 벽이나 모서리와 충돌을 피하여 주행할 수 있다. 따라서 생성된 주행 경로는 벽과 모서리로부터 안전거리를 유지하기 위해 최소한 로봇폭의 1/2 이상의 거리를 유지하여야 한다. 또한, 모서리 주위를 회전할 경우 모서리로부터 안전거리 만큼의 원을 따라 이동하면 충돌도 회피하고 최단 거리로의 이동도 가능하다. 본 논문에서 추출하는 이동 로봇의 주행 경로는 이동 로봇의 중심 축의 이동 축, 중심 좌표의 이동으로 나타내었다.

2. 로봇의 폭을 고려한 안전 거리값

이동 로봇이 복도의 특징점(코너)에서 안전하게 주행하기 위해서는 로봇의 폭 및 여유값을 고려하여야 한다. 이동 로봇이 주행경로를 생성하기 위해서는 주행에 필요한 좌표를 추출하여야 한다. 그림 6은 장애

물의 특징점을 이용하여 장애물을 회피하고 최단 경로로 이동하기 위한 좌표 추출 과정을 보여준다. 로봇 폭의 1/2을 Rh이라 하고 여기에 여유값으로 약 20cm를 더한 값을 $R(= Rh + 20cm)$ 이라 하자.

출발점 S_0 에서 수직 위치에 있는 장애물면의 W_t 를 이은 직선이 이동 로봇의 주행 방향이다. 그러나, 이대로 주행을 하게 되면 감지된 장애물과 충돌이 일어나므로 장애물을 회피하여 주행해야 한다. 이동 로봇이 충돌하지 않고 최단 경로로 주행하기 위해서는 모서리점 E에서 회전을 하여 주행을 해야 한다.

그림 4에서 장애물을 회피하여 주행하기 위한 최단 거리는 출발점에서 E를 중심으로 R만큼의 반지름을 두고 안전원에 외접하는 점 T_s 까지의 직선과 T_s 와 S_s 를 연결하는 곡선상에서 회전한 후 다시 정면을 따라 주행하는 경로이다. 따라서, 이동 로봇이 안전하게 최단 거리로 이동하기 위해서는 T_s 와 S_s 의 좌표값과 T_s 와 S_s 가 이루는 각 α 를 구해야 하는데, 이를 구하는 과정은 다음과 같다.

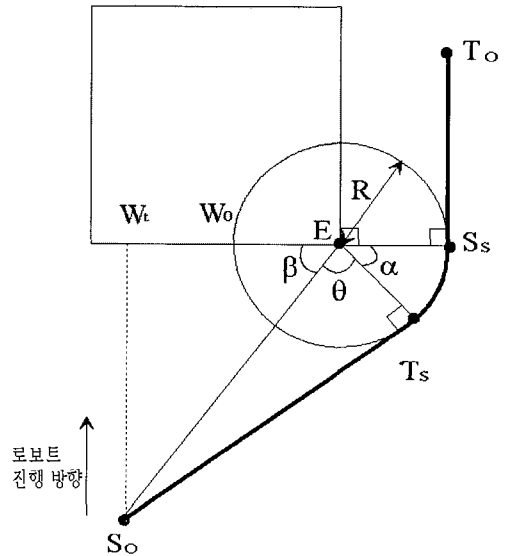


그림 6. 장애물 회피를 위한 좌표추출 알고리즘
 Fig. 6. Coordinate extraction algorithm for obstacle avoidance

먼저, 출발점 S_0 (로봇의 현재 위치 좌표)을 기준으로 하여 장애물의 모서리 E 가 검출 된다. 감지된 모서리 E 는 물체와 장애물과의 거리는 초음파에 의해 구해지며 이를 기반으로 영상에 의해 그 좌표가 구해진다. 이동 로봇이 감지한 장애물의 모서리를 중심으로 안전거리 R 만큼의 반지름을 가지는 안전원을 그린다. 그러면, 안전원의 중심 E 와 출발점 S_0 를 연결하는 선분, 안전원의 중심 E 와 원의 외접점 T_S 를 연결하는 선분(원의 반경, R), 원의 외접점 T_S 와 출발점 S_0 를 연결하는 선분이 직각 삼각형을 이룬다. 또한 출발점 S_0 , 출발점에서 장애물과의 법선상의 점 W_t , 장애물의 모서리점 E 도 직각 삼각형을 이룬다. 구하고자 하는 T_S 점의 좌표 (x_{T_s}, y_{T_s}) 는 식 (2)를 사용하여 안전원이 장애물면에 접하는 점 W_0 의 좌표 (x_{W_0}, y_{W_0}) 를 회전 변환시키면 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_{T_s} \\ y_{T_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta + \beta) & -\sin(\theta + \beta) \\ \sin(\theta + \beta) & \cos(\theta + \beta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{W_0} \\ y_{W_0} \end{pmatrix} \quad (2)$$

장애물면의 점 W_0 를 회전 변환하기 위해서는 회전을 위한 각을 알아야 한다. 회전을 위한 각은 $\beta + \theta$ 의 두가지 성분으로 되어 있다. 세 점 E, W_t, S_0 가 직각 삼각형을 이루므로 $\overline{EW_t}$ 선분과 $\overline{W_tS_0}$ 선분이 이루는 각 β 는 다음식 (3)을 사용하여 구할 수 있다.

$$\beta = \arctan\left(\frac{\overline{W_tS_0}}{\overline{EW_t}}\right) \quad (3)$$

안전원에서 로봇의 방향이 외접하는 점의 각도를 알기 위해서는 각 β 뿐만 아니라 각 θ 도 알아야 한다.

세 점 E, T_S, S_0 이 직각 삼각형을 이루므로 $\overline{ET_S}$ 선분과 $\overline{ES_0}$ 선분이 이루는 각 θ 는 다음식 (4)와 같이 구할 수 있는데 여기서 $\overline{ET_S} = R$ 이다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{R}{\overline{ES_0}}\right) \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 사용된 직선 성분들의 좌표값은 다음과 같이 구한다. 모서리 점 E 의 좌표를 (x_E, y_E) 라 할 때, 회전 변환을 위해 필요한 안전원과 장애물면이 만나는 점 W_0 의 좌표는 장애물의 모서리 좌표와 안전원의 반지름 값의 차로 구한다.

$$\overline{EW_0} = |x_E - R| \quad (5)$$

출발점 S_0 의 좌표를 (x_{S_0}, y_{S_0}) 라 할 때, 출발점에서 벽면으로 수직으로 내린 법선이 만나는 점 W_t 의 좌표는 현재의 로봇의 위치에서 감지된 장애물까지의 거리의 합으로 구한다.

$$\overline{EW_t} = |y_E + y_{S_0}| \quad (6)$$

안전원의 중심과 출발점을 잇는 선분의 길이는 좌표상에서 유클리드거리를 이용해 구한다.

$$\overline{ES_0} = \sqrt{(x_E - x_{S_0})^2 + (y_E - y_{S_0})^2} \quad (7)$$

한편 최단 경로로 이동하기 위해서는 이동 로봇이 모서리에서 회전하는데에 필요한 회전각을 알아야 한다. 즉 S_S 와 T_S 사이의 각도 α 를 알아야 한다. 모서리점 E 에서 S_S 와 T_S 두 점을 따라 회전을 하기 위해 필요한 각도 α 는 다음과 같다.

$$\alpha = 180^\circ - \beta - \theta \quad (8)$$

이상과 같은 방법으로 출발점(로봇이 장애물을 만난 위치에서의 현재 좌표)과 장애물의 모서리점의 좌표값을 사용하여, 이동로봇이 장애물을 피하여 최단 경로로 안전하게 이동하는데에 필요한 좌표값과 그에 필요한 조향 각도를 구할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

본 실험에서는 카메라에서 얻어진 정보를 사용하여 장애물을 회피하고 최단 경로로 이동하기 위한 기본 단계로 룩업 테이블의 작성에 대해 실험을 하였다. 룩업 테이블은 화상의 해석 과정에서 장애물의 폭을 측정하거나 장애물과의 거리를 정확하게 구하는데에 사용된다. 실험에 사용한 카메라는 Pulnix 545로 초점거리 12.5mm, 최대 구경비 1:1.4, C 마운트 이다.

카메라는 이동 로봇의 전방부 상단에 설치하였고, 이동 로봇의 전방 2m에서 4m범위에 있는 관점내에서 실시간으로 장애물을 감지한다. 장애물 발견은 텍스처 해석을 통한 형판 정합을 이용하였다. 형판 정합을 한 후에 장애물을 보다 효율적으로 검출하기 위해서 초음파 센서로부터 검출된 장애물과의 거리와 위치 정보를 이용하면 처리하여야 하는 화상부분을 대략적으로 계산할 수 있어 화상 전체를 처리하지 않아도 되는 장점을 가지게 된다.

1. 룩업 테이블 작성

화면에 나타나는 장애물의 폭을 실제 거리로 환산하려면 거리에 따른 화소간의 크기(길이)를 알아야 한다. 이를 위해 거리에 따른 표준패턴을 만들고 이에 대한 화소간의 거리를 구하여 룩업 테이블(look-up table)을 작성하였다. 표준 패턴은 크기가 50 × 50 cm 인 장애물을 선정하여 화상처리를 수행하는 구간, 즉 장애물과의 거리가 2~4 m인 구간에 대해 10cm 간격으로 표준화상을 만든 후, 나머지 거리에 대해서는 선형 보간법을 사용하여 한 화소의 거리를 룩업 테이블로 만들어 저장하였다. 거리에 따른 화소간의 길이를

그림 7에 나타내었다.

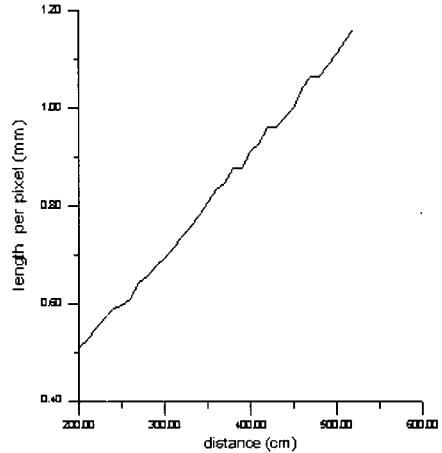


그림 7. 참조 테이블의 내용
Fig. 7. Contents of look-up table

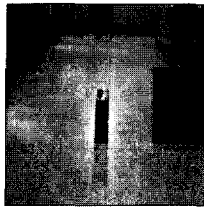
여기서 X축은 카메라와 장애물과의 거리이고 Y축은 화면상에서의 한 화소의 크기이다.

이 기준거리에 대한 화소간의 거리를 이용하면 장애물의 폭 및 이동 로봇에서 복도상에 있는 장애물까지의 거리를 구할 수 있으며, 장애물의 양 끝점과 왼쪽 또는 오른쪽 벽면과의 거리도 각각 구할 수 있다.

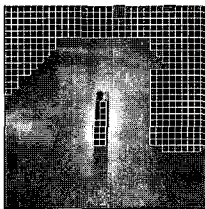
2 입력 화상 처리

장애물의 인식을 위해 본 실험에서 사용한 화상은 그림 8과 같다. 입력 화상은 256×256의 크기이며 256 단계의 그레이 레벨을 가지고 있다. 이와같은 원 화상으로부터 장애물의 유무를 판단하여 장애물의 폭을 검출하는 과정은 앞에서 설명한 바와 같이 블러분할, 텍스처 해석을 통한 형판정합, 장애물의 검출, 장애물의 폭 검출 과정을 거친다.

실제 주행에서는 처리시간의 단축을 위하여 장애물의 상단부는 처리하지 않고 주행중에 먼저 접하게 되는 화상의 하단부만을 처리하였다.



(a)



(b)

그림 8. 2개의 장애물이 있을 때의 입력영상(a)과
형판정합 후 영상(b)

Fig. 8. Input image with two obstacle(a) and
matched image(b)

3. 장애물 검출

화상에서 나타나는 장애물을 검출하기 위하여 장애물의 형태는 원통형이거나 사각형으로 화면상에서 수직에지가 나타나며 복도의 바닥면과 대비되는 색깔을 가진다는 전제조건하에서 화상을 처리하였다.

첫번째로 장애물의 양 끝점을 검출하기 위하여 화상의 좌측 하단에서 수평방향으로 검색을 시작하여 정해 놓은 개수 이상의 연속적인 블록이 존재하면 장애물이 존재한다고 간주하였다. 이때 검출된 위치는 로봇 측에서 바라본 장애물의 수직 거리이다. 동일한 과정을 우측 하단을 중심으로 전개하면 장애물의 또 다른 특징점을 구할 수 있다. 좌우측에서 검출된 특징점 사이의 거리가 장애물의 폭이다. 또한 이 특징점을 사용하여 좌측, 우측의 비어있는 공간에 대한 폭도 구할 수 있다. 상기 과정을 수행한 결과를 그림 9에 나타내었다.

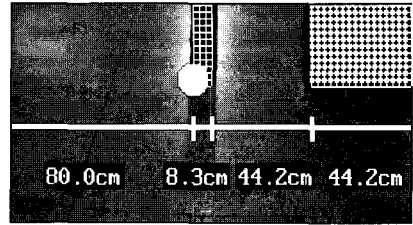


그림 9. 이치화와 라벨링처리 후의 결과영상

Fig. 9. Result image after Labeling and Digitizing

4. 장애물 폭의 검출

검출된 장애물의 폭은 화상에서의 화소의 수로 표현되므로 이를 실제 거리로 환산하기 위해서 미리 작성한 표준 패턴을 이용하여 작성된 룩업 테이블을 참조하여야 한다. 룩업 테이블의 내용은 실제 거리에 대한 두 인접 화소의 거리이므로 이를 참조하기 위해서는 실제 장애물과의 직선 거리를 구하면 된다. 장애물과의 직선 거리를 구하기 위하여 초음파 센서로부터 검지된 데이터를 이용하였다. 위의 검출 결과를 보면 화상은 전체 복도의 폭이 검출되지 않아 실제 벽면과의 거리를 화상정보를 통해 구하는 것은 불가능하다.

위의 예에서 입력된 화상은 카메라로부터 3m 떨어진 거리였다. 3m에 대한 화소의 크기는 룩업 테이블에서 찾고(0.694 mm) 화상처리를 통해 검출된 장애물의 폭에 해당하는 화소수는 12 및 64 이다. 그림 9에서 보여지듯이 계산에 의해 구한 장애물의 폭은 8.3cm 및 44.2cm이며 장애물간의 공간 거리는 44.2cm 이고 좌측의 영상내의 거리는 80.0cm 이다.

5. 장애물 회피 및 좌표추출

장애물에 대한 폭을 측정한 후, 장애물과 양쪽 벽면과의 거리가 크게 나오는 쪽의 개방된 공간(그림 9에서 좌측 공간)을 찾아 앞에서 설명한 장애물 회피 및 최단경로 생성 알고리즘을 적용하면 최단 경로로 장애물을 회피하여 주행 할 수 있다.

로봇의 출발점 S_0 의 좌표를 (128, 0)라 할 때, 장

에물까지의 수직점 W_t 의 좌표는 (128, 80)이고 화상의 해석과정에서 구한 장애물의 좌측 특징점 E의 좌표는 (116, 80) 이다. 록업 테이블로부터 3m의 거리에서 화소당 실제 거리가 0.694cm 이므로 로봇의 회전에 대한 여유폭이 $R=20\text{cm}$ 일 때 그에 해당하는 화소수는 29이다. 그러므로 S_S 점의 좌표는 (87, 80)이다. 전술한 좌표 추출 알고리즘을 사용하여 구한 각각의 값은 다음과 같으며 로봇이 장애물을 회피하여 주행하는데 필요한 T_S 점의 좌표가 (90, 65)임을 알 수 있다.

$$\beta = \tan^{-1} \frac{W_t S_o}{E W_t} = \tan^{-1} \left(\frac{80}{|116 - 128|} \right) = 81.47^\circ$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{E T_s}{E S_o} = \cos^{-1} \left(\frac{R}{\sqrt{(E W_t)^2 + (W_t S_o)^2}} \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{29}{80.89} \right) = 68.99^\circ$$

$$\alpha = 180 - \beta - \theta = 29.54^\circ$$

3m앞에 장애물이 있는 입력 화상에서 로봇상의 카메라 설치위치 때문에 유효하지 않은 영역이 존재한다. 이를 2m의 거리라고 하면 로봇의 1m 앞에 장애물이 존재한다고 볼 수 있다. 복도의 폭이 320cm 일 때 초음파 센서에 의해 측정된 거리는 로봇의 중심과 좌측벽과의 거리가 160cm 이고 우측벽과의 거리는 160cm 이다.

로봇이 출발점에 있을 때 즉, 화면상의 좌표가 (128, 0)일 때 좌표추출 알고리즘에서 구한 T_S 점의 좌표는 (90, 65)이다. 그러므로 로봇이 화면상에서 장애물을 회피하기 위해서는 좌표점(128, 0)에서 (90, 65)인 점으로 이동하면 된다.

실제의 주행에서 로봇이 유효하지 않은 영역까지 직선으로 주행한다면 로봇의 위치에서 장애물까지의

수직거리가 1m 이다. 이때 W_t 점의 y좌표는 80 이므로 T_S 점의 y좌표에 해당하는 거리는 65cm 이다. 록업 테이블에서 2.8m일 때의 화소간 거리가 0.67cm이므로 좌측 벽면에서 T_S 점까지의 실제거리는 134.54cm 이다. 그러므로 실제의 주행에서, 좌측으로 25.46cm, 수직 방향으로 65cm를 이동하면 장애물과 충돌하지 않고 주행할 수 있음을 알 수 있다.

6. 기타 장애물에 대한 실험

카메라로부터 장애물과의 거리에 따른 오차를 분석하기 위하여 다음과 같이 4가지 형태의 장애물에 대해 실험을 수행하였다.

- [1] 처음 실험에서 사용한 폭과 높이가 각각 50cm 인 정사각형의 장애물
- [2] 폭이 23.5cm 이고 높이가 50cm 인 직사각형의 장애물
- [3] 직경이 33cm 이고 높이가 70cm인 원통형 장애물
- [4] 직경이 14.5cm 이고 높이가 55cm인 원통형 장애물

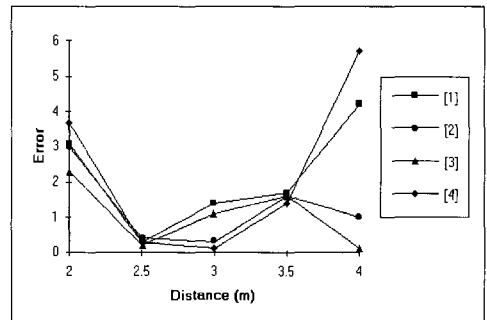


그림 10. 장애물과의 거리 대 오차
Fig. 10. Distances v.s. errors of the obstacle

그림 10의 실험 결과를 살펴보면 4가지 형태의 장애물에 대해 2.5~3.5m 전방의 장애물에서 폭에 대한 오차는 2cm 이내로 나타나고, 3.5m 이상에서는 2.5~3.5m 경우보다 오차가 크게 나타남을 알 수 있다. 이

결과는 거리가 멀어질수록 물체의 크기가 전체 화상에 비해 작기 때문에 발생한다고 해석된다. 그러므로 물체의 크기 검출을 위하여 화상 처리해야 하는 장애물과 카메라 사이의 거리는 2.5~3.5m 임을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇이 실내를 주행할 수 있도록 CCD카메라를 이용한 컴퓨터 비전 기술을 사용하여 복도 화상을 획득하고, 복도 화상을 해석하여 장애물의 폭을 측정하고 이동 로봇이 주행중에 만나게 되는 장애물을 회피하여 최단 경로로 안전하게 이동하는 알고리즘 개발에 목적이 있다. 실험을 통하여 얻은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 이동 로봇의 주행을 위해 초음파 센서만을 사용할 경우 초음파 센서의 고유특성으로 인해 장애물의 에지에서 오차를 내포하는 단점과 하나의 CCD 카메라를 사용할 경우 장애물과의 거리를 구하기 어려운 단점을 보완한 시스템을 구현하여 보다 정확한 장애물의 폭을 검출할 수 있었다.

2. 초음파 센서와 CCD 카메라를 결합하여 사용함으로써 경로상에 장애물이 전후로 존재하는 경우에 어떤 장애물이 먼저 처리되어야 하는지를 알 수 있으며, 장애물의 폭을 측정된 결과 3m 앞의 장애물에 대해 평균 2cm 이내의 오차를 나타내었다.

3. 이동 로봇의 장애물 회피기능은 매우 중요하다. 이 기능을 구현하기 위하여 장애물과의 거리는 초음파 센서를 이용하여 구하고, 장애물의 폭은 CCD 카메라에 의한 화상정보를 이용하여 구한 다음, 장애물 상의 특징점을 이용하여 장애물을 회피하는 기법을 개발하였다.

4. 이동 로봇의 주행은 최단 경로의 주행일수록 여러 가지 면에서 유리하다. 주행중 만나게되는 장애물을 회피하여 최단 경로로 이동하기 위하여 장애물의 특징점을 구하여 이 점까지 이동하기 위한 경로점을 추출할

수 있었으며, 특징점에서 안전을 고려한 회전을 하기위해 회전각을 검출하여 이용함으로써 장애물을 피하여 목표점까지 주행하기 위한 최단경로를 구할 수 있었다.

이상의 실험 결과로 볼 때 본 논문에서 제안한 방법이 이동 로봇의 주행에 필요한 장애물 회피 알고리즘임을 확인하였으며, 앞으로 알고리즘을 보완 개선하여 적용하면 여러분야에서 효율적인 기능을 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Roman Kuc and Victor Brian Viard, "A Physically Based Strategy for Sonar-Guided Vehicles," The Int. Jour. of Robotics Research, Vol. 10, No. 2, April 1991.
- [2] Roman Kuc, "A Spatical Sampling Criterion for Sonar Obstacle Detection," IEEE Trans. PAMI, Vol. 12, No. 7, pp.686-690, 1990.
- [3] Johann Borenstein, Yorem Korem, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", IEEE Trans. on System, Man, and Cybenetics, Vol.19, No.5, pp.1179-1187, 1989
- [4] Johann Borenstein, Yorem Korem, "The Vector Field Histogram- Fast Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, pp.278-288, 1991
- [5] 박문수, 신재호, 이응혁, 김병수, 홍승홍, "초음파 센서를 이용한 이동로봇의 계단 승월기법에 관한 연구", 전자공학회 하계종합학술대회 논문집, pp.1186-1190, 1995
- [6] 최인구, 김병수, 이응혁, 장원석, 홍승홍, "지체부자유자를 위한 전동휠체어의 벽면추종기법", '93대한전자공학회 하계종합학술대회논문집, pp356-359, 1993.6
- [7] 최인구, 이응혁, 한영환, 장영건, 홍승홍, "전동휠체어의 벽면추종 기법에 관한 연구", 의공학회지 제 15권 2호, pp209-215, 1994.6
- [8] Leonard J.J, Durrant-Whyte.H.F, "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation", Kluwer Academic Publishers,1992

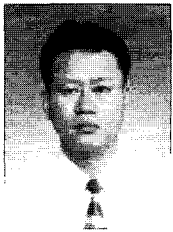
[9] J. Borenstein, Y. Koren, "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robot", IEEE Trans. on System, Man, And Cybernetics, Vol.19, No.5, pp 1179-1187 SEP/OCT., 1989.

[10] Toshifumi Tsukiyama, Tomas S. Huang, "Motion Stereo for Navigation of Autonomous Vehicles in Man-made Environments", Pattern recognition, Vol.20, No.1, pp.105-113, 1987

[11] I. Horswill, "Visual Collision Avoidance by Segmentation", Intelligent Robots and System IROS'94, pp.902-909, 1994

[12] K.T. Song, W.H. Tang, "Environment Perception for a Mobile Robot Using Double Ultrasonic Sensors and A CCD Camera", IEEE Trans. on Industrial Electronics Vol.43, No.3, 372-379, 1996

저 자 소 개



權 五 常 (學生會員)

1967年 10月 17일생. 1990年 2月 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992年 2月 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 1月 - 1996년 2월 대우중공업 중앙연구소 주임연구원. 1995年

3月-현재 인하대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주 관심 분야는 재활로보틱스, 컴퓨터비전



韓 永 煥 (正會員)

1965年 5月 20일생. 1989年 2月 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991年 2月 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995年 8月 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1996年

3月-현재 상지대학교 전산학과 조교수. 주 관심 분야는 의용영상처리, 컴퓨터비전



李 應 赫 (正會員)

1962年 11月 25일생. 1985年 2月 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987年 2月 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997年 2月 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987年 1

月 - 1987년 10월 (주)한국컴퓨터 연구원. 1987年 10月 - 1992년 4월 대우중공업 중앙연구소 주임연구원. 1995年 3月-현재 건양대학교 컴퓨터공학과 조교수. 주 관심 분야는 재활공학, 로보틱스



洪 勝 弘 (正會員)

1941年 10月 2일생. 1960.4~1963.12 인하 공과대학 전자공학(공학사). 1964~1966.2 인하 공과대학 대학원 정보공학(공학석사). 1973.4~1975.10 日本東京大學大學院 의용전자공학(공학박사). 1969.

3~1978.2 광운대학교 전자공학과 전강,조교수,부교수. 1978.3~현 인하대학교 전자공학과 교수. 주 관심 분야는 의용영상처리, 재활공학, 생체신호처리