

## 카메라를 이용한 이동 로봇 주행 제어

### Navigation Control for a Mobile Robot using a Camera

문순환\*, 한민홍\*

Soon-Hwan Moon\*, Min-Hong Han\*

#### Abstract

This paper presents a navigation method for a mobile robot which can follow a path drawn on a monitor screen. The current position and heading direction of the mobile robot are obtained using a single camera from a single image of the guide mark projected on a convex mirror.

This proposed method eliminates the need to rotate or tilt the camera to track the guide mark, because the convex mirror and a stationary camera provide a panoramic view of the surrounding area. As guide marks, fluorescent lamps on the ceiling, door frames, or any other natural line segment can be used without adding any artificial elements to them.

#### 1. 서론

로봇 공학의 한 부류로써 자율 이동 로봇 (Autonomous Mobile Robot)은 인간의 개입 없이 스스로 주어진 목적지까지의 주행계획을 세우고 주행할 수 있는 로봇을 말한다. 이는 FMS(Flexible Manufacturing System)를 위한 공장내에서의 자재나 물품운반, 사무실내에서의 서류 전달, 전시장내에서의 안내, 가정에서 주부들의 심부름 등 많은 분야에서

광범위하게 이용될 수 있다. 현재 많이 이용되고 있는 이동 로봇들은 주행경로 상에 흰색이나 검은색으로 유도선을 그리거나, 바닥 밑에 전선을 깔아 주행을 유도한다. 이러한 사실들은 주행경로가 새롭게 변경되었을 때 주행선을 다시 설치해야 하는 번거로움이 존재하게 된다.

이동 로봇이 주어진 목적지까지 원활한 주행을 하기 위해서는 현재 로봇의 위치(position)와 방향(orientation)을 파악해야 한다.

\* 고려대학교 산업공학과

이러한 이동 로봇의 절대 위치와 방향을 결정하는데 많은 연구가 행하여져 왔다.

이동 로봇이 주행하면서 위치와 방향을 인식하기 위해서는 내부 센서 시스템 즉, encoder 에 의한 바퀴의 회전수를 인식함으로써 알 수도 있다. 그러나 이는 바퀴의 미끄러짐(slippage) 때문에 정확한 위치와 방향의 파악이 힘들다. 따라서 정확한 위치나 방향을 파악하기 위해서는 그 로봇 주위의 외부환경을 인식할 수 있는 외부 센서 시스템의 사용이 불가피하다.

본 연구에서는 외부 센서 시스템으로서 CCD 카메라를 사용하여 블록거울에 사영(projection)되는 안내 표식(Guide Mark)을 이용함으로써 로봇의 위치와 방향을 측정하고자 한다. 이동 로봇이 원활한 주행을 하기 위해서는 CCD 카메라를 통해 안내 표식의 영상을 인식하고, 그로부터 로봇의 절대 좌표를 실시간(real time)에 계산할 수 있느냐에 그 주行的 성공 여부가 달려 있다.

I. Fukui[2]는 안내 표식으로 다이아몬드의 모양을 사용하였고, 위치와 자세 측정을 위해 사용된 카메라의 위치와 안내 표식의 높이가 같도록 제안하였다. J. W. Courtney, M. J. Magee and J. K. Aggarwal[3]들은 I. Fukui가 제안한 다이아몬드 형태의 안내 표식을 사용하였으며, 카메라 렌즈의 중심(center)과 그 안내 표식의 중심이 일치해야 된다는 가정을 제거함으로써 I. Fukui의 연구를 보다 일반화시켰다. 그리고 M. R. Kabuka and A. E. Arenas[5]들은 안내 표식으로써 두 개의 영역으로 나누어 설계하였다. 그 안내 표식의 형태는 반은 검은색이고 다른 반은 하얀색을 갖는 원(circle)의 형태와 바 코드(bar

code)의 형태로 구성된다. 그 중 원의 형태는 안내 표식으로부터 이동 로봇의 위치와 방향을 구하기 위해 사용되고, 바 코드 형태는 그 안내 표식이 설치된 절대 위치를 나타내도록 설계되었다. Min-Hong Han and Sangyong Rhee[4]는 중심점과 방향점을 포함하는 원표식을 사용하였다. 이 방법에서는 중심점, 방향점의 두 점과 카메라의 위치에 따른 타원화의 정도로 카메라의 위치와 방향을 계산하였다. T. Kanbara, J. Miura and Y. Shirai[6]들은 안내 표식을 새롭게 설계하는 것이 아니라 이동 로봇의 주행 환경에 있는 문(door), 통로(entrance), 계단(staircase), Two-winged door와 같은 자연적인 표식(natural mark)을 인식하여 주행하는 방법에 대한 연구를 하였다.

일반적으로 안내 표식을 사용하여 이동 로봇의 자율적인 주행을 위해서는 주행하는 동안 그 표식을 놓치지 않기 위하여 카메라의 회전과 tilting이 불가피하다. 카메라의 회전 및 tilting을 통한 안내 표식의 추적 및 그 인식은 기계적 회전에 의한 측정 오차를 유발시키고, 회전으로 인해 이동 로봇의 위치와 방향을 측정하는데는 복잡한 계산식을 필요로 하게 된다. 그리고 카메라를 회전시키기 위해서는 구동부가 필요하고, 이는 이동 로봇의 크기와 무게를 부가함으로써 불필요한 전력을 소비하게 된다.

그래서 전 영역투사(omnidirectional projection)를 할 수 있는 구면(spherical), 원뿔(conic), hyperboloidal 거울을 이용한 주행 방법이 연구되었는데, 이는 이동 로봇의 시점 영역을 바닥에 놓여 있는 물체들을 대상으로 하였다[7, 8]. 실제 이동 로봇의 주행환경은

많은 불확실성을 포함하는 동적인 환경이라고 할 수 있는데, 시점영역의 복잡한 영상이미지로 인하여 많은 처리시간과 복잡한 계산방법으로 인하여 실시간 주행을 저해하기 쉽다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 넓은 지역(panoramic view)을 사영(projection)할 수 있는 볼록 거울(convex mirror)를 사용하였다. 볼록 거울을 사용함으로써 표식의 방향과 그 위치를 즉각 인식할 수 있게 되므로 표식을 찾기 위한 카메라의 구동부가 불필요하게 되어 이동 로봇의 중량과 크기를 줄임은 물론 위치 및 방향 측정이 지금까지 발표된 방법보다는 간결하고 정확도도 향상되었다. 카메라의 회전과 tilting을 위해 구동부를 장착한 이동 로봇과 구동부를 제거한 이동 로봇의 모습을 그림 1에 보여주고 있다. 그리고 이동 로봇의 실시간주행을 위하여 시점영역을 단순한 이미지를 얻을 수

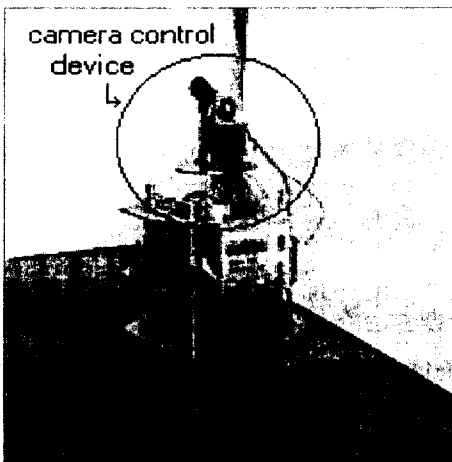
있는 천정을 대상으로 하였고, 이동 로봇의 위치와 방향을 계산하는데 보다 간단한 계산방법을 사용함으로써 실시간 주행을 도모하였다. 그리고 사용된 안내 표식으로는 보다 빠른 인식을 할 수 있고, 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 자연적인 표식으로 형광등(fluorescent lamp)을 사용함으로써 안내 표식의 설계부담을 줄였다.

## 2. 안내 표식(Guide Mark)과 인식

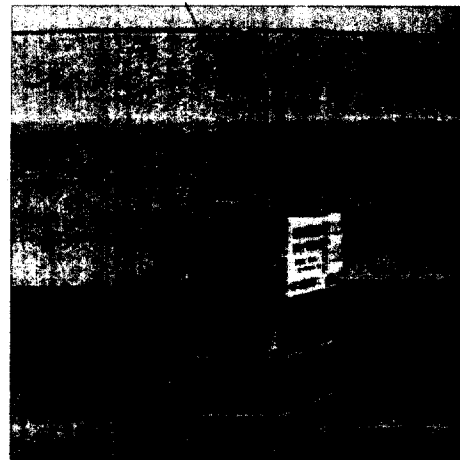
### 2.1 안내 표식과 특징점

본 연구에서는 이동 로봇의 위치와 자세 측정을 위하여 안내 표식으로 형광등을 사용하였다. 그리고 안내 표식의 영상은 그림 2와 같이 볼록 거울 위에 카메라를 설치함으로써 얻어지도록 하였다.

이동 로봇이 주어진 목적지까지 원활한 주행을 하기 위하여는 이동하는 동안 실시간적



(a) 구동부가 장착된 이동 로봇



(b) 구동부를 제거한 이동 로봇

그림 1. 이동 로봇의 모습

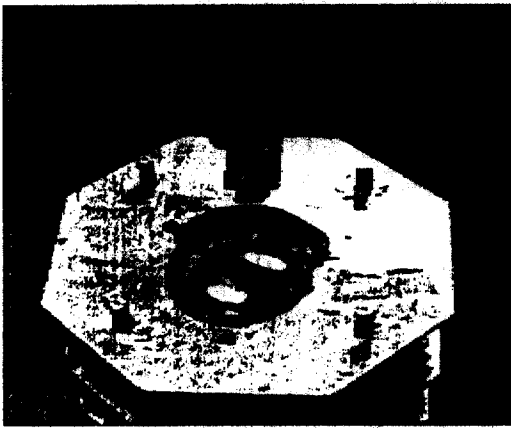


그림 2. CCD Camera와 블록 거울의 위치

인 로봇의 위치와 방향이 결정되어야 하는데, 카메라 영상의 전체 화면으로부터 안내 표식을 인식하여 로봇의 위치와 방향을 계산하는 것은 상당한 처리시간이 소요된다. 그래서 본 연구에서는 로봇이 주행하는 동안 적절한 안내 표식을 계속적으로 인식하기 위해 전체 화면을 탐색하는 것이 아니라 그 안내 표식을 포착하고 이를 추적함으로써 실시간적인 위치 측정과 방향 계산을 하도록 하였다. 이동 로봇의 위치 및 방향 추정을 위해 안내 표식의 영상으로부터 두 개의 특징점을 추출하여 사용하였으며, 그 특징점들은 안내 표식 즉 형광등의 좌측과 우측 끝점으로 하였다.

### 2.2 안내 표식의 특징점 추출

본 연구에서 사용한 블록 거울은 넓은 지역을 사영할 수 있는 장점이 있는 반면, 블록 거울 상에 나타난 안내 표식은 영상의 위치와 주위의 조도에 따라 왜곡 현상이 발생하게 된다. 이러한 왜곡 현상으로 인하여 안

내 표식의 영상으로부터 정확한 양끝점의 위치를 추출하는게 어렵게 된다. 그림 3에서 (a)는 왜곡되지 않은 실제 안내 표식 즉, 형광등의 모양과 (b)는 왜곡된 안내 표식 모양의 한 예를 보인다.

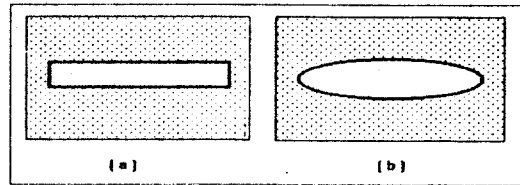


그림 3. 안내표식의 원 형상과 왜곡된 형상

이동 로봇이 성공적인 주행을 하기 위해서는 안내 표식의 어떠한 왜곡 현상에도 관계 없이 정확한 특징점들을 인식해야 한다. 본 연구에서는 안내 표식으로부터 정확하게 끝점을 추출하기 위하여 영상 화면 상에 나타난 안내 표식의 형태를 두 가지 형태 즉, 수평인 모양에 가까운 경우와 수직인 모양에 가까운 경우로 분리하고, 각각의 경우에 대해 탐색 절차를 달리 적용하였으며, 그 두 경우를 구분하는 절차를 기술하면 다음과 같다.

#### STEP 1.

i) 안내 표식을 인식하기 위해 탐색 영역을 정한다.

ii) 영상 화면의 중심을 원점으로 하고 가로를 X 축, 세로를 Y 축으로 지정한다.

#### STEP 2. (안내 표식의 인식)

i) 탐색 영역내에서 X 축 중심으로 부터 위로 탐색하면서 화소(pixel)의 gray값과 주어진 임계치(threshold)를 비교한다.

ii) 만약, 임계치보다 크다면 대상 표식의 Y 축상의 폭을 구한다. 폭의 크기에 의하여

안내 표식이라고 판단되면, 그 폭의 중앙점의 화면 좌표를 구하고, STEP 3 으로 간다.

iii) 아니면, X 축으로부터 좌우로  $\Delta x$  만큼 이동하면서 새로운 X 값을 결정하고, STEP 2를 다시 수행한다.

STEP 3. 폭의 중앙점으로부터 좌·우측으로 수평이동하면서 X 축상의 폭을 구한다.

STEP 4. X 축상의 폭과 Y 축상의 폭을 비교한다.

i) X 축상의 폭이 Y 축상의 폭보다 크다면, 수평인 모양에 가까운 경우로 분리한다.

ii) 그렇지 않다면, 수직에 가까운 모양으로 분리한다.

앞의 절차 STEP 1. 에서 탐색 영역은 로봇이 주행 중 안내 표식을 인식하고 추적하기 위해 사용되는데, 그 영역의 크기 설정은 안내 표식을 포함하고 로봇이 이동 중 그 표식을 잃어버리지 않도록 실제 실험을 통해 적절히 정해진다.

그림 4의 좌측은 안내 표식이 영상 화면 상에 수평에 가까운 모양이며, 우측은 수직에 가까운 모양을 보인다.

그림 5에서 (a) 는 영상 화면 상에서 안내 표식이 수직보다 수평에 가까운 모양으로 나타날 때 탐색 영역 내에서 안내 표식의 인식과 그 표식의 좌측 끝점을 추출하는 과정을 나타낸다. (b) 는 영상 화면 상에서 안내 표식이 수직에 가까운 모양으로 나타날 때 탐색 영역 내에서 안내 표식의 인식과 그 표식의 상측 끝점을 추출하는 과정을 보인다. 그림 5에서 점(·)은 탐색하는 지점, 화살표(→)는 탐색하는 방향, X 표시는 추출된 끝점을 나타낸다.

먼저, 수평의 모양에 가까운 경우 두 개의 끝점 중 한 점인 좌측 끝점을 인식하기 위한 절차를 간단히 서술하면 아래와 같다.

STEP 1. 영상 화면에서 안내 표식의 형태를 분리하는 절차에서 구한 폭의 중앙점이 초기에 이용된다.

STEP 2. 폭의 중앙점으로부터 좌측으로 수평이동하면서 안내 표식의 영상경계점을 구한다.

STEP 3. (좌측 끝점 찾기)

i) 경계점을 중심으로 위·아래로 다시 탐색하여 Y 축상의 폭을 구하고 그 폭 중앙에 해당하는 점의 좌표를 구한 후 STEP 2로 간다.

ii) 폭의 크기가 임계치 이하가 되면 끝점을 찾았다고 본다.

안내 표식의 우측 끝점을 찾기 위해서는 좌측 끝점을 찾는 방법을 우측으로 적용하면 된다. 그리고 안내 표식이 영상 화면에 수직에 가까운 모양으로 놓여 있다고 판단되면, 수평인 경우와 비슷한 방법을 적용함으로써 쉽게 구할 수 있다. 예를 들어, 상측 끝점을 찾는 방법을 나열하면 아래와 같다.

STEP 1. 영상 화면에서 안내 표식의 형태를 분리하는 절차에서 구한 폭의 중앙점이 초기에 이용된다.

STEP 2. 폭의 중앙점으로부터 상측으로 수직이동하면서 안내 표식의 영상경계점을 구한다.

STEP 3. (상측 끝점 찾기)

i) 경계점을 중심으로 좌·우로 다시 탐색하여 X 축상의 폭을 구하고 그 폭 중앙에 해당하는 점의 좌표를 구한 후 STEP 2로 간



그림 4. 카메라에 잡힌 안내 표식

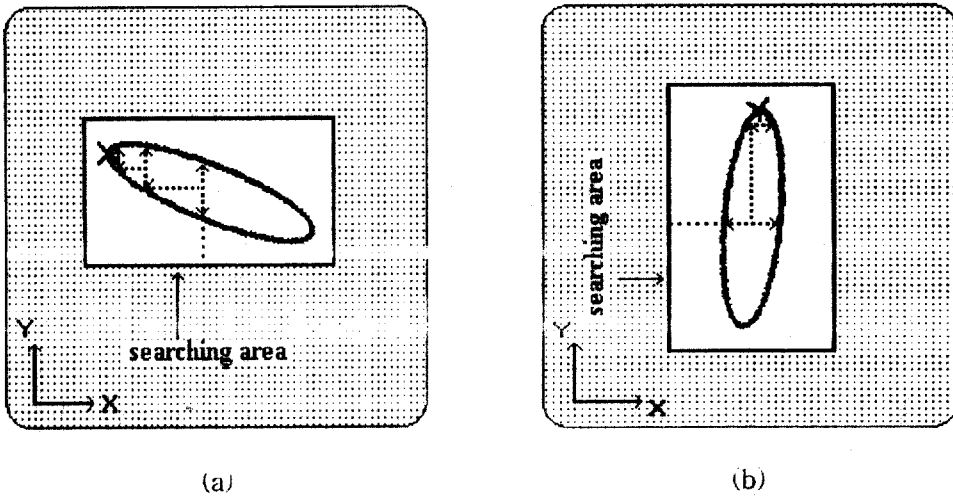


그림 5. 안내 표식에서 끝점을 찾는 과정

다.

ii) 폭의 크기가 임계치 이하가 되면 끝점을 찾았다고 본다.

특징점 추출의 일반적 방법으로 먼저 에지 검출자로 에지를 검출하고, 그 경계선으로부터 안내 표식의 모양을 인식하여 올바른 두 특징점들을 찾는 방법을 생각해볼 수 있다.

실제 안내 표식은 천정의 단순한 영상이미지에 존재하고, 여기서 안내 표식을 식별하고 특징점들을 추출하기 위하여 에지를 추출하여 그 경계선들을 전부 파악할 필요가 없었다. 그래서 보다 실시간적인 표식의 인식은 물론 특징점들을 찾을 수 있었다.

이동 로봇이 실제 주행하는 동안 주위 환경의 조도의 변화로 인한 안내 표식 모양의

변화와 그 외 영상 잡음(noise) 등으로 인해 정확한 안내 표식의 식별이 어렵게 되거나 영상 잡음을 안내 표식으로 오인할 경우가 있다. 그래서 본 연구에서는 탐색 영역내에서 정확한 안내 표식을 인식하기 위하여 두 개의 기준을 설정하고 그 기준을 모두 만족한 표식에 한하여 우리가 정한 안내 표식인 형광등으로 판단한다. 그 기준들은 안내 표식으로 사용한 형광등의 길이와 두께이다. 사실상 로봇이 주행 중 화면상에 나타나는 안내 표식의 길이나 두께가 위치에 따라 변한다. 그래서 이들 길이와 두께에 대한 임계치(threshold)의 수치는 고정시키지 않고 안내 표식인 형광등을 계속적으로 추적함으로써 그 환경에 알맞게 적응(adaptive)되도록 하였다.

위에서 열거한 탐색 방법을 통하여 실제 이동 로봇의 주행 중 안내 표식을 인식하기 위한 탐색 영역과 이동 로봇의 위치와 방향을 측정하기 위해 영상 이미지로부터 추출된 끝점들을 그림 6에 나타낸다.

### 3. 이동 로봇의 위치(Position) 와 방향(Orientation) 추정

본 장에서는 앞 장에서 구한 안내 표식 상의 두 개의 끝점들로부터 이동 로봇의 위치와 방향을 계산하는 방법을 살펴 본다.

본 연구에서는 이동 로봇의 위치와 방향을 추정하기 위하여 화면(screen) 좌표계( $X_s, Y_s$ ), 로봇(robot) 좌표계( $X_r, Y_r$ ), 월드(world) 좌표계( $X_w, Y_w$ )를 설정하였다. 화면 좌표계는 카메라로 잡은 영상을 비전 시스템으로 처리하기 위하여 설정되는 좌표계이다. 로봇

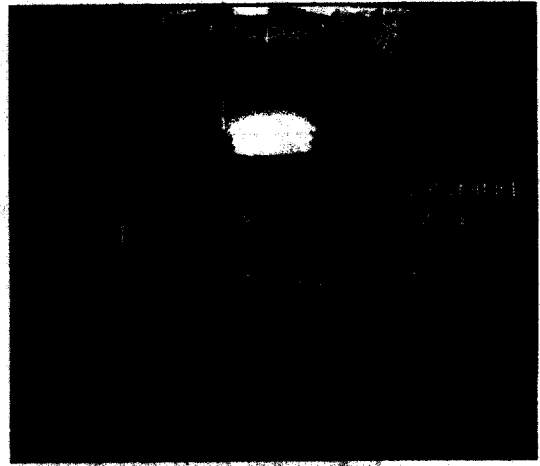


그림 6. 탐색 영역과 특징점

좌표계는 현재 로봇의 위치를 원점으로 하고 진행방향을  $Y_r$  축으로 하는 좌표계이다. 월드 좌표계는 인식한 안내 표식의 좌단점을 원점으로 하고 양끝을 잇는 선을  $X_w$  축으로 하는 좌표계이다.

실질적으로 이동 로봇의 정확한 위치와 방향을 계산하기 위해서는 많은 요소들이 고려되어야 한다. 이들 요소들은 카메라의 초점 거리(focal length), 카메라와 볼록 거울의 높이, 거울의 초점 거리, 안내 표식의 높이, 사용된 볼록 거울의 곡면에 대한 굴곡 정도, ... 등의 많은 사항들을 포함한다. 이러한 많은 요소들로부터 정확한 값들을 얻고, 이동 로봇의 위치와 방향을 구하는 정확한 수식을 세우는 것은 실시간적인 위치와 방향을 파악해야 하는 입장에 볼 때 비효율적이라 할 수 있다. 또한, 정확한 값들을 얻고, 위치와 방향을 계산하기 위한 정확한 수식을 구하는 절차도 그리 쉬운 문제는 아니다. 그래서 본 연구에서는 이러한 요소들을 전혀 고려하지 않고 간단한 계산 절차를 이용하여 이동 로봇의

위치와 방향을 결정하는 실시간적인 처리방법을 개발하였다.

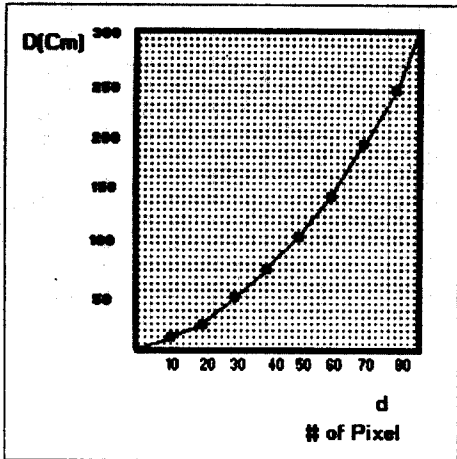


그림 7. 화면 좌표계 상의 거리와 로봇 좌표계 상의 거리의 관계

사용된 안내 표식은 볼록 거울에 사영된 상으로 형성되었기 때문에 볼록 거울의 특성상 거울의 중심으로부터 멀어질수록 왜곡현상이 발생한다. 그래서 화면의 중앙으로부터 끝점까지의 화면상의 pixel 단위거리와 실제 거리를 측정하고 이를 도표화한 후 구간별 내삽법(interpolation)을 사용함으로써 로봇으로부터 안내 표식의 끝점까지 수직거리를 계산하는 방법을 채택하였다. 그림 7은 주행이 이루어지고 있는 실험실에서 안내표식의 끝점까지의 실제 거리 D와 화면상에서의 얻어진 pixel 단위거리 d와의 관계를 나타낸다.

인식된 안내 표식의 한쪽 끝점의 위치를 로봇 좌표계 상에서의 위치로 변환하는 과정은 아래와 같다. 먼저, 화면 좌표계 상에서 그 끝점까지의 거리 d가 주어지면 그림 7로부터 실제 로봇 좌표계 상에서의 거리 D를

구하며, 로봇으로부터 그 끝점까지의 방향각  $\theta$ 는 화면 좌표계 상에서의 끝점의 기울기와 일치하게 되므로 이는 화면 좌표계로부터 직접 얻어진다. 거리 D와 방향각  $\theta$ 로부터 실제 로봇 좌표계 상에서의 안내 표식의 끝점 위치는 아래의 식으로 간단히 계산된다.

$$x_r = D \cdot \cos\theta$$

$$y_r = D \cdot \sin\theta$$

$$\theta = \tan^{-1}(y_s/x_s)$$

여기서,

$x_s, y_s$ 는 화면 좌표계 상에서 한 끝점의 좌표

$x_r, y_r$ 는 로봇 좌표계 상의 끝점 위치 좌표

화면 좌표계 상에서의 한 끝점의 좌표를 로봇 좌표계 상의 좌표로 변환하는 과정을 그림 8에 나타낸다.

우리가 실제 구하고자 하는 것은 이동 로봇의 좌표계 상에서 안내 표식의 위치를 구하는 것이 아니라 주어진 안내 표식의 위치로부터 결정되는 월드 좌표계 상에서 이동 로봇의 위치와 방향을 인식하는 것이다. 이를 위하여는 다른 끝점의 위치를 추가로 구하고, 로봇 좌표계 상에서 이 두 끝점들의 기울기를 계산하여 좌표 변환과정을 거쳐야 한다. 로봇 좌표계를 월드 좌표계로 전환시키기 위해 두 좌표계간의 상호관계를 그림 9에 나타낸다. 월드 좌표계 상에서 이동 로봇의 위치는 아래의 변환식으로부터 구할 수 있으며,

$$\begin{pmatrix} x_w \\ y_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -x_r \\ -y_r \end{pmatrix}$$



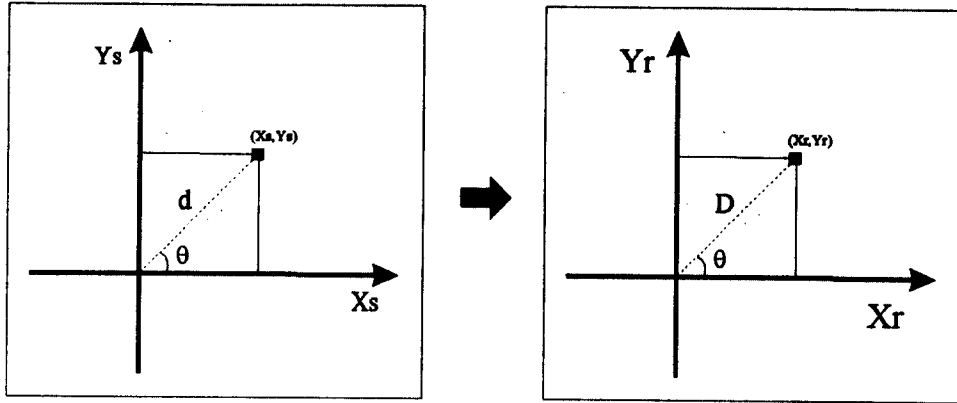


그림 8. 화면 좌표계 상의 점을 로봇 좌표계 상의 점으로 변환

여기서,  $\psi$  : 로봇 좌표계에서 안내 표식의 두 개의 끝점들이 이루는 각도,

$x_w, y_w$  : 안내 표식을 기준으로 하는 이동 로봇의 실제 위치

이동 로봇의 방향은  $\frac{\pi}{2} - \psi$ 가 된다.

이동 로봇이 주행 중 계속적으로 현재 위치 및 방향을 파악하기 위해서는 바로 직전에 얻어진 안내 표식으로부터 그 표식을 포함할 수 있도록 탐색영역을 다시 설정한다. 그 다음 앞서 설명한 방법들을 사용하여 현재 로봇의 위치와 방향을 구한다. 그러나 여기서 중요한 결정요소는 인식한 안내 표식으로부터 추출된 두 끝점 중 어느 점이 월드 좌표계 상의 원점인가를 판단하는 것이다. 이의 잘못된 판단 즉, 우리가 초기에 정의한 월드 좌표의 원점에 해당하는 끝점이 아닌 다른 한 끝점을 월드 좌표의 원점으로 설정하여 위치와 방향을 계산하는것은 큰 오류를 발생시킨다. 본 연구에서는 현시점의 바로 이전에 구한 이동 로봇의 방향과 현시점에서 구한 방향을 비교함으로써 안내 표식에서 구한 두 끝점 중 월드 좌표의 원점에 해당하는

끝점을 결정하도록 하였다.

#### 4. 실험(Experiment)

본 연구의 실험을 위해 이용된 이동 로봇의 시스템 구성 요소는 그림 10에 나타낸다. 이동 로봇은 주행 경로가 주어지면 비전 시스템에서 안내 표식을 인식하고 주행 경로를 따라 주행을 하게 된다. 여기서 주행 경로의 설정은 주행하고자 하는 목적지가 주어졌을 때 스스로 주행 계획을 세우고 주행하는 방법을 택하는 대신 키보드(keyboard)를 통해 컴퓨터 화면(computer screen)에 주행 경로를 그려주면 이동 로봇은 그 주행 경로를 따라 이동할 수 있도록 하였다.

실험을 위해 본 연구에서는 IBM PC-386 호환기종을 사용하였고, 비전 시스템은 SeeEye-256 해상도 256×256를 갖는 Image Board로 구성되었다. 이 Image Board로는 초당 30 frame을 찍을 수 있으며, 본 실험에서 이동 로봇의 위치와 방향을 초당 15회 정도 계산할 수 있는 결과를 얻었다. 그리고 실험

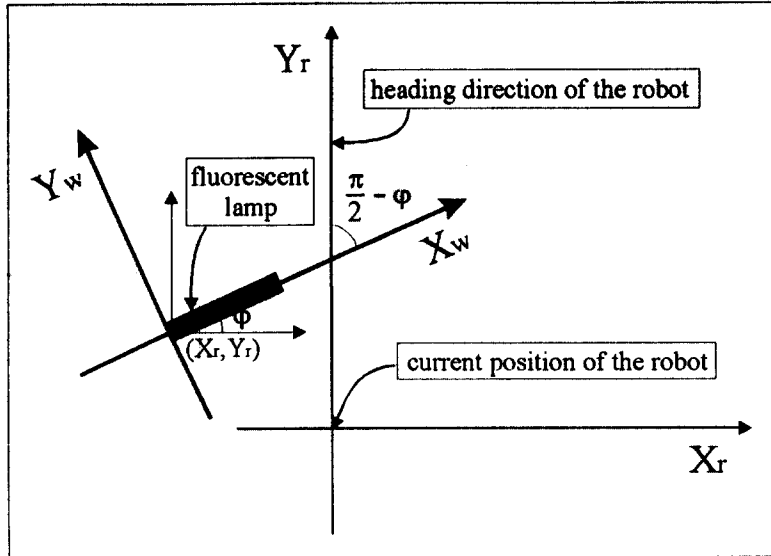


그림 9. 로봇 좌표계와 월드 좌표계간의 관계

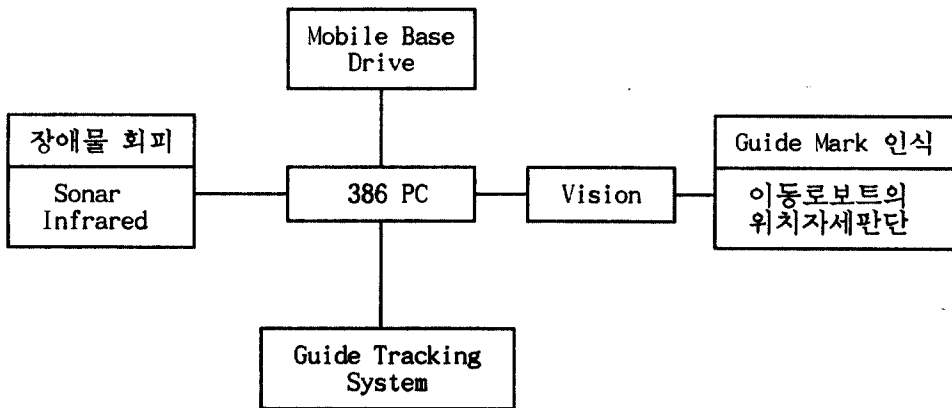


그림 10. 이동 로봇의 시스템 구성요소

에 사용된 이동 로봇은 평균 2 ft/sec의 주행 속도를 갖고 있다. 블록 거울의 위치로부터 안내 표식의 높이가 2.2m 인 실험 주행 환경에서 안내 표식을 중심으로 반경 3m 원주내의 주행 실험을 하였다. 또한 주행노면이 경

사가 없는 편평한 실험실내에서 행해졌다.

이 실험을 통해 이동 로봇의 주행 중 실제 로봇의 위치는 절대 위치로부터 10cm 이내의 오차를 가지고 주행할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 표 1은 실제 주행 실험을 한 결

표 1. 주행실험 결과

주행 횟수	계산 횟수 (sec)	주행 속도 (feet/sec)	절대오차(Cm)	
			평균	최대
1	16	2.5	7.6	10
2	14	1.6	3.9	6
3	14	1.5	4.7	7
4	15	1.9	4.5	7
5	15	2.1	6.8	9
6	17	2.3	5.1	7
7	14	1.7	6.7	8
8	15	1.9	7.2	9
9	18	2.7	8.7	10
10	15	2.0	6.9	9

과를 나타낸다. 이 실험 결과들은 실험실내에서 3m의 직선 주행 거리를 10번 반복 주행한 결과를 토대로 작성되었다. 여기서 계산 횟수는 이동 로봇의 위치 및 방향의 초당

계산 수를 나타낸다. 절대오차는 평균과 최대값을 측정하였는데, 이는 주행을 하는 동안 30cm마다 실제 위치와 추정 위치의 차이를 계산하여 평균과 최대값을 구한 것이다.

그리고 주행 실험은 실험실내에서 한 개의 안내 표식을 대상으로 이루어 졌다. 그러나 건물내와 같은 넓은 지역을 주행하기 위해서는 여러 개의 안내 표식이 필요하고, 이들을 구별하여 인식해야 한다. 이들 여러 개의 안내 표식을 이용한 주행을 위해서 몇가지 고려되어야 할 사항들이 있다. 첫째로, 모든 안내 표식의 절대 위치들이 파악되어야 한다. 둘째로는 주행 중 최소한 두 개의 안내표식이 블록 거울 상에 투영되어야 한다. 로봇은 주행 중 블록 거울에 사영된 안내 표식을 계속적으로 추적하게 되는데, 어느 순간에는 추적하고 있는 안내 표식이 블록 거울 밖으로 나가게 된다. 이때 다른 주위에 존재하는 안

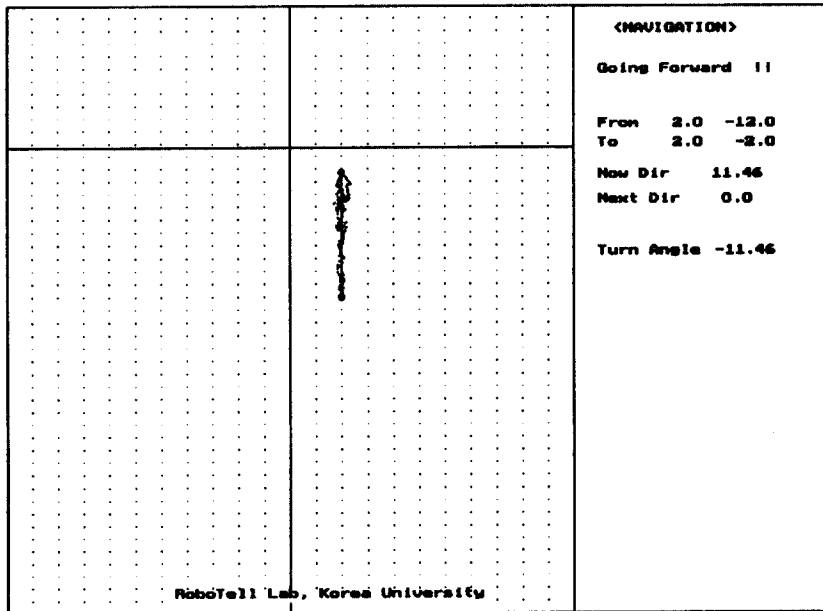


그림 11. 이동 로봇의 주행 화면

내 표식으로 추적 대상을 전환해야 원활한 주행을 할 수 있다. 셋째로는 개개의 안내 표식의 형태들이 동일하고 높이가 일정해야 알고리즘 구현시 편리하다.

그림 11은 이동 로봇의 주행하는 상황을 나타낸다. 여기서 이동 로봇의 현 위치는 화살표(▷)모양으로 나타나고, 이동 로봇이 주행할 경로는 실선, 실제 주행한 경로는 그 실선 주위의 점으로 표시되고, 한 grid 당 거리는 30Cm를 나타낸다.

## 5. 결 론

이동 로봇이 주어진 목적지까지 원활한 주행을 위해서 무엇보다도 중요한 것은 로봇의 위치와 방향을 인식하는 것이다. 본 연구에서는 외부 센서 시스템으로써 CCD 카메라를 사용하였고, 볼록 거울을 통해 카메라로부터 얻어진 영상으로부터 안내 표식을 인식하여 로봇의 위치와 방향을 추정하였다. 이전 발표된 방법들에서는 안내 표식을 인식하기 위하여 카메라의 회전과 tilting이 불가피하였고, 회전과 tilting을 위한 구동부가 이동 로봇에 장착되어 카메라의 위치 측정 오차를 포함함은 물론 불필요한 전력을 소비하였다. 또한 복잡한 계산방법과 많은 처리 시간으로 인하여 이동 로봇의 실시간 주행을 저해했다.

본 연구에서는 넓은 지역을 사영할 수 있는 볼록 거울의 사용으로 카메라의 회전과 tilting을 위한 구동부를 제거함으로써 전력을 절약하였다. 또한 이동 로봇의 위치 및 방향 측정을 위해 간단한 계산 방법을 적용함으로써 보다 실시간적인 위치와 방향 측정으로 기대 이상의 정확도(최대 10Cm 이내 오차)

를 얻었으며, 로봇의 부피와 무게가 감소하여 원활한 구동을 시킬 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Meystel, A., Autonomous Mobile Robots - Vehicles with Cognitive Control, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1991.
- [2] Fukui, I., "TV Image Processing to Determine The Position of a Robot Vehicle", Pattern Recognition, Vol. 14, Nos. 1-6, pp 101-109, 1981.
- [3] Courtney, J. W., Magee, M. J., and Aggarwal, J. K., "Robot Guidance Using Computer Vision", Pattern Recognition, Vol. 17, No. 6, pp 585-592, 1984.
- [4] Han, Min-Hong and Rhee, Sang-Yong, "Navigation Control for a Mobile Robot", Journal of Robotic Systems, 11(3), pp. 169-179, 1994.
- [5] Kabuka, M. R. and Arenas, A. E., "Position Verification of a Mobile Robot Using Standard Pattern", IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 6, Dec., pp 505-516, 1987.
- [6] Kanbara, T., Miura, J., and Shirai, Y., "Selection of Efficient Landmarks for an Autonomous Vehicle", Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Yokohama, Japan, July 26-30, 1993.
- [7] Kazumasa Yamazawa, Yasushi Yagi and Masahiko Yachida, "Obstacle Detection with Omnidirectional Image Sensor Hy-

- 
- perOmni Vision”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1062-1067, 1995.
- [8] Yasushi Yagi, Kazuya Sato, and Masahiko Yachida, “Evaluating Effectivity of Map Generation by Tracking Vertical Edges in Omnidirectional Image Sequence”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2334-2339, 1995.
- 
- 94년 10월 최초 접수, 96년 5월 최종 수정