

이동형 로봇 주행에 위한 장애물 검출에 관한 연구

윤 지 호 ; 우 동 민
 명지대 전기공학과 명지대 제어계측공학과

A Study on Obstacle Detection for Mobile Robot Navigation

JiHo Yun and DongMin Woo
 Dept. of Electrical Engineering Myong Ji Univ
 Dept. of Control and Instrumentation Engineering Myong Ji Univ

Abstracts

The safe navigation of a mobile robot requires the recognition of the environment in terms of vision processing. To be guided in the given path, the robot should acquire the information about where the wall and corridor are located. Also, unexpected obstacles should be detected as rapid as possible for the safe obstacle avoidance. In this paper, we assume that the mobile robot should be navigated in the flat surface. In terms of this assumption we simplify the correspondence problem by transforming features of two images into the coordinate system of the free navigation surface and matching features in that coordinate system. Basically, the vision processing system adopts line segment of edge as the feature. The extracted line segments of edge out of both images are matched in the free navigation surface. According to the matching result, each line segment is labeled by the attributes regarding obstacle and free surface and the 3D shape of obstacle is interpreted. This proposed vision processing method is verified in terms of various simulations and experimentations using real images.

I. 서론

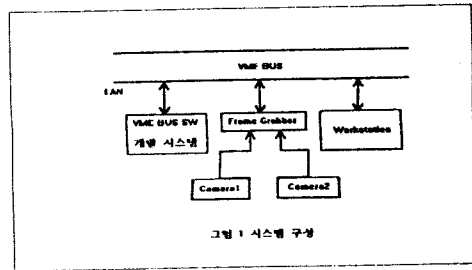
AGVS(Automatic Guided Vehicle System)은 공장이나 사무실의 자재나 문서의 전달을 위한 이동형 로봇(mobile robot)로서 현재 까지 실용화된 시스템들은 대부분 바닥면에 부착된 도선이나 반사 테이프(tape)에 의해 유도된다. 그러나 이러한 방식은 예기치 않은 장애물(unexpected obstacle)을 피할 수 없으며 복도나 벽의 주변 환경을 인식하지 못한다. 예기치 않은 장애물뿐만 아니라 복도나 벽면과 같은 주변환경을 인식할 수 있는 시각처리 방법은 주행 환경의 3차원 형상을 인식하여야 한다. 3차원 형상을 인식하는 방법에는 단안시법과 복안시법(스테레오 비전(stereo vision))이 있다. 일반적인 스테레오 시스템은 카메라의 공간적 모호 설정 및 영상 취득, 특징 추출, 영상 정합, 깊이 결정, 깊이 정보의 보간 순으로 이루어진다 [9]. 이러한 단계중에서 중요한 단계는 영상 정합 과정으로 좌우 영상에서 얻은 두점이 3 차원 공간상에 존재하는 같은 점을 밝혀 내는 것이다. 이러한 문제를 일치성 문제(correspondence problem)라고 하며 이 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔으나 스테레오 비전의 가장 큰 난관이 되고 있다. 이동형로봇이 바닥이 평평한 실내에서 주행한다는 가정하에서 일치성 문제를 단순화한 stereo vision 방법에 의해 3차원 장애물을 인식하는 시각인식 시스템이 구성될 수 있다. Strojohann[1]은 이러한 방법에 의해 일치성 문제를 해결한 stereo vision system을 구성하였는데 2개의 카메라에 의해 취득된 영상들을 이동 로봇이 주행하는 평면으로 변환하고, 변환된 영상들의 차영상을 구하여 변환된 영상들을 비교하였으며, 차영상의 값이 0이 아닌 부분은 주행평면 상에 있지 않으므로 장애물영역으로 판정하였다. 이러한 방법은 바닥면의 복잡한 무늬에 상관없이 신속히 장애물을 발견할 수 있는 잇점이 있으나 카메라 보정의 오차 및 이동형 로봇의 진동에 민감하며 장애물에 의해 가려진 부분이 장애물이 있는 부분으로 결정되는 문제가 발생된다. 따라서 본 논문

에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 좌우 영상으로부터 적선 edge를 구하여 이를 주행 평면 상을 통해 비교하는 이동형 로봇을 위한 시각처리 시스템에 대해 연구하였다. 본 논문에서 공장이나 사무실에서 자재나 문서의 전달을 위한 AGVS(Automatic Guided Vehicle System)의 안전한 주행을 위한 장애물 인식용 시각처리 시스템에 대해 연구하기 위해 설정한 가정은 다음과 같다.

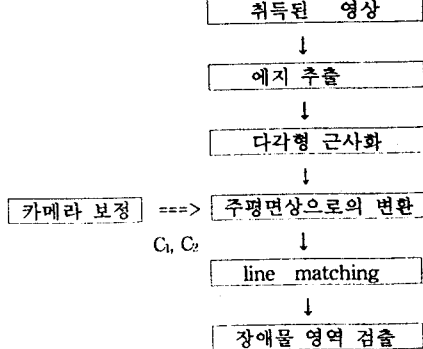
- 이동형 로봇은 바닥이 평평한 실내에서 주행한다.
- 장애물은 벽면과 같은 미리 주어진 장애물과 예기치 않은 장애물(unexpected obstacle) 있으며 이동형 로봇의 안전한 주행을 위해 두가지 장애물이 모두 인식되어야 한다.
- 장애물 인식을 위해 특별한 조명을 사용함이 없이 일반적인 실내조명 및 자연광만을 사용한다.

II. 시스템 구성 및 시각 처리 과정

1) 시스템 구성



2) 시각 처리 과정



III. 시각 처리 과정

edge detection

이미지상에 존재하는 서로 다른 gray level를 가진 region의

boundary를 edge라고 한다. 이러한 edge 성분들은 이미지의 식별이나 분석에 있어서 중요한 역할을 한다. 실제로 문자의 인식과 같은 분야에서는 이러한 edge들만의 성분으로도 필요한 모든 정보를 얻을 수 있다. 본 논문에서 사용된 edge detector는 3가지의 규범(criteria)을 만족하는 것으로 한다.

- ① good detector : edge를 발견하는데 있어서 예러가 적어야 한다.
- ② good localization : edge의 위치가 정확해야 한다.
- ③ one response to one edge : 하나의 edge에 대해서 중복된 선들이 나오지 않아야 한다.

본 논문에서 제시한 이러한 규범들을 만족하는 edge detection 과정은 다음과 같다. 만약 G 를 2D 가우시안 함수, I 를 이미지라고 할때 각 픽셀들의 방향벡터(normal to the edge) \vec{n} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\vec{n} = \frac{\nabla(G*I)}{|\nabla(G*I)|} \dots (1)$$

(1)에서 계산한 방향벡터를 이용하여 미분을 계산하고 크기를 구한다.

$$\frac{d}{dn}(G*I) = \left(-\frac{d}{dn}G\right)*I = \nabla G_n * I \dots (2)$$

$$|\nabla(G_n * I)| \dots (3)$$

식 (3)에 의해 이미지의 모든 픽셀들에 대해 크기를 구한 다음 각 픽셀이 가지고 있는 방향벡터와 이웃(neighborhood)들과의 관계를 이용해 극대값(local maxima)의 위치를 찾는다.

edge-following algorithm

이미지에서 edge들의 위치를 찾고나면 이러한 edge들의 위치로부터 물체를 인식하기 위해서 물체의 특징을 이루는 직선이나 곡선과 같은 필요한 정보들을 추출해야 한다. 만약 이웃한 두 점이 동인 곡선이나 직선상에 존재한다면 두 점은 곡선이나 직선에 존재하는 점들이 가지고 있는 edge의 크기와 edge의 방향 벡터와 같은 성질을 가지게 된다.

만약, $e(\vec{p}) = e(x, y)$, $\phi(\vec{p}) = \phi(x, y)$ 를 각각 $\vec{p} = (x, y)$ 에서 edge detector에 의해서 edge로 간주된 edge의 크기와 방향 벡터라 한다면, $|e(x_1) - e(x_2)|$ 와 $|\phi(x_1) - \phi(x_2)|$ 의 값을 이웃한 두 edge가 동일 곡선상에 존재하는지 존재하지 않는지를 판단하는 수단(estimator)으로 사용될 수 있다.

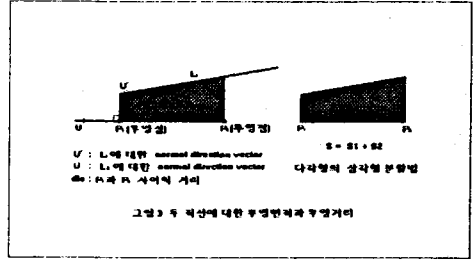
line approximation

edge-following algorithm에 의해 반환되는 값은 8-connected neighborhood에 의해 서로 연결된 곡선상에 존재하는 점들에 대한 sequence of pointer이다. 본 논문의 최종 목적인 장애물의 영역을 검출하기 위해 좌우 영상에 의해 검출된 라인의 matching이 필요하다. 이러한 matching 문제를 단순화하기 위해 이러한 sequence들 직선으로 근사화할 필요가 있다. sequence를 직선으로 근사화하는 방법은 비교적 단순하다. 곡선을 이루는 좌표들의 sequence를 $S = \langle (r_1, c_1), (r_2, c_2), \dots, (r_N, c_N) \rangle$ 라고 할때 먼저 S의 성분중에서 첫부분(r_1, c_1)과 끝부분(r_N, c_N)에 해당되는 두 점을 연결하는 직선의 방정식을 구한다. 이 직선과 나머지 성분들과의 거리를 구한다. 이 중에서 가장 큰 값을 구하고 이 값이 최대허용 오차보다 크면 그 점을 기준으로 다시 두 개의 subsequence로 나누어진다. 이러한 과정은 다시 두 개의 subsequence에 대해서 되풀이 된다.

line matching

Line matching과정은 시각처리 과정중 핵심적인 부분으로서 좌우 영상으로부터 검출된 직선 edge들이 일치되는가 비교되는 부분이다. Line matching 알고리즘은 다음사항에 적합하게 구성 되어야 한다.

- 카메라보정 등에서 기인되는 약간의 오차에도 무관하게 두 직선 edge들이 matching될 수 있어야 한다.
- 직선 edge 들이 전체적으로 일치하는 지를 판별할 뿐 아니라, 한 직선 edge 가 다른 직선 edge에 부분적으로 일치하는 지도 판별할 수 있어야 한다.



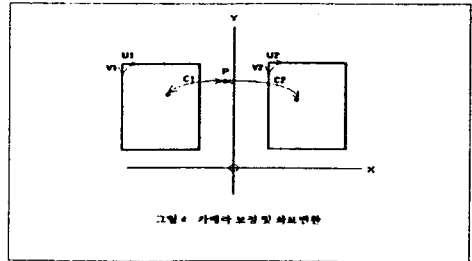
상기 요건을 만족하는 line matching을 위해 사용되는 cost function은 그림 3에서와 같이 한 line이 다른 line에 projection하여 나온 면적(S)과 거리(dis)에 관한 함수로 구성된다. 면적 S는 그림 3에서와 같이 삼각형 분할법으로 구할 수 있다. 따라서 이들 값을 적절히 threshold하면된다. threshold(T)값은 다음과 같이 구해진다. 만약 실제좌표에서의 하나의 직선이 변환좌표상에서 두 개의 직선으로 표현된다면 이들 선간에 생기는 disparity는 카메라 보정에 의한 결과이다. 만약 e_L, e_R 를 각각 카메라 보정시 발생하는 좌우 카메라의 오차라고 한다면 T값은 이들로부터 계산되어질 수 있다.

$$T = k * \frac{e_L + e_R}{2}$$

k: 허용오차의 정도를 결정하는 상수

카메라 보정 및 좌표변환

본 논문에서 선정한 가정을 만족하는 시각인식 시스템은 일반적인 조명하에서 장애물 및 주행 환경에 대한 3차원 형태를 인식하여야 한다. 이를 위해 2개의 카메라를 이용한 stereo vision 방법이 적용될 수 있으나 일반적인 stereo vision 방법은 2개의 카메라에 나타난 영상에서 얻은 2점이 3차원 공간상에 존재하는 같은 점임을 밝히려는 correspondence problem을 해결하는 데 문제가 있고 또한 이 계산에서 많은 연산량으로 인해 이동형 로봇에 필요한 실시간 처리를 하기 어렵다. 이동형 로봇트가 바닥이 평평한 실내에서 주행한다는 가정 하에서 correspondence problem을 단순화한 stereo vision 방법에 의해 3차원 장애물을 인식하는 시각인식 시스템이 구성될 수 있다. 그림 4에서 나타난 바와 같이 이동형 로봇트가 주행하는 평면을 $z=0$ 인 실제계 좌표 평면(x, y)로 설정하고 좌우 영상 좌표를 (u_1, v_1) , (u_2, v_2) 라 하자. 좌우 영상 좌표의 모든 점들이 실제계 좌표평면 $z=0$ 로부터 취득된 점이라고 가정하여 카메라 보정(camera calibration)에 의해 변환 C_1, C_2 가 구해질 수 있다. 이때 실제계 평면상의 같은 점 P로 C_1, C_2 에 의해 변환되는 좌우 영상의 점 P_1, P_2 는 실제계 좌표 평면 상($z=0$)의 점일때는 동일한 위치에 대한 영상이나 장애물 상($z \neq 0$)의 점일때 다른 위치에 대한 영상이 나타나나



vanishing point

카메라 보정시 좌우영상좌표의 모든 점들이 좌표평면 $Z=0$ 로부터 취득된 점이라는 가정하에 카메라 보정에 의한 변환을 구하였다. 따라서 실제 $Z=0$ 인 평면상에 존재하는 모든 점들은 disparity를 가지지 않는다. 그러나 $Z \neq 0$ 인 평면상에 존재하는 점들은 Z값에 비례하는 disparity를 가지게 된다. 좌우영상에서 서로 matching되는 부분을 제외하면 $Z \neq 0$ 상에 존재하는 직선들이나 occluding에 의해 서로 가려졌던 $Z=0$ 인 평면상에 존재하는 직선들뿐이다. 장애물상에 존재하는 하나의 직선은 변환좌표상에서 하나의 vanishing point를 가지는 두 직선으로 나타난다. 이러한 성질을 이용해서 장애물의 위치를 검출할 수 있다. 변환좌표상에서 두 직선이 주어졌을 때 vanishing

point를 구하는 과정은 다음과 같다.

만약 \vec{R}, \vec{L} 을 각각 두 직선에 대한 단위 방향 벡터라고 한다면, 두 직선에 대한 vanishing point, \vec{P} , 은 그림 5에서와 같은 두 개의 벡터로 표현할 수 있다. 각각 m 과 n 에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + m\vec{L} = (P_x, P_y) = (X_1 + mL_x, Y_1 + mL_y)$$

$$\vec{P} = \vec{P}_3 + n\vec{R} = (P_x, P_y) = (X_3 + nR_x, Y_3 + nR_y)$$

$$mL_x - nR_x = X_3 - X_1$$

$$mL_y - nR_y = Y_3 - Y_1$$

$$m = \frac{\begin{bmatrix} X_3 - X_1 & -R_x \\ Y_3 - Y_1 & -R_y \end{bmatrix}}{D} \quad n = \frac{\begin{bmatrix} L_x & X_3 - X_1 \\ L_y & Y_3 - Y_1 \end{bmatrix}}{D}$$

$$\text{단 } D = \begin{vmatrix} L_x & -R_x \\ L_y & -R_y \end{vmatrix}$$

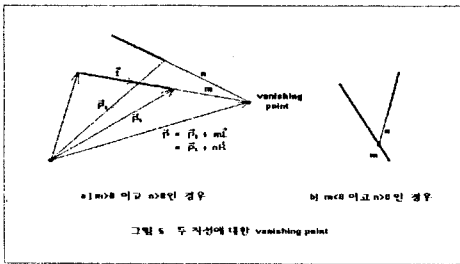


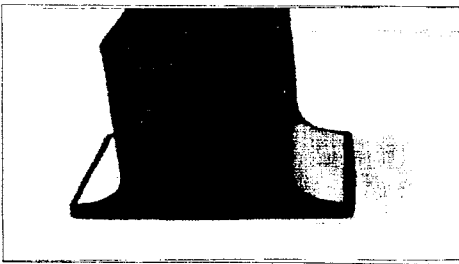
그림 5에서 볼 수 알 수 있듯이 $m > 0$ 이고 $n > 0$ 이 아닌 (b)와 같은 경우 \vec{P} 가 두 직선에 대한 vanishing point가 아님을 알 수 있다. 따라서 $m > 0$ 이고 $n > 0$ 인 조건을 만족하는 모든 \vec{P} 를 구한다.

장애물 영역 진출

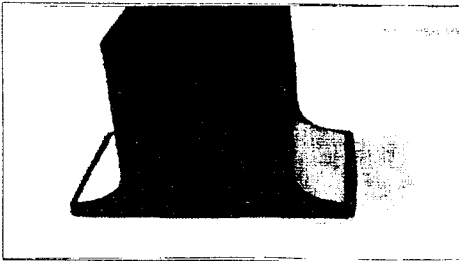
변환 좌표 평면상에 존재하는 모든 직선들에 대한 vanishing point를 구하게 되면 이들의 영역이 바로 장애물 영역이 된다.

IV. 결론

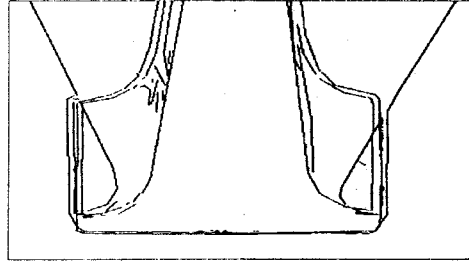
본 논문에서 제안한 이동형 로봇을 위한 시각처리시스템을 수행해 본 결과 좋은 결과를 얻을 수 있었다.



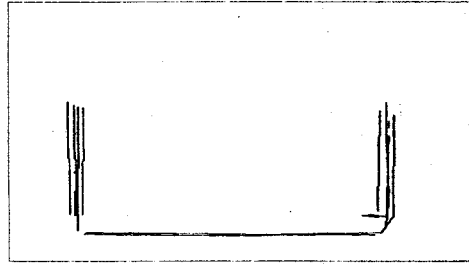
영상1) 원 영상(좌).



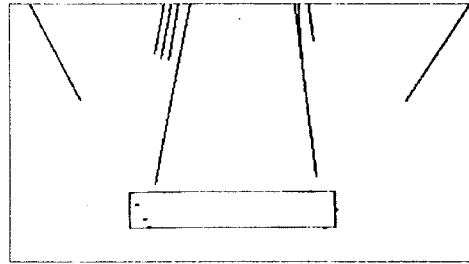
영상2) 원 영상(우).



영상3) edge detection, edge-following 알고리즘 과정을 거친 후 변환식 C_1, C_2 에 의해서 하나의 변환좌표로 변환된 좌우 영상.



영상4) line matching 과정에 의해 matching된 직선들.



영상5) 이미지에 보이는 bubble들은 직선들에 의한 vanishing point들을 나타내고 사각형은 장애물 영역을 나타낸다.

V. 인용문헌

- [1] K. Strojohann, Th. Zielke, H. A. Mallot and W. von Seelen, "Visual obstacle detection for automatically guided vehicles," IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 761 - 766, 1990.
- [2] 우동민, 시각인식을 위한 카메라보정에 관한 연구, 91년도 학술진흥재단 자유공모과제 최종 보고서, 1992.
- [3] 우동민, "렌즈의 왜곡모델을 이용한 카메라 보정에 관한 연구," 전자공학회논문지, 31권 B편 2호, 1994.
- [4] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Trans. PAMI, Vol. 8, 1986, pp. 679-698.
- [5] T. Pavlidis, *Algorithms for Graphics and Image Processing*. Rockville, MD: Computer Science, 1982.
- [6] R. Nevatia, *Machine Perception*, Prentice-Hall, 1982.
- [7] H. Nasr and B. Bhanu, "Landmark recognition system for autonomous mobile robots," IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 1105 - 1111, 1988.
- [8] R. Chatila and J. P. Laumond, "Position referencing and consistent world modeling for mobile robot," IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 231 - 238, 1985.
- [9] Y. Shirai, *Three-Dimensional Computer Vision*. Springer-Verlag: New York, 1987.
- [10] D. Marr and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision," Proc. Royal Soc. London, vol. B204, 1979, pp.301-328.