

전방향 위치검출 시스템을 이용한 이동로봇의 주행방법

류지형^{1*}, 김지홍², 이창구¹

The navigation method of mobile robot using a omni-directional position detection system

Ji Hyoung Ryu^{1*}, Jeehong Kim² and Changgoo Lee¹

요 약 이동로봇은 고정된 로봇에 비해 작업영역을 확장할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이러한 장점은 센서들을 사용하여 자신의 위치를 추정하거나 로봇이 원하는 목적지를 파악함으로써 얻어질 수 있다. 본 논문은 전방향 위치 추정 시스템을 이용한 이동로봇의 주행방법에 대하여 설명하고 있다. 이 시스템은 간단한 위치검출 장치를 이용하여 간소화된 위치 데이터를 프로세서에 제공한다. 즉, 사용자가 로봇의 도착점을 지시하면 이 시스템이 위치 방향을 실시간으로 비교 분석하여 오차를 보정한다. 이를 위하여 원뿔형 거울과 단일 카메라를 사용하였다. 이 결과, 사용자가 로봇을 움직이기 위해 가리킨 타겟을 찾아내는 영상처리 시간을 줄일 수 있었다.

Abstract Comparing with fixed-type Robots, Mobile Robots have the advantage of extending their workspaces. But this advantage need some sensors to detect mobile robot's position and find their goal point. This article describe the navigation teaching method of mobile robot using omni-directional position detection system. This system offers the brief position data to a processor with simple devices. In other words, when user points a goal point, this system revise the error by comparing its heading angle and position with the goal. For these processes, this system use a conic mirror and a single camera. As a result, this system reduce the image processing time to search the target for mobile robot navigation ordered by user.

Key Words : Omni-directional, Image, Sensor, Camera, Mobile Robot, Localization, Navigation

1. 서론

현재 가정에서는 산업현장에서 쓰이는 고정된 로봇 대신에 자유롭게 움직이며 사용자에게 보다 가까이 다가 설수 있는 이동로봇이 주를 이루고 있다.

이동로봇은 고정된 로봇에 비해 자신의 작업영역을 확장할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이러한 장점은 이동로봇이 여러 센서들을 이용하여 자신의 위치와 목적지의 위치 등을 파악할 때 얻어질 수 있다.

특히 최근에는 위치추정을 위해서 시각센서를 활용한 연구가 많이 이루어지고 있다. 하지만 시각센서의 이용은 이미지 데이터의 크기가 매우 크고 여러 복잡한 연산을 필요한 경우가 많기 때문에 시스템이 매우 무겁고 구조가 복잡하다.

다른 센서를 사용하는 방법도 비교적 신뢰할만한 정밀도를 얻으려면 고가의 센서를 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 비교적 간단한 연산에 의해 로봇이 도달해야할 목적지의 알려줄 수 있는 전방향 위치인식시스템을 소개하고 이를 이용해 실제 로봇이 실시간으로 목적지를 파악하고 도달할 수 있음을 보이려한다.

2. 전방향 위치검출 시스템

본 시스템은 전방향 위치검출을 위하여 이동로봇의 위에 카메라와 볼록 거울을 사용하였다. 사용자가 레이저 포인터를 이용하여 이동로봇이 도달하여 작업할 위치를

¹전북대학교 전자정보공학부

²전북대학교 제어계측공학과

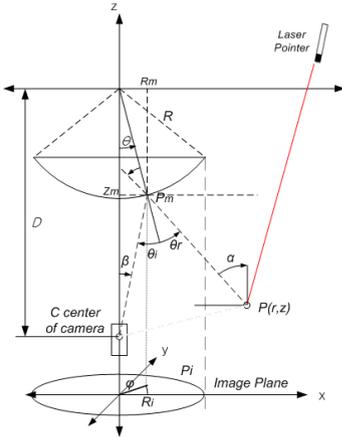
*교신저자: 이창구(changgoo@chonbuk.ac.kr)

접수일 08년 12월 12일

수정일 09년 01월 30일

게재확정일 09년 02월 18일

지시하면 전방향을 반사하는 볼록거울이 이를 반사하고 카메라는 그 영상을 받아 현재 로봇의 위치, 방향과 사용자가 지시한 목적지의 위치, 방향을 실시간으로 비교분석하여 목적지에 도달할 수 있도록 위치, 방향을 보정하여 준다.



[그림 1] 볼록거울과 카메라의 기하학적모델

그림1은 볼록거울과 카메라를 이용한 전방향 위치검출 시스템을 도시한 것이다. 카메라를 이동로봇 위에 위치시키고 이 카메라와 일정간격(D)으로 이격된 위치에 볼록거울을 마주보도록 설치한다. 볼록거울에 반사되어 들어오는 영상은 지면과 수평을 이루고 카메라는 일정하게 고정되어 있기 때문에 촬영된 영상은 항상 같은 크기의 지면 영역만을 찍을 수 있다.

즉, 고정배율 카메라의 중심점으로부터 일정반경(r')에 있는 모든 물체는 카메라에 촬영이 된다. 따라서 $r' = \sqrt{x^2 + y^2}$ 로 카메라의 중심으로부터 볼록거울의 맨 가장자리의 영상까지의 거리는 항상 동일하다. 영상의 반경(r')을 결정하는 요소는 카메라와 볼록거울의 거리(D)와 볼록거울의 곡률(曲率)로, 카메라와 볼록거울의 거리(D)가 멀수록 반경(r')은 증가하고, 곡률이 클수록 역시 반경(r')은 증가한다.

이러한 구조에서 레이저 포인터로 바닥을 비추게 되면 포인트(P)는 카메라 영상의 포인트(Pi)점으로 촬영된다.

그림 1의 기하학적인 표현을 참고하여 거울표면과 카메라 그리고 실 위치의 좌표를 이용한 각과 거리에 의한 수식으로 표현하면, 실점 P가 거울에 반사되어(Pm) 카메라의 영상(Pi)으로 촬영되는 기하학적 관계를 유도할 수 있다. 구면경은 반지름(R)과 구의 중심을 초점으로 하는 거울이며 거울의 특성상 입사각과 반사각은 동일하다 초점으로 들어간 빛은 초점을 따라 반사되기 때문에 초점

과 동일한 궤적으로 입사된 빛은 논의하지 않는다. 촬영하게 되는 영상은 원형의 균일한 두께와 굴절을 갖는 렌즈를 통과하게 되므로 원형 평면의 투영면을 갖는 것으로 가정할 수 있다. 따라서 좌표계는 원통좌표계를 통하여 표현이 가능하다.

실제 목표점 P는 (ϕ, r, z) 로 표현할 때, 거울에 반영된 영상상의 점의 위치는 P_m 은 (ϕ_m, R_m, Z_m) 으로 표현하며 여기서 $\phi_m = \phi$ 이 된다. R_m, Z_m 에 대한 기하학적 궤적을 규명하면, 구면경의 중심에 위치한 구의 중심으로부터 이미지센서(camera)까지의 거리를 D라고 하였을 때 거울에 맺힌 영상의 위치를 계산할 수 있는데, 거울면에 입사된 영상은 거울의 (ϕ, R_m, Z_m) 점에서 접선에 수직으로 구의 중심을 향하여 “ θ ”의 각을 이루는 수직선을 중심으로 입사한 각과 동일한 각을 가지고 출사하여 카메라에 맞게 된다. 이 때, 입사각을 θ_r 라고 하고 반사각을 θ_i 라고 하면 이 두각은 대칭으로 같다. 실 좌표 $P(\phi, r, z)$ 점에서 수직인 선에 대한 각을 α 라고 하면 α 에서 θ_r 을 빼면 θ 를 구할 수 있고 이로부터 θ 와 α 그리고 β 의 관계식 (1)을 구할 수 있다. 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_m &= (D + Z_m) \tan \beta \\ R^2 &= Z_m^2 + R_m^2 \end{aligned} \quad (1)$$

그림 1에서 $P(\phi, r, z)$ 점의 거울과 카메라를 잇는 수직선에 평행한 수직선과 거울을 향해 입사된 빛의 연장선을 통하여 기하학적인 관계식을 이용해 각 α 가 점 P_m 에서 이루는 각이 $\theta + \theta_r$ 임을 알 수 있고 θ_r 과 θ_i 는 광학적 특성에 따라 입사각과 반사각으로 동일한 각을 이룬다.

또한 삼각형의 내합이 일정한 값 π 를 이룬다는 사실로부터 각 β 와 $\theta + \theta_r$ 의 관계를 유도할 수 있다. 이러한 식을 이용해 구면경의 초점에서부터 카메라의 중심까지의 거리(D)의 값과 구면경의 반지름(R)의 값을 정하면 입사된 각(θ_r)과 반사된 각(θ_i)을 거울의 투영된 영상좌표 P_m 을 통해 구할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \theta_r &= \theta_i \Leftrightarrow \theta + \theta_r = \alpha, \\ \Rightarrow \pi - (\theta + \beta) &= \pi - \theta_r, \text{ (삼각형의 내합)} \\ \Rightarrow 2\theta + \beta &= \alpha \\ \Rightarrow -2\arctan\left(\frac{R_m}{Z_m}\right) &= \alpha - \beta \end{aligned} \quad (2)$$

좌표 (r, z) 로 표현된 P점의 위치를 직각좌표계로 환산하여 실제좌표로 변환하는 것은 다음과 같다.

$$P = [\phi, r, z]^T = [\arctan(y/x), \sqrt{x^2 + y^2}, z]^T \quad (3)$$

이고 좌표 P점에서 수직인 선에 대한 각은

$$\alpha = \arctan\left(\frac{z - Z_m}{r - R_m}\right) + \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

가 된다.

거울면에 투영된 Pm의 점의 좌표 (Rm, Zm)으로부터 α, β 를 구할 수 있다. 또한 이 값을 이용해 이미지평면 (Image Plane)에 투영된 점(Pi)의 위치 (u,v)를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fu & 0 & u_0 \\ 0 & fv & v_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tan \beta \cos \varphi \\ \tan \beta \sin \varphi \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, fu, fv는 초점거리다.

식 (1) ~ (5) 에서 유도된 것처럼 촬영된 영상의 이미지를 변환하여 비취진 지점의 좌표를 계산하고 계산된 결과에 따라 방향 및 거리를 측정하게 되고 그 거리는, 즉 카메라의 중심점으로부터 레이저 포인터로 지시한 포인트(P)의 실 거리는 카메라와 볼록거울의 이격 거리(D)와 볼록거울의 곡률에 따라 그리고 이렇게 구성된 시스템의 높이에 따라 다르다.

하지만 위 식에서 유도된 것처럼 영상에서 픽셀과 실 좌표와의 관계식을 이용하여 거리와 방향을 찾아내는 방법은 긴 연산시간을 요구하게 된다. 또한 볼록거울의 곡률이 클수록 촬영되는 이미지에 왜곡이 발생 할 수 있고, 곡률이 일정하지 않은 볼록거울은 이러한 수식을 적용하는 것이 매우 어렵기 때문에 위의 수식들의 효용성은 매우 떨어진다.

이러한 이유로 본 논문에는 곡률과 거리의 관계를 이용하고자 하는 것이 아니고 카메라에 의해 투영된 영상을 분할하여 분할된 영역의 특징을 이용하여 방향과 거리를 판별하여 mobile robot을 위한 센서 시스템과 사용자와 robot사이의 명령 시스템으로 이용하고자 한다.

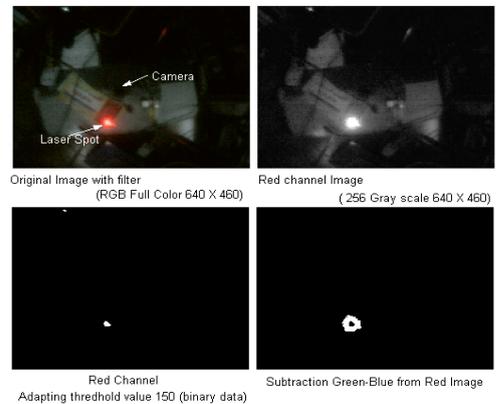
3. 이미지에서 지시점 검출방법

레이저 포인터로 지정된 위치를 카메라로 촬영하게 되면 붉은색 레이저 포인트의 중심점은 밝은 흰색을 나타내고 그 주위는 적색으로 나타난다. Laser Spot영상 특징은 CCD이미지센서를 이용한 카메라를 이용한 촬영에서 하얀색의 중심 색과 빨간색의 외각 색을 반사한다는 것

이다. 따라서 RGB로 표현된 영상 화소 값에 붉은 색인 R 값을 이용하여 threshold 값을 취하면 laser spot을 검출할 수 있게 된다. 본 논문에서 사용한 laser diode는 635~680nm파장을 가지며 3mW이하의 출력을 갖는다.

특히 밝기를 낮추고 laser diode에서 나오는 파장과 다른 파장의 빛들이 영상에 포함되지 않도록 하기 위해 본 논문에서는 검은색과 우리가 사용하는 적색의 보색이 되는 녹색이 혼합된 렌즈 필터를 사용한다. 이를 위해 본 연구에서는 검은색과 녹색의 셀로판지를 겹쳐 만든 셀로판지 필터를 이용하였다.

그림 2는 검녹색(black green) 계열의 필터를 이용하여 밝기를 감소시킨 이미지이고 그림 2의 오른쪽 상단의 1번, 원 영상은 프로그램을 이용하여 RGB영상 중 R계열의 영상을 256-level의 데이터로 만든 2번과 같은 이미지로 변환된다. 2번의 이미지를 250의 값을 문턱치로 취해 250 이상의 값을 갖는 픽셀과 미만의 값을 갖는 픽셀을 구분한 이진데이터형식(0과1)로 만들면 3번의 영상을 얻게 된다. 이 3번 영상의 이미지 데이터를 Green과 Blue의 영상 데이터 값에서 빼게 되면 4번과 같은 붉은색 레이저에 의한 영상만 추출되게 되는 것이다.



[그림 2] 필터를사용하고 촬영된 이미지의 영상처리

그림 2에서 알 수 있듯이 그림 2의 화살표가 지시하는 원안의 한 점이 레이저 포인트가 지정된 위치이다. 이미지에서 가로 픽셀과 세로 픽셀의 RGB 값을 검출하여 검은색에 가까운 픽셀은 버리고, 밝은 색에 가까운 색 또는 색이 모여 있는 군집이 있으면 그 위치의 픽셀이 laser spot point 위치가 된다.

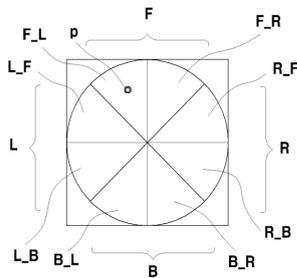
4. 위치검출방법

포인트가 검출되면 포인트에 대한 좌표를 검출하여 방

향 및 거리를 계산한다. 그러나 복잡한 계산은 고가의 처리장치를 필요로 하고 매우 긴 처리시간을 필요로 한다. 좌표를 계산하기보다, 영상 내에서 추출된 표시점에 가깝게 접근하는 방법 즉 표시점과 중심과의 거리가 가까워지는 것을 목표로 하는 최소 에너지법을 적용하여 영상에 투여된 laser spot point를 영상의 중심으로 이동되도록 로봇을 움직이게 하는 방식을 취하게 하는 것이다. 이에 대하여 두 가지의 방법을 제시하였다.

우선 입력된 데이터 테이블을 이용하는 경우, 그림 3은 데이터 테이블을 이용한 좌표 검출 방법으로 먼저 카메라에 들어온 영상 이미지를 각 구역(전(F), 후(B), 좌(L), 우(R))을 분리한다. 영상 센서 및 볼록거울은 로봇에 고정 되어 로봇의 몸체의 일부로 취급가능하고 이렇게 고정된 시스템에 의한 영상은 로봇의 전진 방향 혹은 로봇의 구조적 방향과 일치하게 된다.

도면에 도시한 바와 같이 이미지를 좌 상방에서 우측 아래방향으로 이루어진 사선과 우 상방에서 좌측 아래방향으로 이루어진 사선으로 분리하면 각각 전방, 후방, 좌측, 우측으로 분리되고 각 구역에 해당하는 픽셀을 동일한 구역으로 테이블을 작성한다.



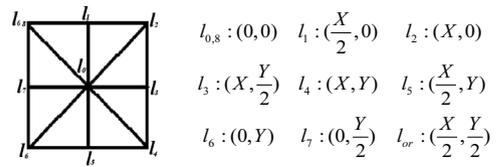
[그림 3] 영상데이터의 구획 나누기를 위한 기준선

카메라에 촬영되는 영상의 이미지 범위는 항상 동일하므로 검출된 포인트(p)의 픽셀과 데이터 테이블의 픽셀을 비교하여 어느 구역에 있는지 알 수 있다. 영상 크기에 따른 2차원 데이터 즉 데이터의 순서가 곧 방향을 의미하게 되는 것이다.

이와 같은 방법에 카메라 중심점을 지나는 가로선과 세로선을 더 추가하여 구역을 더 세분화 할 수 있다. 이와 같이 이루어진 경우 시계방향으로 전방좌측(F_L), 전방우측(F_R), 우측상단(R_F), 우측하단(R_B), 후방우측(B_R), 후방좌측(B_L), 좌측하단(L_B), 좌측상단(L_F)으로 세분화 하여 데이터 테이블이 작성될 수 있다. 즉, 구역에 따른 픽셀의 위치 데이터 테이블을 로딩하는 단계, 검출된 좌표의 픽셀과 데이터 테이블의 좌표를 비교하는

단계를 거쳐, 비교된 좌표의 방향을 계산하게 된다. 로봇의 방향을 로봇의 전진 방향과 일치시키면 로봇과 지시된 laser spot point와의 거리가 가까워지는 값으로 이동시키면 된다.

다음으로 구획을 나누는 방법은 영상 이미지의 픽셀 수가 n*n으로 이루어져 좌측 상단의 첫 번째 픽셀을 X0, Y0로 나타낼 수 있고, 우측 하단의 마지막 픽셀을 Xn, Yn으로 나타낼 수 있다. 이때 중심점은 Xn/2, Yn/2가 되므로 이러한 방법으로 세분화되게 8구간의 방위 혹은 방향으로 구분하여 구간을 정할 수 있다. 이러한 구간을 이용하여 검출되는 포인트(p)의 픽셀이 Xx, Yy이라고 할 때 검출되는 픽셀의 X축 좌표 픽셀과 Y축 좌표 픽셀을 비교하는 방법으로, x의 값이 n/2보다 작으면 중심점에서 좌측에 크면 우측에 있는 것이고, y의 값이 n/2보다 작으면 중심점에서 위쪽에 크면 아래쪽에 있는 것으로 보는 방법은 일반적인 방법이다.



[그림 4] 픽셀에서 구획 나누기를 위한 상대적 좌표

좀 더 구체적으로는 그림 4와 같이 x는 가로 y는 세로 픽셀 위치 일 때 X와 Y는 픽셀 위치의 최고값이라고 하면 영역의 끝점과 중심점 l_{or} 을 잇는 선으로 경계를 나누어 8개의 영역으로 나누고 각 영역을 전방(F), 후방(B), 좌측(L), 우측(R)으로 나누어서 FR, RF, BR, BL, LB, LF, FL로 전방 우측부터 시계방향으로 명명하고 1부터 8까지의 값을 정한다. 각 영역의 경계선은 수직선과 사선과 수평선으로 구성되고 사선은 기울기(a_n)를 이용하여 표현함으로써 영역과 경계선의 관계를 식으로 표현하면, 각 경계 좌표를 X_n, Y_n 으로 하여 픽셀의 중심에서부터 형성되는 경계선의 기울기는 식(6)과 같다.

$$l_n : (X_n, Y_n) \quad a_n = \frac{Y_{n+1} - Y_{or}}{X_{n+1} - X_{or}} \quad (6)$$

이 때 만일 a_n =부정 이면 $x = Y_{n+1} - Y_{or}$ 이고, 만일 $a_n=0$ 이면 $y = X_{n+1} - X_{or}$ 이다.

모든 x, y에 대하여 해당 위치의 픽셀은 0 또는 1의 값을 갖는다. 즉 P(n)을 n 위치에서의 픽셀의 값이라고 하면 P(x, y)는 픽셀 위치 (x, y)의 픽셀 값이 되고 그 값은 0 또는 1 이 된다. 또한 픽셀 위치 (x, y)에서 x의 변위에

따라 y의 변위가 경계선을 형성하는 관계를 함수로 표현 가능하므로 그 관계식은 f(x)로 표현하고 그 식은

$$\begin{cases} P(x,y)=1 \\ \text{or} \\ P(x,y)=0 \end{cases} f_n(x) = a_n x = \frac{Y_{n+1} - Y_{or}}{X_{n+1} - X_{or}} \cdot x \quad (7)$$

$$\text{if } \begin{cases} a_n = \text{부정} & x = Y_{n+1} - Y_{or} \\ a_n = 0 & y = X_{n+1} - X_{or} \end{cases}$$

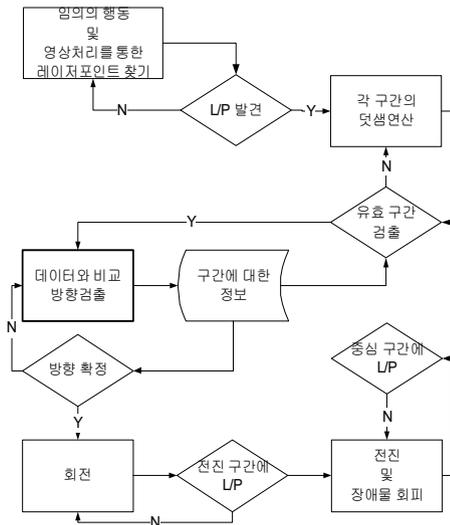
따라서 영역 FR은 1번 영역 안에서 어떤 x는 y=f1(x) 이고

$$\begin{aligned} P(x, f_n(x)) &= 1 \quad \text{or} \quad 0 \\ \text{Sum of Value in area} &= \sum_{x=X_n}^{X_{n+1}} P(x, f_n(x)) \geq 0 \\ \text{when any } x \text{ is } &X_n \leq x \leq X_{n+1} \\ &, f_n(x) \leq y \leq f_{n+1}(x) \end{aligned} \quad (8)$$

만일 Sum 값이 0 이면 포인터가 검출되지 않은 것이고 이 영역은 위치 판별에서 무시할 수 있고 1 이면 영역 내에 포인터가 있다는 것임으로

$$\begin{aligned} \text{Sum of Value in area} &= S(\text{Area}) = \sum_{x=X_2}^{X_{n+1}} P(x, f_n(x)) \geq 0 \\ S(\text{Area}) &= 0(\text{무시영역}) \text{ or } S(\text{Area}) > 0(\text{관심영역}) \end{aligned} \quad (9)$$

으로 판별 가능하다.



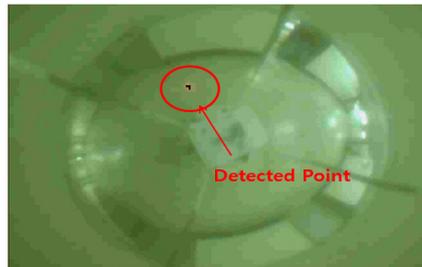
[그림 5] 동작결정 순서도

구간별로 각 구간 내의 데이터를 구하면 각 구간의 값은 유효 데이터가 있는 픽셀이 없다면 "0"이 구해질 것이고 유효한 데이터가 있는 구간은 "0"보다 큰 값이 나오게

된다. 이러한 단순한 연산을 통해 구간들을 확인하고 이 값을 이용하여 IF-THAN형식의 규칙을 이용하여 로봇의 움직임을 판단할 수 있게 한다.

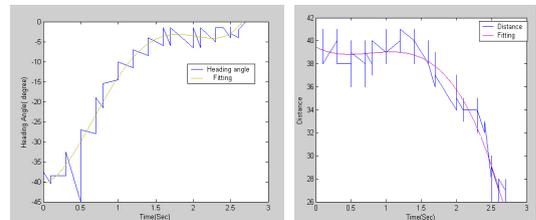
5. 실험

본 논문의 실험을 위한 시스템은 두 개의 차동 바퀴를 갖는 이동형 로봇의 위에 COMS카메라모듈을 올리고 다시 그 위에 전방향 거울을 설치하여 앞에서 소개한 바와 같이 전 방향에 대해서 레이저 포인터의 위치를 검출하고 이를 이용하여 이동로봇의 목적지를 지시하도록 설계되었다.



[그림 6] 실시간 레이저포인터 검출 결과

실험은 본 논문에서 소개한 간단한 알고리즘만을 가지고 로봇이 목적지를 잘 추종하여 갈수 있는지에 중점을 두고 행하였다. 그 결과 그림 6과 같이 로봇이 포인터를 찾아내어 그림 7 a)와 같이 로봇이 포인터를 향해 방향을 추종함을 볼 수 있었고 또한, 그림 7 b)와 같이 이러한 방향으로 거리를 좁혀가 이후 사용자가 지시한 목적지에 도달함을 알 수 있었다.



a) 방향추종
b) 위치추종
[그림 7] 시간에 따른 방향과 위치추종 결과

5. 결론

이동로봇이 자신이 가야할 목표점을 인식하고 자신의

위치와 목표점을 비교하면서 주행하는 데에는 일반적으로 상당히 고가의 센서들을 필요로 한다. 하지만 본 논문에서는 이러한 고가의 센서들을 이요하지 않고 블록거울과 저가의 CMOS카메라만을 이용하여 전 방향에서 목표점을 검출하고 이를 실시간으로 비교하여 주행하는 이동로봇을 제안하였다. 이는 기존의 영상처리 과정과는 달리 간소화 된 룰과 필터를 이용하기 때문에 목표점 검출시간을 줄일 수 있다. 이러한 시스템의 이용범위는 현재의 로봇산업에서도 상당히 넓다. 현재 나와 있는 로봇 청소기의 경우에도 사용자가 청소를 원하는 곳을 실시간으로 로봇에게 알려줄 수 없다는 단점이 있지만 본 논문에서 제시한 방법을 사용한다면 저렴한 추가비용으로 사용자에게 편리한 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Yasushi Yagi, "Map-Based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS." IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 11, No.5, pp.634-648, OCTOBER 1995

[2] Claude Pegard and El Mustapha Mouaddib, "A mobile robot using a panoramic view," IEEE International conference on robotics and automation, pp.89-94, April, 1996.

[3] Chan-hong Chao, Cheng-Hsiang Ho, Sheng-Hsiung Lin, "Omni-Directional Vision-Based Parallel-Parking Control Design for Car-Like Mobile Robot" IEEE International conference on Mechatronics, pp.562-567, July, 2005.

[4] J. S. Chahl and M. V. Srinivasan. "Reflective surfaces for panoramic imaging." Applied Optics, 36:8275-8285, Nov. 1997.

[5] N. Ayache and O. Faugeras, "Maintaining representations of the environment of a mobile robot" IEEE Transactions on Robotics and Automation, 5(5):804-819, Dec. 1989.

[6] R. Cassinis, D. Grana, and A. Rizzi. "Self-localization using an omni-directional image sensor, In 4th Int. Symp. On Intelligent Robotic Systems, pp.215 July 1996.

[7] A. Bonarini, P. Aliverti, M. Lucioni. "An omnidirectional sensor for fast tracking for mobile robots." IEEE International Transaction on Instrumentation and Measurement, vol 49, No.3, pp.509-512, 2000

[8] Y. Matsumoto, M. Inaba, and H. Inoue, "Visual navigation using view sequenced route representation" in Proc. IEEE International conference on robotics and automation, pp.83-88, 1996

[9] J.H. Kim, H.S. Kim, C.G. Lee, "The Indoor Position Detection Method using a Single Camera and a Parabolic Mirror" Journal of Institute of Control, Robotics and System Vol. 14, No. 2, Feb 2008

류 지 형(Jihyoung Ryu)

[정회원]



- 2007년 2월 : 전북대학교 대학원 제어계측공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 박사과정

<관심분야>

이동로봇, 지능제어, 자동화시스템

김 지 흥(Jecheon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 전북대학교 대학원 제어계측공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

<관심분야>

로보틱스, 기구학, 제어공학

이 창 구(Changgoo Lee)

[정회원]



- 1981년 2월 : 전북대학교 전기공학과 학사.
- 1983년 3월 ~ 1991년 12월 : 한국전자통신연구원 선임연구원.
- 1991년 2월 : 전북대학교 전기공학과 박사
- 1992년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 교수

<관심분야>

현대제어, 퍼지제어, 지능형시스템