

비전 센서를 갖는 이동 로봇의 복도 주행 시 직진 속도 제어

Linear Velocity Control of the Mobile Robot with the Vision System at Corridor Navigation

권 지 옥, 좌 동 경*, 홍 석 교
(Ji-Wook Kwon, Dongkyoung Chwa, and Suk-Kyo Hong)

Abstract : This paper proposes a vision-based kinematic control method for mobile robots with camera-on-board. In the previous literature on the control of mobile robots using camera vision information, the forward velocity is set to be a constant, and only the rotational velocity of the robot is controlled. More efficient motion, however, is needed by controlling the forward velocity, depending on the position in the corridor. Thus, both forward and rotational velocities are controlled in the proposed method such that the mobile robots can move faster when the corner of the corridor is far away, and it slows down as it approaches the dead end of the corridor. In this way, the smooth turning motion along the corridor is possible. To this end, visual information using the camera is used to obtain the perspective lines and the distance from the current robot position to the dead end. Then, the vanishing point and the pseudo desired position are obtained, and the forward and rotational velocities are controlled by the LOS(Line Of Sight) guidance law. Both numerical and experimental results are included to demonstrate the validity of the proposed method.

Keywords : vision-based kinematic control, mobile robots, camera on board, corridor, vanishing point, pseudo desired position, LOS(Line Of Sight), guidance law

I. 서론

이동로봇은 인간의 도움 없이 작업공간을 안전하게 돌아다니면서 임무를 수행하기 위해 주변환경을 정확히 인지하고, 적절한 행동을 선택한다. 주변환경을 인지하기 위해서, 이동로봇에 거리를 측정하는 센서나 비전시스템과 같은 외부 관측시스템을 적용한다. 이런 외부 시스템 중에서 비전시스템이 연산량이 많고 계산이 복잡하다는 단점에도 불구하고, 주위 환경에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있어서 많이 연구되고 있는데, 비전시스템을 이용하여 주변환경 정보를 얻기 위한 알고리즘들 중에서, 영상으로부터 자연적, 인공적인 선을 검출하여 사용하는 알고리즘들이 제안되었다[1-4]. 영상에서 선은 주로 면과 면이 만나는 교선이다. 이러한 교선들을 사용하는 알고리즘들은 작업환경이 실내이거나 정형화된 환경일 때 주로 사용된다. [1]에서는 이동로봇이 충돌 없이 복도를 진행하기 위해 복도의 경계선으로부터 소실점을 찾고, 간단한 제어를 이용하여 로봇의 회전속도를 제어하였다. [2]에서는 영상에서 얻은 복도 영상에서 복도의 진행방향과 같은 선들을 찾아내고, 그 선들로부터 복도의 소실점을 추출한 후 추출된 소실점과 사영기하를 이용하여 로봇의 절대 회전 값을 찾는 알고리즘을 제안하였다. 또한 [3]에서는 복도 영상에서 소실점과 복도의 경계선들의 x 축 절편들의 중점을 이용하여 로봇이 복도의 중앙을 따라 벽과 충돌 없이 진행할 수 있는 알고리즘을 제안하였고, 영상 정보를 좌표 변환하여 로봇의 제어모델에 적용하였다.

지금까지 제안된 복도를 주행하는 로봇에 대한 알고리즘들은 로봇이 벽과 충돌 없이 안전하게 복도를 주행할 수 있

도록 이동로봇의 직진속도는 상수로 고정하고 회전 각속도를 로봇의 제어변수로 사용하였다. 그러나, 로봇의 직진속도를 고정하는 경우, 원하는 시간에 로봇을 원하는 장소로 이동시키기 위해서 로봇의 직진속도를 높은 값으로 정하여야 한다. 정해진 속도가 클수록 로봇의 동특성의 영향이 증가하여, 로봇이 회전하거나 멈추어야 할 때 회전 반경이 커지고 제동거리가 길어지게 됨으로써, 주변 장애물과 충돌할 위험이 있다. 반면에 직진속도를 낮추면 충돌은 방지할 수 있지만 이동속도가 너무 느려질 수 있다. 따라서, 로봇이 작업환경에서 충돌을 피하는 것뿐만 아니라 원하는 시간에 원하는 장소에 도착할 수 있도록 하기 위해, 로봇의 직진 속도를 제어해야 할 필요가 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 복도에서 로봇의 충돌 회피에 초점이 맞추어져 있어서, 복도를 주행하는 로봇의 직진속도를 제어하는 연구는 거의 진행되지 않았다.

본 논문에서는 이동로봇이 충돌로부터 자유로울 뿐 아니라 보다 빠르게 목표지점에 도달할 수 있도록, 로봇의 회전 각속도뿐만 아니라 로봇의 직진 속도를 제어 변수로 사용하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 크게 직진속도를 제어하기 위한 복도영상에서의 유사 목표선의 도입과 로봇 제어 방법의 두 부분으로 나뉘어져 있다. 로봇의 회전 각속도를 제어하기 위해서는 기존의 방법[3,4]과 같이 복도 영상에서 복도의 두 경계선으로부터 소실점을 이용한다. 여기서 설정된 소실점과 유사 목표선을 바탕으로 유도방법 [5,14,15]을 사용하여 이동로봇의 회전 각속도와 직진속도를 제어하고, 실제 복도나 복도와 유사한 환경(미로)을 주행하는 두 바퀴 구동형 이동로봇에 적용한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 이동로봇의 대상인 두 바퀴 구동형 이동로봇에 대해 알아보고, 3장에서 회전 각속도만 제어했을 때의 문제를 살펴본다. 4장에서 영상으로부터 추출해야 하는 정보에 대해 설명하고, 5장에서는

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 2. 5., 채택확정 : 2007. 6. 23.

권지옥, 좌동경, 홍석교 : 아주대학교 전자공학부

(bluemichael@ajou.ac.kr/dkchwa@ajou.ac.kr/skhong@ajou.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 R01-2006-000-11373-0 지원으로 수행되었음.

영상에서 추출된 정보를 이용하여 로봇을 제어하기 위한 유도 방법[5,14,15]을 사용하는 방법을 제시한다. 마지막으로 6장에서 모의실험과 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 타당성을 검토하고 7장에서 결론 짓는다.

II. 두 바퀴 구동형 이동로봇 시스템의 기구학 및 동역학

본 연구에서 사용된 이동로봇은 독립적으로 좌, 우 두 바퀴를 각각 구동시켜 이동하는 로봇으로서 그림 1에서 이 로봇의 기구학을 직교좌표로 나타내었다.

두 바퀴 구동형 이동로봇의 기구학을 직교 좌표를 이용하여 표현하면,

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_c \cos \theta_c \\ v_c \sin \theta_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

와 같다. 여기서, x_c, y_c 는 두 바퀴 구동형 로봇의 위치를 나타내는 로봇의 x 축, y 축 좌표이고, θ_c 는 자세각이다. v_c 와 ω_c 는 각각 직진속도 및 회전 각속도이다. 로봇에 제어입력 (v_c, ω_c) 을 주면 좌우 바퀴의 속도 명령 $(\omega_{rc}, \omega_{lc})$ 을 얻을 수 있는데, 관계식은

$$\begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} & \frac{l}{r} \\ \frac{1}{r} & -\frac{l}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2)$$

와 같다. 여기서, r 은 바퀴의 반지름이고, l 는 두 바퀴간의 간격이다. 또한 이 로봇은 기구학적으로 비홀로노믹 구속조건을 가지고 있어서 다음과 같은 식을 만족하게 된다[14].

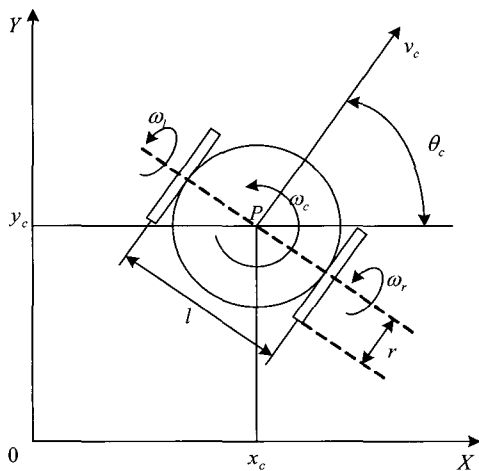


그림 1. 직각 좌표계에서의 두 바퀴 구동형 이동 로봇.
Fig. 1. Two wheeled mobile robots in cartesian coordinates.

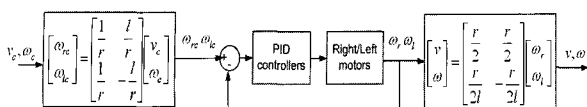


그림 2. 이동 로봇의 동적 제어기.
Fig. 2. Dynamic controller of the mobile robot.

$$\dot{x} \sin(\theta) - \dot{y} \cos(\theta) = 0 \quad (3)$$

위와 같이 기구학과 구속조건을 갖는 이동로봇의 좌, 우 두 바퀴를 제어하기 위해 기구학적 속도제어기를 설계하여 (v_c, ω_c) 를 생성하게 되면 (2)를 통해 각 바퀴의 속도 명령 ω_{rc}, ω_{lc} 을 생성하고, PID제어기를 이용하여 각 바퀴에 장착된 모터의 회전 속도를 제어하게 된다. 위의 일련의 과정들은 그림 2에 나타나 있다.

III. 문제 설정

1개의 카메라를 장착한 이동로봇이 복도를 충돌로부터 안전하게 이동할 수 있도록 하기 위해 로봇의 회전 각속도를 제어하여 왔다[24]. 그러나 로봇을 원하는 시간에 원하는 위치로 이동시키기 위해서는 원하는 속도로 로봇을 주행시켜야 한다. 로봇의 직진속도를 상수로 고정시켰을 때에는 고정된 로봇의 속도가 클수록 로봇의 동적 특성이 커지기 때문에 로봇의 회전 반경이 커지고 로봇의 제동 거리가 길어져 로봇이 벽과 충돌할 위험이 있다. 그림 3에서는 이러한 상황에 대한 모의 실험 결과를 나타내고 있는데, 로봇의 직진속도를 5m/s와 같이 큰 값으로 고정했을 때 로봇이 늘어난 회전 반경으로 인해 벽과 충돌하게 됨을 알 수 있다. 반면, 충돌을 방지하기 위해 직진속도를 낮은 상수 값으로 고정할 경우 로봇의 이동속도가 너무 느려지는 단점이 발생한다.

이상의 문제를 해결 하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 가정을 도입하고 다음 장에서 제어기를 설계한다.

- (1) 자동주행 로봇은 1개의 카메라를 장착한 두 바퀴 구동형 로봇이다.
- (2) 로봇에 장착된 카메라로부터 나오는 정보는 정확하다.
- (3) 로봇이 주행하는 작업공간은 평평한 바닥을 가지고 있다.
- (4) 로봇이 이동할 때 생기는 바퀴의 미끄러짐은 무시할 수 있다.

그림 4는 위의 가정에 따라 1개의 카메라를 장착하고 복도를 주행하는 이동로봇의 모식도이다.

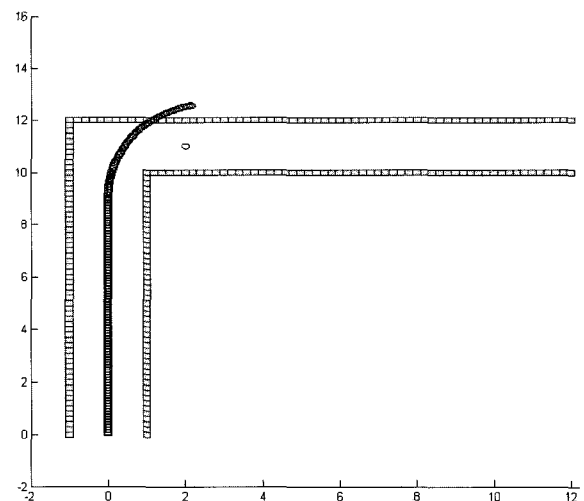


그림 3. 회전 각속도만 제어했을 때 로봇이 회전 시 생기는 충돌 상황.
Fig. 3. Collision situation when only angular velocity is controlled.

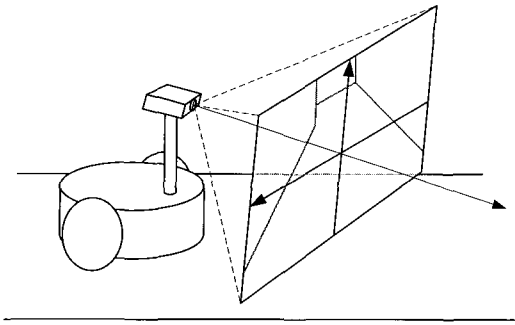


그림 4. 복도를 주행하는 1개의 카메라를 장착한 두 바퀴 구동형 이동로봇의 모식도.

Fig. 4. Corridor navigation mobile robot with monocular camera.

IV. 속도제어를 위한 영상정보 추출

1대의 카메라를 장착한 로봇이 장애물과 충돌 없이 안전하게 복도를 주행하면서 주행의 효율성을 높이기 위해서 영상으로부터 추출해야 하는 몇 가지 정보가 있다. 그 정보들은 기존의 연구들과 같이 로봇의 회전각을 추정하기 위한 소실점과, 복도를 빠르게 이동할 수 있도록 직진 속도를 제어하기 위한 특정한 지점까지의 거리이다.

1. 소실점 추출

영상정보는 3차원 정보가 2차원으로 투영된 결과이다. 따라서 3차원에서 평행한 선은 2차원으로 투영해 보면 서로 교차하는 직선으로 보인다. 투영된 두 직선의 교점을 소실점이라고 한다. 소실점은 실제로 존재하는 점이 아니며 3차원 평면에서 카메라로부터 무한대의 거리에 위치한 가상의 점으로서, 두 직선의 진행 방향을 나타낸다.

그림 5에서 (x_v, y_v) 는 영상에서 소실점의 위치를 나타낸다. 소실점을 찾기 위해 영상에서 복도의 양 경계를 나타내는 점들로부터 직선의 관계식을 생성하고, 생성된 직선의 교점을 찾는다. 이러한 직선의 관계식은 통계적인 방법을 사용하여 쉽게 구할 수 있다[16]. 즉, 복도의 경계를 L_0 와 L_m 로 나타내고, L_0 와 L_m 으로부터 각각 (4)와 같은 모양의 직선의 식을 만들고, 직선의 식들의 교점으로부터 소실점 (x_v, y_v) 을 추출할 수 있다. 그림 5의 L_0 와 L_m 을 최소자승법에 의해 근사화하면 적당한 상수 (a_0, a_m, b_0, b_m) 에 대해

$$y_0 = a_0x_0 + b_0, \quad y_m = a_mx_m + b_m \quad (4)$$

와 같이 근사화될 수 있다. (4)를 얻기 위한 과정을 일반화하기 위해, i 번째 선을 $y_i = a_ix_i + b_i$ 으로 근사화한다고 가정하면, $L_i(x_i, y_i)$ 는 i 번째 선 위에 위치한 점들의 모임에 해당하고, L_i 상의 점들의 개수를 N_i 라고 정의할 수 있다. 이때 (4)의 (x_0, y_0) 는 L_0 상의 점들의 모임이고, (x_m, y_m) 은 L_m 상의 점들의 모임에 해당한다. 여기서,

$$a_i = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sum(x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (5)$$

$$b_i = \frac{\sum y_i - (a_i \cdot \sum x_i)}{N_i} \quad (6)$$

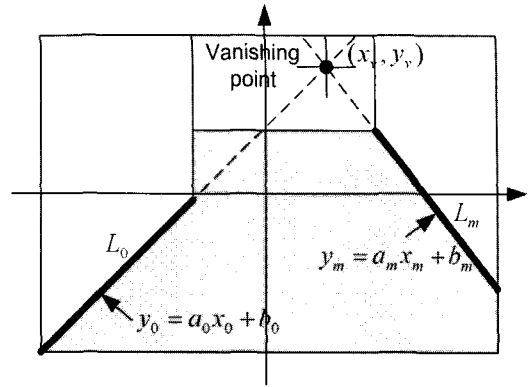


그림 5. 투영된 복도의 경계선으로부터 생성된 소실점.

Fig. 5. Vanishing point generated from projected corridor lines.

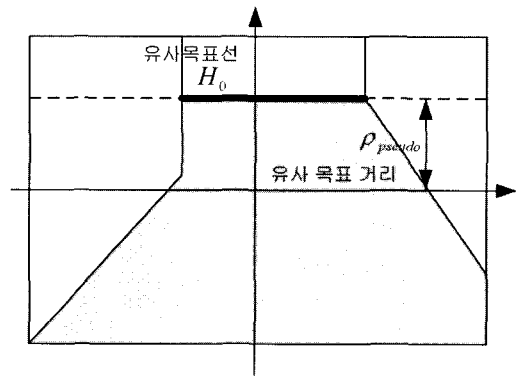


그림 6. 유사 목표선.

Fig. 6. Pseudo target horizontal line.

와 같이 얻어지고, \bar{x}_i, \bar{y}_i 은 x_i, y_i 의 평균이다. 위와 같이 얻어진 a_i, b_i 를 L_0 와 L_m 에 적용하였을 때 a_0, a_m, b_0, b_m 를 얻을 수 있다.

2. 유사 목표점의 추출

로봇이 복도를 주행할 때 로봇은 몇 가지 예외적인 상황을 만난다. 예외적인 상황이란, 로봇이 더 이상 진행할 수 없거나 진행 방향을 바꾸어야 하는 상황으로서 정의할 수 있고, 실제 복도에서는 복도의 막다른 곳, 복도의 방향이 바뀌는 곳, 갈림길 등이 될 수 있다. 로봇이 이러한 위치에 도달하면 안전하게 벽과의 충돌을 피해 돌아 나가거나 방향을 선택하기 위해 속도를 줄이거나 정지해야 한다. 이러한 위치를 유사 목표선(pseudo desired line)이라고 정의한다. 그림 6에서 H_0 가 현재 영상에서의 유사 목표선이다. H_0 는 (4)에서 (6)까지의 과정을 통하여 추출할 수 있다. 영상의 중심으로부터 H_0 까지의 거리를 유사 목표 거리(ρ_{pseudo}) 라고 정의하면, 유사 목표 거리는 다음과 같은 선형 관계식을 통하여 실제 거리로 변환 가능하다[11].

$$d_{3D} = f(\rho_{pseudo}) = \alpha \cdot \rho_{pseudo} \quad (7)$$

이때 $f()$ 는 2차원 정보를 3차원으로 변환하는 변환식이다.

V. 유도기법을 이용한 이동로봇의 속도제어

우리는 4장에서 획득한 소실점과 유사 목표선을 이용하여

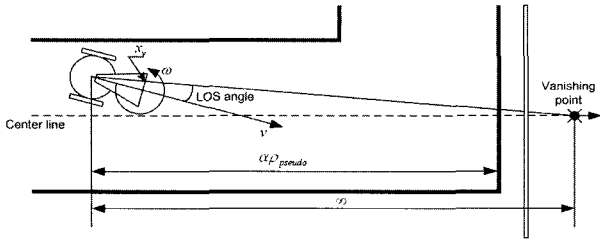


그림 7. 복도 환경에서 시선각과 유사목표 거리(ρ_{pseudo}).

Fig. 7. LOS angle and (ρ_{pseudo}).

로봇의 회전 각속도와 직진속도를 제어하기 위해 시선각 유도방법을 사용한다. 시선각 유도방법은 미사일이나 항공기 유도에서 주로 사용되던 방법이다[5,14,15]. [5]에서는 다음과 같은 되먹임 형태의 시선각 유도방법을 적용하여 리더 항공기와 추종 항공기 간의 거리와 각도를 조절하고 편대를 유지하는 알고리즘을 제안하였다.

$$\omega = k_1(\theta_v - \theta_{LOS}) + k_2 \frac{d}{dt}(\theta_v - \theta_{LOS}) \quad (8)$$

$$v = k_3(l_c - l) \quad (9)$$

여기서, θ_v 는 리더 항공기와 추종 항공기간의 각도이고, θ_{LOS} 는 추종 항공기의 각도이다. l_c 는 리더 항공기와 추종 항공기간의 원하는 거리이고, l 은 리더 항공기와 추종 항공기간의 실제 거리이다. 위의 되먹임 (8)과 (9)를 이용하여 로봇을 목표점으로부터 원하는 거리와 각도를 유지하도록 할 수 있다.

특히 (8)과 (9)과 같이 제안된 제어기는 영상정보를 통해 얻어지는 정보를 보다 쉽게 적용할 수 있도록 하는 장점을 지니고 있다. 따라서 이동로봇의 속도제어에 있어서 시선각 유도방법을 적용한다. 로봇이 안전하고 효율적으로 복도를 주행하도록 하기 위해 소실점과 영상의 중심으로부터 시선각 정보를 생성하고, 유사 목표점을 이용하여 로봇의 유사 목표거리를 생성하여 그 결과를 (8)과 (9)에 적용한다. 그림 7 은 로봇이 복도를 주행할 때 소실점의 위치와 유사 목표선을 실제로 로봇의 작업공간 내에서 나타내고 있다.

1. 이동로봇의 회전 각속도 제어

로봇의 회전 각속도를 제어하기 위해 그림 5에서와 같이 소실점과 영상의 중심으로부터 시선각 정보를 생성한다. 영상에서 복도의 경계에 있는 점들을 이용하여 소실점 (x_v, y_v)를 생성하고 영상의 중심 (x_v, y_v)은 로봇의 진행 방향을 나타내고 있다. 로봇이 상하 운동을 하지 않기 때문에 x_v 가 로봇의 시점에서 본 복도의 방향이라 할 수 있다. 카메라의 시야범위와 영상의 가로 크기를 고려하면 영상내의 점이 나타내는 로봇과의 각도는

$$\text{시선각: 카메라의 시야 범위} = (x_v - x_c) : \max(|x_v - x_c|) \quad (10)$$

와 같이 비례관계를 갖는다. 따라서, (8)과 비교하였을 때, $\theta_v - \theta_{LOS}$ 가 (10)을 통하여 간단하게 $x_v - x_c$ 와 대응되므로 제어입력 ω_c 는 (8)를 이용하면

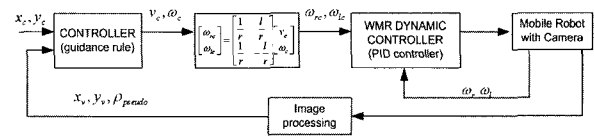


그림 8. 제안된 시스템의 블럭 선도.

Fig. 8. Block diagram of the proposed system.

$$\omega_c = k_1(x_v - x_c) + k_2 \frac{d}{dt}(x_v - x_c) \quad (11)$$

와 같이 설계된다.

2. 이동로봇의 직진 속도 제어

이동 로봇의 직진 속도는 유사 목표선 H_0 와 유사 목표 거리를 이용하여 제어한다. 유사 목표선에서 이동로봇의 속도가 안전하게 회전할 수 있을 정도로 줄어들거나 정지하여야 하기 때문에 이동로봇의 현재 위치로부터 H_0 까지 위치를 제어하는 방법으로 로봇의 속도를 제어한다. 유사 목표 거리가 목표까지의 원하는 거리이기 때문에 (9)의 $l_c - l$ 와 대응될 수 있으므로, 이동로봇의 제어입력 v_c 는

$$v_c = k_3(\rho_{pseudo}) \quad (12)$$

와 같다. (11), (12)와 같은 간단한 제어기들은 한 번 잘 조정된 파라미터를 갖는 이동로봇들을 제어하는데 있어 좋은 결과를 제공한다[1]. 또한 영상에서 획득한 정보들이 (7)과 (10)을 통하여 선형 관계를 이루고 있기 때문에, (11), (12)는 3차원 좌표계로 변환하지 않고 적당한 계수를 곱하여 사용 가능하다 지금까지의 제안된 알고리즘은 블록 다이어그램으로 표시하면 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.

VI. 실험 결과

본 논문에서 제안된 알고리즘의 타당성을 보이기 위해서 두 바퀴 구동형 로봇에 제안된 알고리즘을 적용하여 모의 실험

표 1. 실험에 사용된 이동로봇.

Table 1. Mobile robot used in the experiment.

로봇의 폭(l)	11.5(cm)
로봇의 바퀴 반지름(r)	2.1(cm)
로봇의 무게(g)	378(g)
카메라 시야 각도	20°
영상 크기	360×240 pixels (RGB)

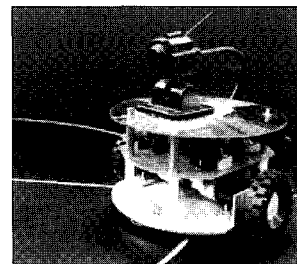


그림 9. 두 바퀴 구동형 로봇.

Fig. 9. Mobile robot used in the experiment.

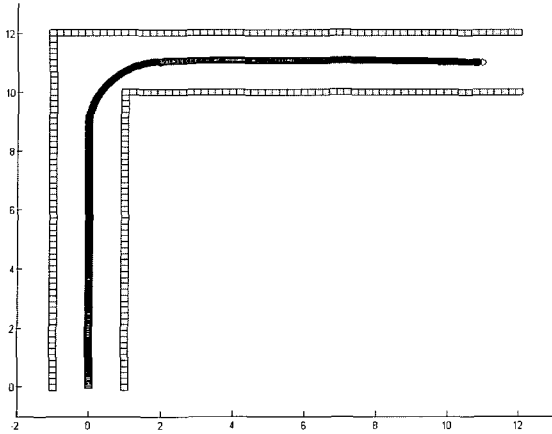


그림 10. 회전 및 직진속도를 동시에 제어하는 경우의 이동 로봇의 복도 주행 모의 실험.

Fig. 10. Corridor navigation when both linear and angular velocity is controlled.

표 2. 실험 결과 비교.

Table 2. Comparison of the experimental results.

직진속도	도달 시간 (초)	회전 시 제어
고정 (3m/s)	7.02	정상 주행
고정 (7m/s)	3.02	벽과 충돌
고정 (10m/s)	2.12	벽과 충돌
고정 (13m/s)	1.63	벽과 충돌
제한된 방법 (그림 12, 13)	1.91	정상 주행

험과 실험하였다. 실험의 편의를 위해 복도를 간단한 모델인 미로로 대신하였다. 실험에 사용된 로봇은 표 1과 같은 규격을 가지고 있고, 그림 9에 나타나 있다.

그림 10은 복도를 주행하는 로봇이 직진속도를 제어하고 있는 상황을 모의 실험한 결과이다. 그림 4와 비교하였을 때 벽과 충돌 없이 안전하게 돌아나가는 것을 알 수 있다.

로봇의 직진속도를 고정하였을 때와 직진속도를 제어하였을 때 회전 위치까지 도달 시간을 비교해 보면 표 2와 같다. 표 2에서 샘플링 시간은 0.01초이다.

표 2에서와 같이 회전 시에 로봇이 제어가능 하기 위해 직진속도를 느리게 고정하였을 때에는 로봇이 복도의 끝에 도달하는 시간이 매우 긴 것을 알 수 있다. 반면 로봇의 복도의 끝에 빠르게 도달할 수 있도록 하기 위해서 직진속도를 큰 상수로 고정하였을 때에는 회전 시 로봇이 발산한다. 로봇의 직진속도를 제어하여 로봇을 주행시켰을 때 복도의 끝에 도달 시간을 줄이고 회전 시에 로봇이 제어가능 하였다.

그림 11에서는 4, 5장에서 언급한 것과 같이 영상으로부터 찾은 소실점과 유사 목표선을 나타내었다. 이때 L_0 와 L_m 를 구하기 위해 캐니 경계 생성 방법을 이용하여 경계선 영상을 생성한다[9]. 이때 그림 12, 13에서는 로봇의 직진 속도와 회전 각속도를 나타낸다. 그림 12는 로봇이 미로를 주행하고 있는 중에 유사 목표 거리의 변화에 의한 로봇의 직진속도 변화를 나타낸다. 그림 13은 로봇이 미로를 주행하고 있는 중에 x_v 의 변화에 의한 로봇의 회전속도의 변화를 나타내고

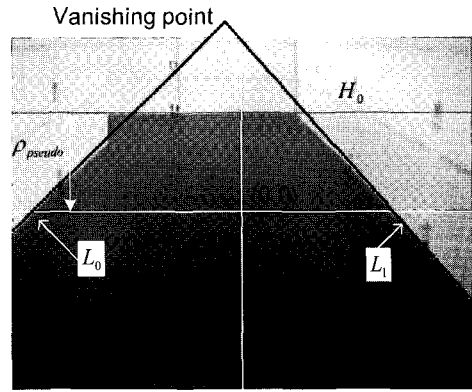


그림 11. 실제 영상으로부터 추출된 소실점과 유사 목표선.

Fig. 11. Vanishing point and Pseudo target horizontal line from the real image.

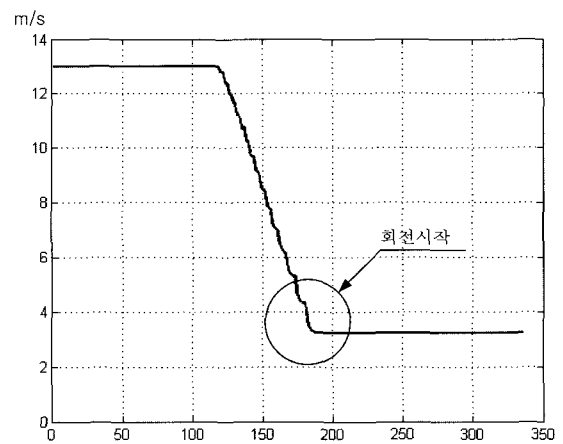


그림 12. 이동로봇 주행 시 유사 목표선까지의 직진속도 변화.

Fig. 12. Linear velocity during the corridor navigation.

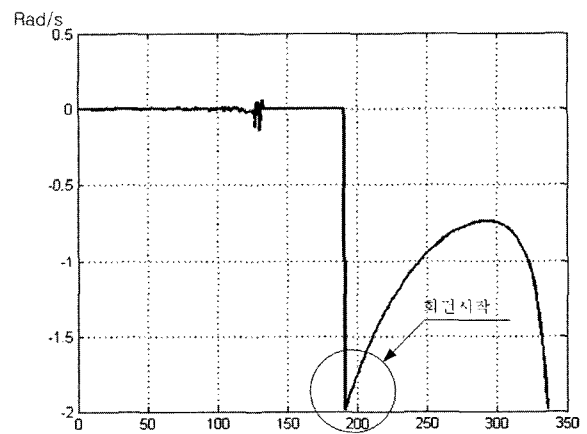


그림 13. 이동로봇 주행 시 유사 목표선까지의 회전 각속도 변화.

Fig. 13. Angular velocity during the corridor navigation.

있다. 그림 14는 로봇이 미로를 주행하면서 얻은 영상을 차례로 나열한 것이다. 아래의 숫자는 미로에서 로봇이 방향을 전환해야 하는 위치까지의 거리를 의미한다. 거리가 가까워 질수록 유사 목표 거리가 작아 진다는 것을 알 수 있다.

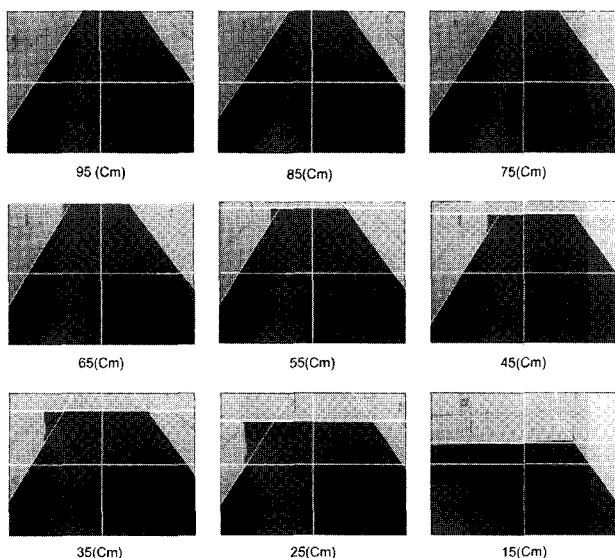


그림 14. 이동 로봇 주행 시의 카메라 획득 영상 (실제 유사 목표점까지의 거리).

Fig. 14. Camera images during corridor navigation.

VII. 결론

비전센서를 장착하고 복도를 주행하는 이동로봇에 대한 기존의 연구들은, 로봇이 벽과의 충돌로부터 자유롭게 주행하도록 하기 위해 로봇의 회전 각속도만을 제어하였다. 그러나 로봇의 직진속도가 증가할수록 동적 특성이 커지게 되어, 회전 각속도만으로 로봇을 충돌로부터 보호할 수 없다. 이 논문은 로봇의 회전 각속도뿐만 아니라 로봇의 직진속도를 제어 변수로 사용함으로써 로봇이 원하는 시간에 원하는 위치에 도달할 수 있도록 로봇을 제어하였다. 이러한 목표를 이루기 위해 영상으로부터 소실점을 찾고 유사 목표선을 설정하였다. 이 두 정보를 시선각 유도방법에 적용하여 두 바퀴 구동형 로봇을 대상으로 복도와 같은 미로환경에서 모의 실험 및 실험을 진행하여 제안된 알고리즘의 타당성을 보였다. 본 연구에서 사용된 시선각 유도 방법은 간단한 제어기로 구성되어 있는데, 시스템의 강인성을 고려하여 다양하고 엄밀한 제어를 설계하고, 적용해볼 필요가 있다. 또한, 회전 시에는 소실점을 이용할 수 없기 때문에 보다 엄밀한 알고리즘이 필요하다. 더 나아가 로봇이 실내의 복도뿐만 아니라 유사한 실내 외 환경을 주행할 때에도 적용될 수 있도록 진행될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] R. Frizera, H. J. Schneebeli, and J. Santos-Vector, "Visual navigation: combining visual servoing and appearance based

methods," *Proc. 6th Intl.Symp. on Intelligent Robotics Systems*, Edinburgh, Scotland, 1998.

[2] S. Šegvić and S. Ribarić, "Determining the absolute orientation in a corridor using projective geometry and active vision," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 3, 2001.

[3] R. Carelli, R. Kelly, O. H. Nasisi, C. Soria, and V. Mut, "Control based on perspective line of a non-holonomic mobile robot with camera-on-board," *International Journal of Control*, vol. 79, no. 4, 2006.

[4] G. N. Desouza and A. C. Kak, "Vision for mobile robot navigation: a survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 2, 2002.

[5] M.-J. Tahk, C.-S. Park, and C.-K. Ryoo, "Line of sight guidance laws for formulation flight," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 28, no. 4, 2005.

[6] A.-M. Zou, Z.-G. Hou, M. Tan, and D. Liu, "Vision-guided mobile robot navigation," *Networking, Sensing and Control, 2006. ICNSC '06*, 2006.

[7] A. Gilg and G. Schmidt, "Landmark-oriented visual navigation of a mobile robot," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 41, no. 4, 1994.

[8] J. O. Wetherbie III, C. E. Smith, "Large-scale feature identification for indoor topological mapping," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 2001*, vol. 5, 2001.

[9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 2002.

[10] M. A. Penna and R. R. Patterson, *Projective Geometry and Its Applications to Computer Graphics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.

[11] D. P. Huttenlocher, M. E. Leventon, and W. J. Rucklidge, "Visually-guided navigation by comparing edge images," *Proc. workshop on Algorithmic foundations of robotics*, San Francisco, U.S., 1995.

[12] S. Florczyk, *Robot Vision*, Wiley-VCH Verlag, Germany: Weinheim, 2005.

[13] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for a non-holonomic mobile robot," *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems*, 1991.

[14] I.-J. Ha and S. Chang, "Design of a CLOS guidance law via feedback linearization," *IEEE Transactions on Aerospace and Electornic System*, vol. 28, no.1, 1992.

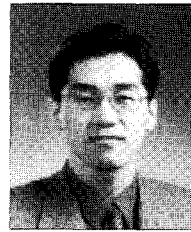
[15] F. Belkhouche, B. Belkhouche, and P. Rastgoufard, "Line of sight robot navigation toward a moving goal," *IEEE Transations on Systems, Man, and Cybernetics-PART B: Cybernetics*, vol. 36, no. 2, 2006.

[16] R. D. Yates and D. J. Goodman, *Probability and Stochastic Processes*, Wiley, 2005.



권지욱

2005년 아주대학교 전자공학부 졸업.
2005년~현재 동 대학원 석사과정 재학 중. 관심분야는 비선형 제어 적응제어, 로봇제어 응용.



좌동경

1995년 서울대 제어계측공학과 졸업.
2001년 동 대학원 박사. 2005년~현재 아주대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 비선형 적응제어, 로봇제어 응용



홍석교

1971년 서울대학교 전기공학과 졸업.
1973년 동 대학원 석사. 1981년 동 대학원 박사. 1976년~현재 아주대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 로봇제어, 컴퓨터응용, 지능제어.