

## 두 대의 카메라를 장착한 이동 로봇의 주행

°이 병 일\*, 신 유 식\*, 오 상 록\*, 임 준 흥\*\*, 변 증 남\*

\* 한국 과학 기술원, \*\* 한국 항공 대학

## Navigation of a Mobile Robot with Stereo Camera

°B. Rhee\*, Y.S. Shin\*, S.R. Oh\*, J. Lim\*\*, Z. Bien\*

\* KAIST, \*\* Korea Aviation Collage

### Abstract

A simple look and move type navigation algorithm with obstacle avoidance was implemented on a mobile robot equipped with two cameras. The robot gets a difference of two images from each camera and detects the position represented on the horizontal line and width of each obstacle in a certain distance. The obtained informations of obstacles are used to select a next intermediate point and to plan a path to it. Robot motion is simplified to straight line motion and rotation.

### 1. 서 론

최근 이동로봇의 연구는 로봇 스스로 경로를 계획하고 주어진 환경에 적응하여 계획된 경로를 따라 주행하는 자율기능을 구현 하고자 노력하고 있다. 스스로 작동하는 이동로봇은 로봇 스스로 장애물을 인식하고 회피 할 수 있는 기능을 갖추어야 할 필요가 있다. 이동로봇의 장애물 감지장치로는 주로 초음파 감지거나 시각장치가 사용된다[1-5].

초음파 감지기는 응답속도가 빠르고 가격이 싼 반면, 한 점에 대한 거리만을 검출 하므로 환경을 표현하기 위하여는 별도의 장치가 필요하다. 또한, 지향성이 좋지않으므로 보다 정밀한 거리 인식에는 적합하지 않다. 또한 반사 물체의 형태에 따라서 불필요한 반사파나의도하지 않았던 반사파를 형성하여 결과에 심각한 영향을 끼치기도 한다.

한편, 시각장치는 비디오 카메라에 맺힌 영상을 처리하므로써 특정한 점의 위치, 거리, 물체의 형태등을 인식 해 낼 수 있으므로, 물체의 3차원 인식이 가능하다. 여러 연구에서 스테레오 시각장치가 사용되고 있는데[3-5],

이들은 특징점들에대한 스테레오 매칭을 근간으로 하거나 옵티컬 플로우(optical flow)를 이용하고 있다. Moravec[3]은 이를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피를 look-and-move방식으로 구현 하였다.

그러나 3차원 물체 인식을 위한 시각장치들은 방대한 양의 정보를 처리하는 시간때문에 로봇의 센서로 사용하기 위해서는 가급적 간단한 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 두 카메라로부터 얻어지는 영상(image)의 차(difference)를 이용하여 장애물의 폭과 위치를 구할 수 있는 알고리즘을 구현하고 look-and-move방식의 이동 로봇 주행기능을 구현하였다.

스테레오 비전 알고리즘은 2장에서 언급하고, 3장에서는 실제 이동로봇에의 적용을 위한 시스템 구성과 이동 로봇 그리고 이들을 이용한 장애물 회피 실험결과를 보였고, 4장에서 연구에 대한 결론을 맺었다.

### 2. 스테레오 비전 알고리즘

보행 로봇 또는 이동 로봇들의 눈으로서의 역할을 수행하기 위한 스테레오 비전 알고리즘들은 가급적 빠른 계산시간(processing time)을 요한다. 그러나 영상 정보의 양들은 매우 막대하고 이들을 처리하는 계산 또한 복잡하여 다각 보행 로봇의 실시간 시각 센서로서 적당하지 않은 경우가 많다. 본 논문에서는 간단하고 빠른 스테레오 비전 알고리즘을 이용하였다.

카메라 좌표계 : 스테레오 비전 시스템의 시각정보 검출장치인 카메라의 좌표계는 다음과 같다. 두대의 카메라는 그림1과 같이 두 렌즈 중심 사이의 거리가  $2b$  만큼 떨어져 있고 렌즈의 초점거리를  $f$ 라고 하자. 이때 이 두 카메라는 서로 평행하다고 가정한다. 여기서 기준 좌표계 (base coordinates)  $(X, Y, Z)$ 와 왼쪽 영상면 (left image plane)  $(X', Y')$  그리고 오른쪽 영상면 (right image plane)  $(X'', Y'')$ 를 그림1과 같이 정의한다.

기준 좌표계는 렌즈와 동일선 상의 중심에서 위치하며 왼쪽 영상면과 오른쪽 영상면은 각각 왼쪽과 오른쪽 렌즈축 상에서 기준 좌표계의  $z = f$  떨어진 점에 위치하게 된다. 점 P가 각 영상면에 맺혀 각각 X 좌표값이  $x', x''$ 이라고 하면 기준 좌표계와 영상면 사이의 관계는

$$x' = \frac{(x + b) \cdot f}{z}$$

$$y' = \frac{y \cdot f}{z}$$

$$x'' = \frac{(x - b) \cdot f}{z}$$

$$y'' = \frac{y \cdot f}{z}$$

이 된다.

따라서  $(x', y')$ 과  $(x'', y'')$ 으로부터  $(x, y)$ 의 관계는

$$x = \frac{x' - x''}{x' + x''} b$$

$$y = \frac{z}{f} y' = \frac{z}{f} y''$$

$$z = 2b \cdot \frac{f}{x' - x''}$$

와 같이 얻어진다.

이때 대응하는 점  $x'$ 과  $x''$  사이의 어긋남(disparity)  $d$ 는

$$d = x' - x'' = 2b \cdot \frac{f}{z}$$

와 같이 거리  $z$ 에 반비례한다.

차 영상(Difference Field)을 이용한 장애물 인식 알고리즘 :

카메라의 인식 영역내에 존재하는 장애물을 검출해 내기 위한 방법으로 좌,우의 카메라로부터 얻어진 두개의 영상에서 서로 대응되는 영상점(pixel)끼리 뺀 결과를 가지고 장애물의 위치를 인식한다.

여기서 물체 표면의 밝기는 서서히 변화하며(Smooth) 각 물체들은 서로 겹쳐 있지 않다고 가정한다. 이는 물체가 단순한 형상임을 의미한다.

거리정보에 의한 물체의 구별은 다음 세 단계로 구분된다.

차 영상의 계산 : 좌,우 카메라로부터 얻은 영상을 각각  $L(j, k), R(j, k)$ 라고 할때, 차 영상  $D(j, k)$ 은 이 된다. 차 영상은 배경과 물체의 좌,우 영상이 겹쳐지는 부분에서는 0(영) 근방의 값을 나타내고, 물체의 겹쳐지지 않는 부분에서는 그물체의 거리에따라 물체의 좌우에 그 폭이 다른 - 와 + 값쌍(value pair)이 존재한다.

차 영상의 메디안 필터링(Median Filtering): 일정 거리 이내의 장애물을 검출해내기 위하여 메디안 필터링을 사용한다. 메디안 필터링은 그 주기가 창(window)크기의 절반이하가 되는 신호들은 모두 제거되고 그 보다 큰 신호들은 변동이 없는 특성을 갖는다. WIN을 1차원 메디안 필터의 창 크기(window size)라하고, 주어진 거리  $z$ 에 대해 WIN을

$$WIN = 2d + 1$$

로 정하면 차 영상  $D(j, k)$ 를 메디안 필터링을 이용하면 거리가  $z$ 보다 가까운 물체의 값 쌍만이 남고 그 이외의 것은 제거된다. 여기서는 연속적으로 수정되는 히스토그램을 사용하는 고속 메디안 필터링 알고리즘[6]을 사용하였다.

물체의 수평위치 결정 : 물체의 수평위치는 먼저 메디안 필터링을 거친 차 영상을 다음과 같은 1차원 정보  $\hat{V}(j)$ 로 변환한 후에 결정되어진다.

$$\hat{V}(j) = V(j) - \bar{V}(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N D(j, k)$$

$\bar{V}(j)$ 의 평균값

물체의 수평 위치는  $\hat{V}(j)$ 에서 주어진 역치(threshold)를 넘는 +, -값쌍의 위치 내부에 존재한다. 실제로 로봇의 높이 이상에 있는 물체는 감지될 수 없으므로 영상에서 일정 높이 이상은 처리대상에서 제외한다.

### 3. 로봇트 시스템

구성된 로봇트 시스템은 두대의 고체촬상소자(CCD) 카메라와 이들 카메라로부터 영상신호를 받아들여 이를 처리(Image processing)하기 위한 시각장치부 및 이를 제어하기 위한 컴퓨터, 그리고 이동로봇트의 각 구동부를 제어하는 로봇트 제어기 및 이동 로봇트 몸체 등으로 구성되어 있으며, 이들의 전체 구성은 그림2과 같다.

이동 로봇트 : 이동 로봇트는 미국 Heath kit의 HT-18(HERO)로봇트를 사용한다. HERO는 교육용 이동 로봇트로서 한개의 팔과 초음파 거리센서, 음성 합성기를 갖추고 있으며 몸체의 구동부로서는 팔 부분에 5개의 관절과 머리의 회전부, 그리고 몸체를 전후진시키는 주 구동부, 몸체의 전후진 방향을 조절하는 조향 장치부가 있다. 그러나 본 연구에서는 팔과 초음파센서는 사용하지 않았다. 대신 스테레오 비전 카메라를 머리 위에 부착하여 진행 방향에 대한 정보를 얻어내도록 했다.

스테레오 시각장치 : 영상입력 장치로 두대의 CCD 카메라가 사용되며 이 카메라의 렌즈는 초점거리가 8.0 mm, 가시범위가 수평 $59.0^\circ$ , 수직 $45.5^\circ$ 이다. 영상처리를 위해 Data Translation의 DT-2853보드와 IBM-PC/AT를 사용하였다. 컴퓨터는 스테레오 비전 알고리즘의 구현뿐 아니라 이동 로봇이 전진하기 위한 경로를 계획하고 이 계획된 경로를 따라 이동 로봇이 움직일 수 있도록 이동 로봇에게 명령을 내리고 그 응답을 받아서 다음 단계의 처리를 행하는 역할을 한다.

#### 4. 이동 로봇의 동작 해석

이동 로봇의 동작은 로봇의 속도와 진향각으로 표현될 수 있다[7]. 두개의 바퀴로 구동되는 이동 로봇에서는 달리 HERO는 앞에 위치한 한개의 바퀴로 전진과 방향전환을 함께하는 세발 자전거와 같은 구조로 되어있다. 그림3에서  $\theta$ 는 물체의 기준 좌표계에 대하여 앞 바퀴가 기울어진 정도를 나타내는 진륜방향각이다. 진륜방향각과 앞뒷바퀴간의 거리  $l$ 로부터

$$R = \frac{l}{\sin\theta}, \quad m = \frac{l}{\tan\theta}$$

의 관계가 성립한다. 또  $m < \frac{d}{2}$ 일때 두 뒷바퀴는 서로 반대방향으로 회전하며,  $m = \frac{d}{2}$ 일때 회전중심이 위치하는 바퀴는 회전하지않고,  $m = \frac{d}{2}$ 이면 두 바퀴는 같은 방향으로 회전한다.  $\theta = \frac{\pi}{2}$ 일 경우  $R=0$ 이 되어 로봇은 제자리에서 회전이 가능하다. 전진과 방향전환을 동시에 하며 지정한 위치에 도달하게 하려면 로봇의 위치는 각 궤적에서의 속도와 진륜 방향각의 곱에 대한 적분형태로 표현되므로 HERO같은 단순한 형태의 제어명령만 가지는 로봇에서는 이러한 방식의 제어는 곤란하다. 그러나, 제자리에서 회전할 수 있다는 특성을 이용하면 방향전환과 직선주행을 조합하여 위치 제어가 가능하다. 즉 방향전환을 하려면 진륜 방향각을  $\frac{\pi}{2}$ 로 하고 전환하고자하는 물체 방향각  $\phi$ 에 대하여 구동거리  $L$ 을  $L = \phi R = \phi l$ 만큼 잡으면 된다.

#### 4. 장애물 회피 경로계획 및 실험

실험은 장애물이 놓여진 복도를 로봇이 주행하도록 하였다. 시각장치와 이동 로봇 그리고 비전 알고리즘을 이용하여 장애물을 피해서 이동 로봇이 주행하기 위하여 이동 로봇은 물체를 완전히 포함하는 가장 작은 원으로 가정한다. 또, 최초에는

로봇의 방향과 복도의 벽이 평행하고 로봇 전방 50cm안에는 장애물이 없다고 가정한다.

장애물 회피 전진과정은 다음과 같다(그림 4).

이동 로봇의 머리 부분에 장치된 두대의 카메라로 부터 각각 좌,우영상을 얻는다. 얻어진 영상은 앞서 설명된 장애물 인식 알고리즘으로 처리된다.

이때 일정거리 이내의 물체를 걸러내기 위한 매디안 필터는 2.5m 이상 벗어나 있는 물체를 제거하기 위한 크기로 설정한다. 그러면 Image Processing의 결과로서 전방 장애물이 영상표표계에서 차지하고 있는 수평축 위치와 폭이 구해진다.

얻어진 장애물의 위치는 로봇 좌표계로 변환되어 로봇이 가서는 안될 곳으로 알려진다. 최초 로봇의 위치에서 50 cm 전방에는 장애물이 없다고 가정하므로, 앞서 얻어진 장애물의 위치로부터 옆에 장애물이 없는 공간의 크기를 계산한다. 공간의 크기가 로봇의 몸체보다 크면 로봇이 갈 수 있는 길이므로 그 빈 공간의 중심을 이동 로봇이 가야할 다음 위치로 선정한다. 다음, 그림5와 같은 중간점과 경로를 선정하여 로봇을 전진 시킨다. 이 때 그림6에서보듯이 한번에 전진하는 구간은 2m이다. 앞서, 장애물을 2.5m이내의 것을 검출한 것차 차이가 나는 이유는 그 차이인 50 cm가 그 다음 장애물을 인식하고 전진할때 요구되는 로봇 전방 50cm 이내에 아무것도 없어야 한다는 조건을 만족시키기 위해서이다. 이와같은 과정은 한번의 비전 프로세싱에 약 2m를 움직이는 look-and-move 형태의 주행방법을 이루고 있으며, 이는 처리시간이 비교적 긴 카메라를 이용한 로봇 주행 시스템에는 가장 적합한 방법이라고 생각된다.

실험에서 장애물로는 탁자와 의자가 사용되었다. 각각은 최초 로봇의 위치로부터 1m 와 3m 전방에 설치되어졌다. 이동 로봇은 이들 장애물을 피해서 전진하는 것이다.(그림7) 로봇은 그 직경이 약 60cm가 되었다. 실제 실험에서는 로봇의 구조적 결함으로 인해 주행오차가 많았다. 또한 영상처리는 복도 벽과 같은 경우, 그 표면의 밝기가 서서히 변화하며 바닥과 구분이 곤란한 경우가 있었다. 주행오차의 경우, 로봇을 제어하는 형태가 피드임(feedback)이 없기 때문에 오차를 보정할 수가 없었다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 스테레오 카메라를 장착한 이동 로봇의 주행을 위해 전방의 장애물을 인식해서 그 위치와 폭을 알아내기 위한 간단하고 빠른 스테레오 비전 알고리즘을

이용하여 이동 로봇의 주행을 실험하였다. 사용된 알고리즘은 장애물회피를 위해 효과적으로 사용될 수 있음을 알았다. 또한, 이동로봇의 주행특성을 고찰하고 원하는 위치에 도달하게하는 간단한 방법을 도출하여 주행에 이용하였다. look-and-move방식을 적용한 장애물 회피 방법은 이동 로봇의 자율 경로계획의 한 방법으로 사용할 수 있으나, 이동 로봇과 측정오차등을 고려한 되먹임 제어방법을 사용할 수 있는 알고리즘의 보완이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Y.Kanayama, S.Yuta and Y.Kubotera, "A Sonic Range Finding Module for Mobile Robots", *Proc. of 14th ISIR*, Gothenburg(Sweden), Oct. 1984.
- [2] Ch.Deleput, L.Vandendorpe and Ch.Eugene, "Ultrasonic Three-Dimensional Detection of Obstacles for Mobile Robots," *Proc. of 16th ISIR*, Brussels (Belgium), PP 483-490, Sep. 1986.
- [3] H.P.Moravec, "The Stanford Cart and the CMU Rover," *Proceeding of the IEEE*, Vol.71, No.7, PP 872-884, Jul. 1983.
- [4] F. Ozguner and S. J. Tsai, "Design and Implementation of a Binocular Vision System for Locationg Footholds of a Multi-Legged Walking Robot", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.IE-32, No.1, pp26-31, Feb.1985
- [5] P.Rives, L.Marce, "Use of Moving Vision Sensors in Robotics Application to an Obstacle Avoidance Task," *Proc. of '85 ICAR*, Tokyo (Japan), PP 215-223, 1985.
- [6] T.S.Huang, G.J.Yang and G.Y.Tang, "A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm", *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol.ASSP-27, No.1, PP 13-18, Feb. 1979.
- [7] Y.Kanayama, N.Miyake, "Trajectory Generation for Mobile Robots", *3rd Int. Symposium of Robotics Research*, 1987

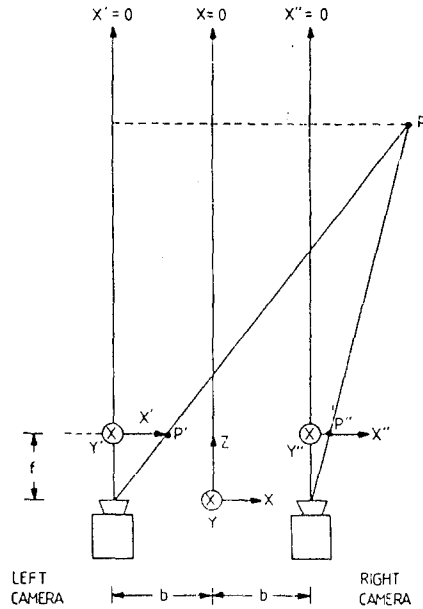


그림 1. 영상 좌표계

Fig 1. Image Coordinate System

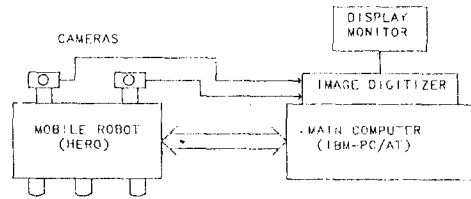


그림 2. 이동 로봇 시스템의 구조

Fig 2. Block Diagram of the Mobile Robot System

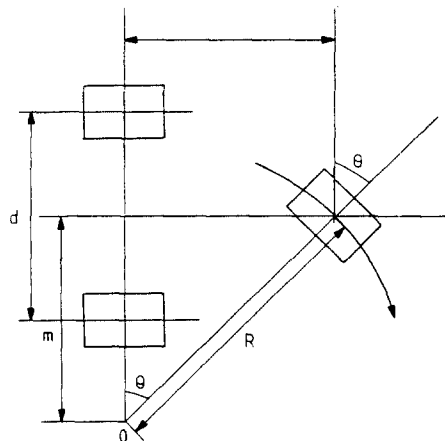


그림 3. 이동 로봇의 회전

Fig 3. Turning Mechanism of the Mobile Robot

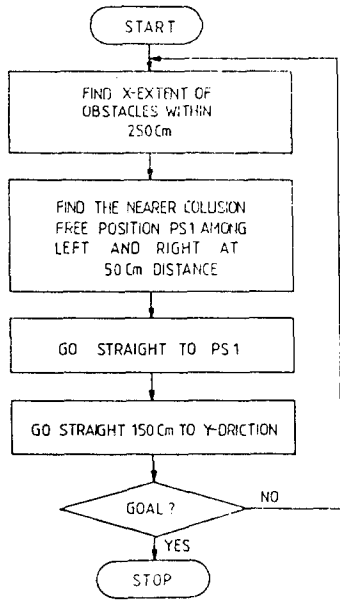


그림 4. 이동 로봇의 주행 흐름도  
 Fig 4. Navigation Flow Chart of the Robot

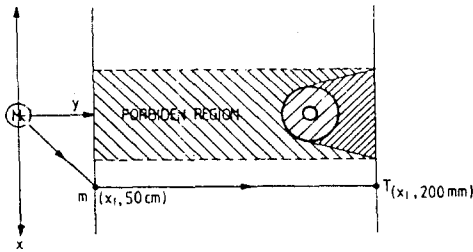


그림 5. 구간 경로 계획  
 Fig 5. Local Path Planning with Obstacle Avoidance

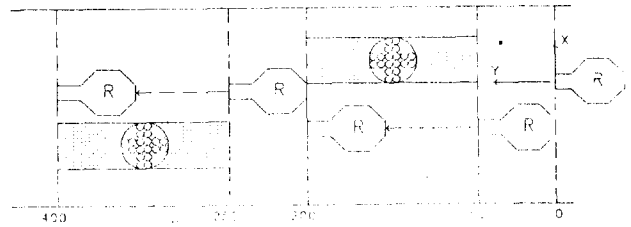


그림 6. 이동 로봇의 주행  
 Fig 6. Navigation of the Robot



그림 7. 복도에서의 장애물 회피  
 Fig 7. Obstacle Avoidance on the Floor