

손 동작 인식을 이용한 이동로봇의 주행

Navigation of a Mobile Robot Using Hand Gesture Recognition

김 일 명, 김 완 철, 윤 경 식, 이 장 명

(Il-Myung Kim, Wan-Cheol Kim, Kyoung-Sik Yun, Jang-Myung Lee)

Abstract : A new method to govern the navigation of a mobile robot using hand gesture recognition is proposed based on the following two procedures. One is to achieve vision information by using a 2-DOF camera as a communicating medium between a man and a mobile robot and the other is to analyze and to control the mobile robot according to the recognized hand gesture commands. In the previous researches, mobile robots are passively to move through landmarks, beacons, etc. In this paper, to incorporate various changes of situation, a new control system that manages the dynamical navigation of a mobile robot is proposed. Moreover, without any generally used expensive equipments or complex algorithms for hand gesture recognition, a reliable hand gesture recognition system is efficiently implemented to convey the human commands to the mobile robot with a few constraints.

Keywords : mobile robot, hand gesture recognition, 2-DOF active camera

I. 서론

현대사회가 고도화된 정보사회로 급진적으로 발전해감에 따라 컴퓨터나 컴퓨터화된 기계가 일상 생활 속에 많이 쓰이게 되면서 기존의 인터페이스 방법인 키보드나 마우스가 가지는 의사소통의 제약성을 극복하고, 사용자에게 보다 사람과 사람과의 의사소통과 같은 자연스럽고 지적인 인터페이스를 개발하려는 연구가 현재 많이 진행되고 있다[1]. 그로 인해 사람과 컴퓨터와의 상호 의사소통을 구현하기 위한 방법으로 사람들간의 의사표현 방법을 모방한 음성이나 시각(제스처, 얼굴 표정) 그리고 촉각을 이용하는 방법들이 있는데, 특히 이러한 연구들 중에서도 실생활에서 대부분의 사람들이 손을 통해 사물을 사용하고 있으며 다른 방법들과는 달리 손 동작이 가지는 빠른 의사전달의 특징과 함축적 의미의 제스처를 통해 많은 정보를 전달할 수 있는 특징을 이용하여, 사람들에게 보다 자연스러우며 단순하면서도 다양한 의미의 전달이 가능한 손을 이용한 사람과 컴퓨터의 인터페이스장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 손 동작의 여러 가지 장점에도 불구하고 실제 손 동작 인식을 사용한 시스템이 널리 쓰이지 못하고 있는 이유를 몇 가지 들자면 다음과 같다. 우선 손 동작의 발생속도가 사람에 따라 다르며, 같은 사람에 대해서도 차이가 있다는 점이 있다[3]. 이러한 어려움들로 인해 손 동작의 유용성에도 불구하고 아직 손 동작 인식 시스템의 개발에 어려움이 있는 것이다. 본 논문에서는 이동로봇과 사람과의 의사전달 매개체로써 2자유도의 능동카메라를 이용하여 손 동작을 인식하고 그에 맞는 명령을 수행함으로써 기존 이동로봇 관련논문에서 사용하고 있는 landmark, beacon 등의 정적인 인식물을 통

해 로봇을 주행하는데 비해 본 논문에서는 동적으로 주행할 수 있다는 장점이 있다[4][5]. 또한 손 동작의 인식에 있어 이런 여러 방법들이 제안되고 있지만 실제 적용에 있어 다양한 상황 변화에 대한 강인성이 부족하였고 복잡한 알고리즘의 구현이 필요로 하였다. 이러한 복잡한 알고리즘 구현은 연산 속도를 현저하게 감소시킴으로써 실시간 처리가 어렵다[6][7]. 그래서 본 논문에서는 이러한 실시간적인 문제 처리를 위해 간단한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 연산 처리 시간을 현저하게 줄임으로써 제어에서 가장 중요한 문제인 실시간 처리를 가능하게 했다. 본 논문에서 실시간의 기준은 비전보드에서 초당 20~30 프레임 정도의 속도로 영상을 캡처하는데 이 속도안에 충분하게 영상을 처리하며 사람과 로봇간의 의사소통에 100ms라는 시간이 충분하다는 것을 기준으로 하였다. 또한 손 영역의 크기나 변화에 강인하기 때문에 로봇의 이동시에도 여전히 유효하게 손 영역을 인식할 수 있고 연속적인 손 영역 검출 뿐만 아니라 영상에서 외란으로 작용할 수 있는 조명에 둔감할 수 있는 알고리즘과 손 영역을 연속적으로 추적하기 위해 2자유도의 능동카메라를 사용하였다.

II. 이동로봇과 2-DOF 능동카메라의 기구학

본 장에서는 이동로봇이 주행할 때 현재위치를 알아내기 위한 이동로봇과 2-DOF 능동카메라의 기구학을 구한다. 이동로봇이 주행할 때 두 바퀴의 속도를 world coordinates로 변환하여 현재 이동로봇의 위치를 알아낼 수 있지만 이동로봇의 초기 위치를 정확히 알고 있다고 해도 로봇이 주행함에 따라 측정 오차와 미끄러짐 등에 의해 위치 추정치는 불확실성을 갖게 된다. 그래서 이를 보정하기 위해 카메라의 기구학을 사용함으로써 이를 보상하고 이동로봇이 이동할 때 기준점이 되는 사람과의 거리를 알 수 있게 된다.

1. 이동로봇의 기구학

이동로봇의 상태를 그림 1과 같이 위치와 방향을 갖는 벡터 $p = [x, y, \theta]^T$ 로 표현한다. 일반적으로 이동로봇의 운동은

논문접수 : 2001. 10. 22, 채택확정 : 2002. 2. 20.

김일명 : 부산대학교 전자공학과(ilmyoung@pusan.ac.kr)

김완철 : 부산대학교 전자공학과(maldug2@pusan.ac.kr)

윤경식 : 부산대학교 전자공학과(shadow@pusan.ac.kr)

이장명 : 부산대학교 전자공학과(jimlee@pusan.ac.kr)

※ 본 논문은 정보통신연구소에서 지원하여 연구하였습니다.

두 제어입력인 선형속도 u 와 각속도 ω 에 의해 제어되는 시스템으로 (1), (2)와 같이 모델링된다[8].

$$u = \frac{1}{2}(v_R + v_L) \tag{1}$$

$$w = \frac{1}{L}(v_R - v_L) \tag{2}$$

여기서 v_R, v_L 은 각각 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 속도이며, L 은 두 바퀴간의 거리이다. 속도 \dot{p} 는 자코비안 행렬 $J(p)$ 에 의해 통해 (3)과 같이 표현된다.

$$\dot{p} = J(p) \dot{q}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \omega \end{bmatrix} \tag{3}$$

위치벡터 p 는 (4)와 같이 (3)의 적분형태가 된다.

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int u(\tau) \cos(\theta(\tau)) d\tau \\ \int u(\tau) \sin(\theta(\tau)) d\tau \\ \int \omega(\tau) d\tau \end{bmatrix} \tag{4}$$

2. 2-DOF 능동카메라의 기구학

영상정보에서 사람까지의 거리를 추정하기 위해서는 기저(base) 좌표계에 대한 카메라의 위치 및 방향에 대한 정보가 필요하므로 순방향 기구학 해석이 선행되어야 한다.

순방향 기구학 해석을 위하여 위의 그림 2와 같이 D-H법에 의해 좌표축을 설정하고 표 1의 link parameter table을 얻을 수 있다. 그리고 이 link parameter값을 이용하여 아래에 있는 (5)와 같이 기저 좌표에서 말단점까지의 변환식을 얻을 수 있다. 여기서 α 는 Tilt 각도를 나타내며, β 는 Pan 각도를 나타낸다[9].

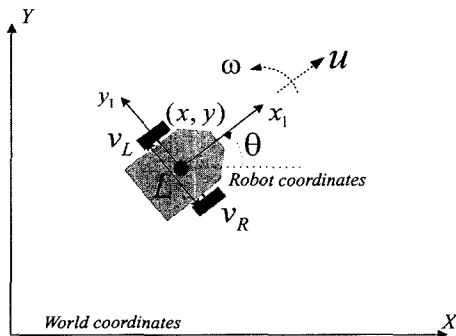


그림 1. 이동로봇 모델.
Fig. 1. Model of a mobile robot.

표 1. DH 링크 파라미터.

Table 1. DH link parameters.

link	θ	d	a	α
1	0	l_1	0	-90°
2	$90^\circ - \alpha$	0	l_2	0
3	90°	0	0	90°
4	β	0	l_3	0

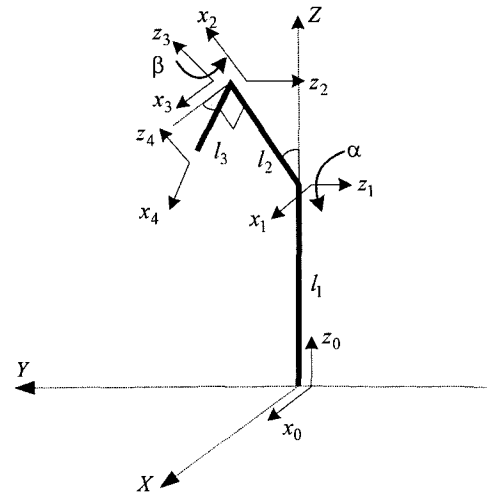


그림 2. 능동카메라 기구부의 좌표계.
Fig. 2. Coordinates of the active camera.

$${}^0H_4 = {}^0H_1 \cdot {}^1H_2 \cdot {}^2H_3 \cdot {}^3H_4 \tag{5}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\alpha)\cos(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha) & l_2\sin(\alpha) + l_3\cos(\alpha)\cos(\beta) \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & l_3\sin(\beta) \\ -\sin(\alpha)\cos(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\alpha) & l_1 + l_2\cos(\alpha) - l_3\sin(\alpha)\cos(\beta) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

기준 좌표계에서의 카메라의 위치는 (6)~(8)과 같이 나타난다.

$$x_{ccd} = l_2\sin(\alpha) + l_3\cos(\alpha)\cos(\beta) \tag{6}$$

$$y_{ccd} = l_3\sin(\beta) \tag{7}$$

$$z_{ccd} = l_1 + l_2\cos(\alpha) - l_3\sin(\alpha)\cos(\beta) \tag{8}$$

그리고 자세를 결정하는 Roll각 θ_R , Pitch각 θ_P , Yaw각 θ_Y 는 (9)~(11)과 같다.

$$\theta_R = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\alpha)\sin(\beta)}{\sqrt{\cos^2(\alpha)\sin^2(\beta) + \cos^2(\beta)}} \right) \tag{9}$$

$$\theta_P = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\alpha)\cos(\beta)}{\sqrt{\cos^2(\alpha)\cos^2(\beta) + \sin^2(\beta)}} \right) \tag{10}$$

$$\theta_Y = \beta \tag{11}$$

2.1 영상정보와 실제환경의 변환관계

영상정보에서 실제물체의 위치를 추정하기 위하여 그림 3과 같이 핀 홀 카메라모델을 사용하였다[10]. 영상 좌표계를 이용하여 실제 물체의 위치를 추정하는 과정은 (12)~(15)에 나타냈고 로봇과 실제 위치를 추정하는 좌표계 설정은 그림 4와 같이 설정하였다.

(12)는 영상계에서의 x, y 좌표는 기구학적인 특징으로 인해 θ_R 에 의해 회전된 영상으로 나타나므로 회전된 양을 보상해 주는 것을 나타낸다.

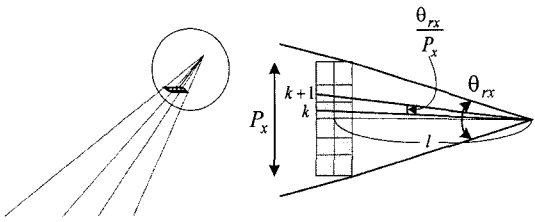


그림 3. 핀 홀 카메라 모델.
Fig. 3. Pin-hole camera model.

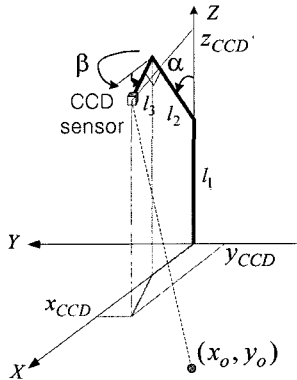


그림 4. 실제 위치 추정.
Fig. 4. Real position estimation.

$$\begin{bmatrix} j' \\ k' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_R) & -\sin(\theta_R) \\ \sin(\theta_R) & \cos(\theta_R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j - \frac{P_x}{2} \\ k - \frac{P_y}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

(13)에서 \hat{r}_0 는 카메라의 위치에서 사람까지의 거리를 나타내고 $\hat{\theta}_0$ 는 사람과 카메라간의 편각이다.

$$\hat{r}_0 = z_{ccd} \cdot \cot(\theta_p - \frac{k'}{P_y} \theta_{rx}) \quad \hat{\theta}_0 = \frac{j'}{P_x} \theta_{rx}$$

(14), (15)는 이동로봇과 사람 사이의 x, y 의 좌표관계를 나타내는 식이다.

$$x_0 = \gamma_{ccd} \cdot \cos(\theta_Y) + \hat{\gamma}_0 \cdot \cos(\theta_Y + \hat{\theta}_0) \quad (14)$$

$$y_0 = \gamma_{ccd} \cdot \sin(\theta_Y) + \hat{\gamma}_0 \cdot \sin(\theta_Y + \hat{\theta}_0) \quad (15)$$

여기서, j', k' 는 회전을 보정한 영상, j, k 는 영상계에서의 x, y 좌표이고 $\frac{P_x}{2}, \frac{P_y}{2}$ 는 영상좌표의 중심이다. 기준 좌표계에서 카메라까지 거리는 $r_{ccd} = \sqrt{x_{ccd}^2 + y_{ccd}^2}$ 이다.

III. 인식 시스템 설계

본 장에서는 인식 시스템을 설계하기 위한 선행 처리로써 먼저 배경에서의 조명의 영향을 줄이기 위한 조명처리를 수행하고 두 번째로 손 영역을 추출한다. 다음으로 불필요하게 추출된 영상을 제거하기 위해 필터링을 수행한다. 이 때 불

필요한 영역이 크게 나타날 때 어느 것이 우리가 주시하는 손 영역인가를 알아내기 위해 라벨링 과정을 통하여 각각의 물체를 알아보게 된다. 이런 과정을 통해 얻어진 손 영역은 본 논문에서 제시한 2가지의 알고리즘을 통하여 손 동작을 인식하게 된다.

1. 손 영역 추출

손 인식을 위해서는 손 영역의 추출을 위한 전처리 과정을 선행해야 한다. 첫 번째 배경처리에서 조명의 문제를 해결하였고 두 번째로 배경과 손 영역을 구분하기 위해 임계값 처리를 수행하였다. 세 번째로 잡음을 없애기 위해 필터링 작업을 수행하고 우리가 고려하는 손 영역만을 추출하여 불필요한 연산을 줄이기 위해 영상에서 손목제거를 수행하였다. 네 번째로 고려하지 않은 물체가 나타날 경우 각각의 물체를 구분하기 위해 추출된 물체에 번호를 부여하는 라벨링 작업을 수행하였다.

1.1 조명 처리

물체의 컬러는 빛의 조사 관계로 변화하는 휘도신호, 물체에 따라 고유한 값인 채도, 색상으로 구성된다. 빛의 조사 관계로 변화하는 휘도신호를 일정하게 함으로써 빛의 문제를 해결한다. 실제 RGB 컬러 값을 휘도신호와 색 신호로 분리하는 것은 (16)에 나타나 있다. 아래의 식은 PAL(Phase Alternation Line) 방송 TV에서 사용되는 컬러모델방식이다.

각각의 상수값은 빛 파장에 대한 시각의 반응의 정도를 비율로 표현한 것으로 그 상수의 합은 1이 된다.

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (16.1)$$

$$C1 = R - Y = 0.7 * R - 0.59 * G - 0.11 * B \quad (16.2)$$

$$C2 = B - Y = -0.3 * R - 0.59 * G + 0.89 * B \quad (16.3)$$

휘도신호를 일정하게 고정된 다음 다시 이 휘도 신호에 맞는 RGB컬러 값을 만들기 위해 역 변환을 수행해야 한다. 역 변환식은 (17)에 나타나 있다[11].

$$R = Y + C1 \quad (17.1)$$

$$G = Y - 0.3/0.59 * C1 - 0.11/0.59 * C2 \quad (17.2)$$

$$B = Y + C2 \quad (17.3)$$

1.2 임계값 처리

우리가 관심을 두는 손 영역만을 추출하기 위해 (18)과 같이 임계값 처리를 하였다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (18)$$

여기서, $f(x, y)$ 는 처리 전 (x, y) 에 있는 화상 농도값이고 $g(x, y)$ 는 처리 후 (x, y) 에 있는 농도값이다. 그리고 t 는 임계값을 나타낸다. 임계값을 정하는 방법으로는 히스토그램의 골짜기를 이용하는 mode법을 사용하였다[11].

1.3 필터링

화상을 처리할 때 목적 화상에 거칠은 장애물이 실림에 따라 화상 잡음이 발생하게 된다. 이러한 화상 잡음은 영상 처리시 불필요한 연산을 수행하게 된다. 이러한 잡음을 제거하기 위해서는 필터링 과정을 꼭 거쳐야 한다. 필터링 방법에는 평활화에 의한 방법으로 이동 평균법, 매디언 필터와 모폴로지 기법인 Opening 연산, Closing 연산등이 있다. 본 논문에서는 실험 결과가 더욱 우수한 필터 성능을 보인 모폴로지 기법을 이용하였다[12][13].

1.4 라벨링

각각의 물체에 번호를 부여하는 과정으로써, 이 처리로 개개의 연결 성분으로 분리할 수 있으며, 각 연결 성분의 특징을 조사할 수 있다. 여기서는 손의 색깔이나 형태가 비슷하여 필터링이 되지 않은 물체를 제거하기 위해서 사용되었다[11].

2. 손목인식과 엄지손가락 검출

관심을 두는 영역인 손 영역만을 추출하고 불필요한 연산을 줄이기 위해 그림 5와 같이 손목인식 과정을 수행하였다.

그림에서 먼저 팔과 손 영역의 전체 영역을 least-squares fit of line 방법으로 하나의 직선으로 표현하고 그 직선과 수직하는 하나의 직선을 설정하여 손목 부위와 엄지가 만나는 영역의 급격한 굽기 변화(L3, L2, L1)를 보고 손목제거 연산을 수행하였다. 이 값은 여러번의 실험으로 그 값을 찾았다. 그리고 손 동작 인식과정에서 엄지손가락의 유무를 알아내는 것은 아주 중요한 과정이므로 위에서 생성된 직선을 이동할 때 가장 큰 값(L4) 나타나는 것을 보고 엄지손가락의 유무를 판단하게 된다. (19)의 임의의 직선의 방정식은 전체 손 영역을 나타내게 될 직선 방정식으로 계수 C1, C2 을 구하는 과정은 (20)~(23)이다.

$$g(x) = c_1x + c_2 \tag{19}$$

(20)에서 x_i, y_i 는 손 영역 pixel의 좌표를 나타낸다.

$$r_i = y_i - g(x_i) = y_i - (c_1x_i + c_2), i = 1, 2, \dots, L \tag{20}$$

이 좌표를 하나의 직선으로 치환할 수 있도록 (21)과 (22)와 같이 직선 방정식에 각 픽셀이 대응될 때의 에러 제곱을

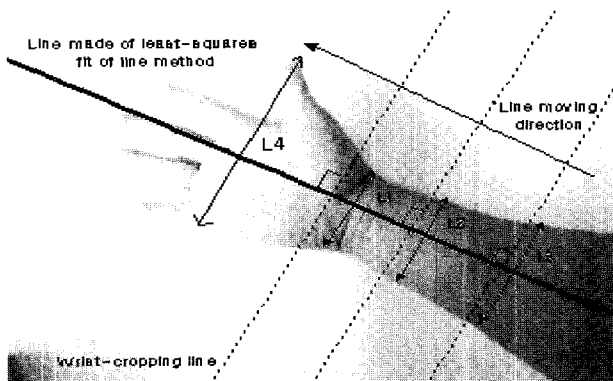


그림 5. 손목인식 방법.
Fig. 5. Wrist Recognition Method.

구하고 이 에러가 최소가 되는 계수 C1, C2를 (23)에 나타낸다.

$$R = \sum_{i=1}^L r_i^2 = \sum_{i=1}^L (y_i - c_1x_i - c_2)^2 \tag{21}$$

$$\frac{\partial R}{\partial c_1} = -2 \sum_{i=1}^L x_i (y_i - c_1x_i - c_2) = 0 \tag{22}$$

$$\frac{\partial R}{\partial c_2} = -2 \sum_{i=1}^L (y_i - c_1x_i - c_2) = 0$$

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} \tag{23}$$

여기서, $a_{1,1} = \sum_{i=1}^L x_i^2, a_{2,2} = \sum_{i=1}^L 1 = L, z_1 = \sum_{i=1}^L x_i y_i, z_2 = \sum_{i=1}^L y_i$ 이고 계수 c_1, c_2 는

$$c_1 = (a_{2,2}z_1 - a_{1,2}z_2) / (a_{1,1}a_{2,2} - a_{1,2}a_{2,1})$$

$$c_2 = (a_{1,1}z_2 - a_{2,1}z_1) / (a_{1,1}a_{2,2} - a_{1,2}a_{2,1})$$

이렇게 나타난 직선 방정식은 손 영역 전체를 나타내고 이 직선 방정식에 직교하는 직선을 구하고 직선을 움직이면서 손목의 굽기를 변화를 보고 적당한 굽기에서 손목 영역을 제거하게 된다.

3. 손 동작 인식

카메라의 위치는 2자유도의 능동카메라를 사용함으로써 항상 손 동작을 주시할 수 있지만 이동로봇이 이동함으로써 거리가 달라지면 이전의 특징점만으로는 손 동작을 분별하기가 어려워지게 된다. 또한 기존에 많이 이용되고 있는 신경 회로망을 이용한 인식 방법은 학습하는데 많은 시간이 소모되며 많은 샘플 데이터가 필요하다는 단점이 있다[14][15]. 그래서 여기에서는 실 시간적으로 거리에 관계없이 실 시간적으로 손 동작을 인지 할 수 있도록 몇가지의 특징점과 간단한 2가지 알고리즘으로 인식 시스템을 설계하였다.

그래서 첫 번째로는 이동로봇이 사람과 근접해 있을 때는 손 모양의 복잡한 정도를 측정하는 원형도와 첫 번째 알고리즘을 주로 사용한다. 그리고 이동로봇이 원거리로 이동할 때에는 2번째 알고리즘을 사용하였다. 이 거리는 반복적인 실험으로써 알아낼 수 있었다.

3.1 원형도

면적, 원주 길이를 토대로 형상의 복잡한 정도를 측정하는 특징량으로써 원형도를 구하는 방법은 아래의 (24)와 같다. 원형도는 원의 경우 1의 값을 가지게 된다. 손 동작 인식 시에 일정 거리를 유지할 경우 각각의 손 동작마다 다른 원형도 값을 가지게 되어 손 동작을 인식하는데 하나의 특징점으로 사용할 수 있다.

$$e(\text{원형도}) = 4\pi(\text{면적}) / (\text{원주길이})^2 \tag{24}$$

3.2 손가락 사이의 거리와 마디점

손가락 사이의 거리와 손가락 사이의 굴곡점은 손의 계수

를 알아내는 중요한 파라미터가 된다.

손의 중심점은 손목 제거 연산이 수행된 후, 영상에서 픽셀 위치 (x_i, y_i) ($i=0, \dots, n-1$)의 평균값으로 다음의 (25)와 같다.

$$C (CenterX, CenterY) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right) \quad (25)$$

그림 6에서 손의 무게 중심점 C에서 손 외곽을 따라 거리의 변화를 계산함으로써 손가락 사이의 거리와 마디를 알 수 있다. 마디는 R의 변화분인 dR의 극대점과 극소점이며 각 극대점이 발생하는 지점과 θ 값으로 삼각법을 이용하여 손가락사이의 거리를 구할 수 있다. 아래의 (26)에 거리와 각도를 계산하는 식을 나타내었다.

$$R = \sqrt{(cx-x)^2 + (cy-y)^2} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{cy-y}{cx-x} \right) \quad (26)$$

그림 7을 보면 손 외곽과 중심점간의 거리 R을 반지름으로 하지만 손가락을 모두 교차하기 위해서는 거리 R보다 조금 작은 반지름을 가져야함으로 시뮬레이션을 통해 R과 곱해질 상수 k를 구하였으며, ϕ 씩 각도의 변화를 주며 원을 그리고 원을 지나는 손 외곽 Pixel의 좌표를 추출함으로써 손가락 개수뿐만 아니라 각 손가락이 나올 수 있는 각도를 알 수 있기 때문에 어떤 손가락이 퍼졌는지도 알 수 있게 된다. (27)은 원을 지나는 좌표 값을 나타낸다[16].

$$\begin{aligned} x_i &= cx + kR \cos(\theta + \phi) \\ y_i &= cy + kR \sin(\theta + \phi) \end{aligned} \quad (27)$$

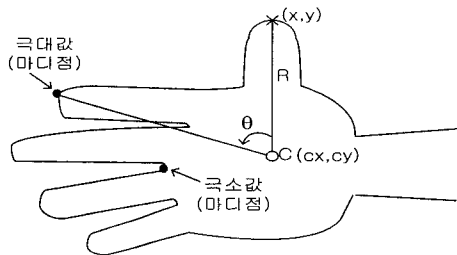


그림 6. 손가락사이의 거리와 폭.
Fig. 6. Distance and of width between fingers.

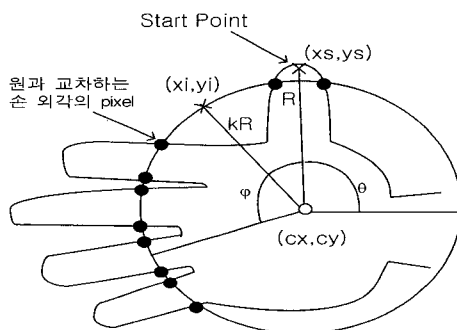


그림 7. 손 동작 인식 알고리즘.
Fig. 7. Hand recognition algorithm.

IV. 실험 및 고찰

1. 시뮬레이션(1)

손가락 사이의 거리와 손가락 사이의 마디점을 알아내고 이 데이터가 유효한가를 알기 위해 시뮬레이션을 행하였다. 그림 8은 실제 손 영상을 나타낸다. 그림 9에서 손가락 사이의 거리 변화에서 손가락의 마디점인 극대점과 극소점을 알아 내면 손가락의 개수를 알 수 있음을 볼 수 있다. 손가락 사이의 거리 크기는 고려할 필요가 없기 때문에 크기는 1과 -1로 normalize했다.

2. 시뮬레이션(2)

그림 10은 시뮬레이션에 사용된 실제 손 영상이고 그림 11은 엄지손가락과 중심점간의 거리 R을 반지름으로 하며 ϕ 씩 각도의 변화를 주면서 원을 그리며 원을 지나는 Pixel의 좌표를 알아내고 이 좌표와 손가락이 만나는 지점을 시뮬레이션 한 것이다. 그리고 원의 반지름에 곱해질 상수값을 알아내었다. 상수 값 k는 0.7~0.98정도의 값이 될 때 모든 손가락과 원이 교차할 수 있었다.

3. 실험장치

그림 12는 로봇의 전체 시스템 구성을 나타낸 것이다. 전체적으로 6개의 제어기가 있으며 이들은 하나의 상위제어기와 5개의 하위제어기로 구분된다. 상위제어기는 pentium MMX-223 PC 보드를 사용하여 여기에 영상정보 획득을 위한 프레임 그래버 카드가 PCI 버스를 통해 인터페이스 되며



그림 8. 실제 손 영상.
Fig. 8. Real hand image.

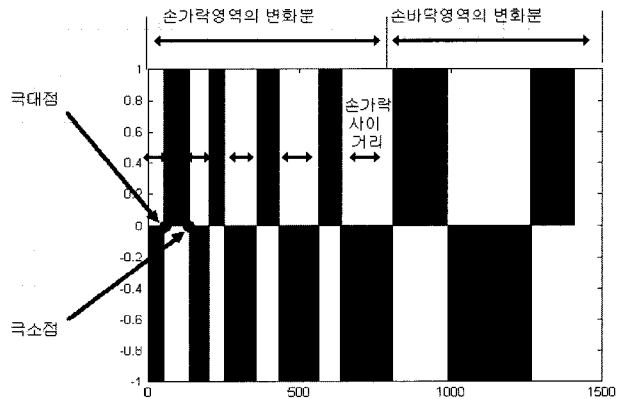


그림 9. 손의 중심점과 손의 외곽과의 거리 변화율.
Fig. 9. Distance change ratio of between center and boundary of hand.

또한 제어기 네트워크를 위한 CAN 컨트롤러 카드와 능동카메라의 Pan/Tilt 제어기 인터페이스 카드가 ISA 버스를 통해 장착되어 있다. 그림 13은 실제 실험에서 상용된 이동로봇의 사진이다.



그림 10. 실제 손 영상.
Fig. 10. Real hand image.

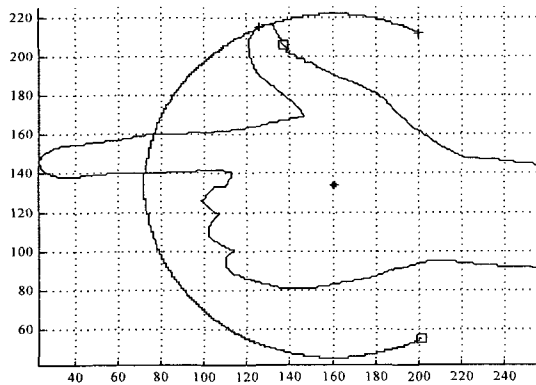


그림 11. 시뮬레이션 영상.
Fig. 11. Simulation image.

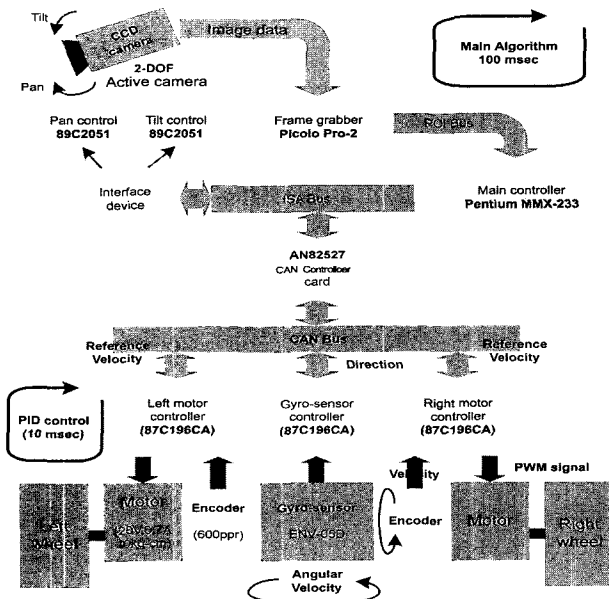


그림 12. 로봇시스템의 전체 구성도.
Fig. 12. Overall system description of the robot.

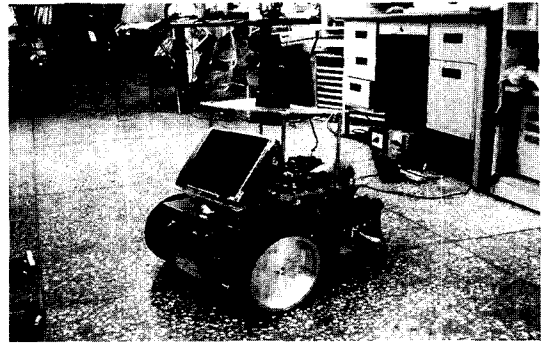


그림 13. 실제 이동로봇의 모습.
Fig. 13. Figure of the mobile robot.

4. 실험결과

5가지의 손 동작을 실험에 사용하였으며 5가지 손 동작과 그 의미는 그림 14에 나타냈다.

왼쪽 상단의 첫 영상부터 오른쪽으로, 손 동작에 따른 이동로봇의 명령은 이동로봇의 전진, 우회전, 좌회전, 후진, 정지, 오른쪽으로 180° 회전이다.

그림 15와 그림 16, 그림 17의 프로그램은 실제 이동로봇에 이식한 프로그램으로써 그림 15는 손목인식 작업을 수행하지 않은 결과이고 그림 16과 그림 17은 손목인식 작업을 수행한 결과를 보여준다. 그리고 각 프로그램상의 왼쪽 영상은 그림 14와 같은 영상에서 일정한 휘도를 유지하고 이진화 과정을 수행한 결과 영상이다. 또한 오른쪽 영상은 인식 과정을 수행한 결과이다. 본 결과에서 손목인식을 수행하지 않은 영상은 더 많은 이진화 영상의 처리함으로써 연산시간이 5ms 정도 더 소비되는걸 알 수 있었다. 그리고 손의 중심점을 계속 화면의 중심에 두기 위해 pan-tilt의 값을 결정하였다. pan-tilt 값은 한 pixel당 각도값(수평방향은 0.1732

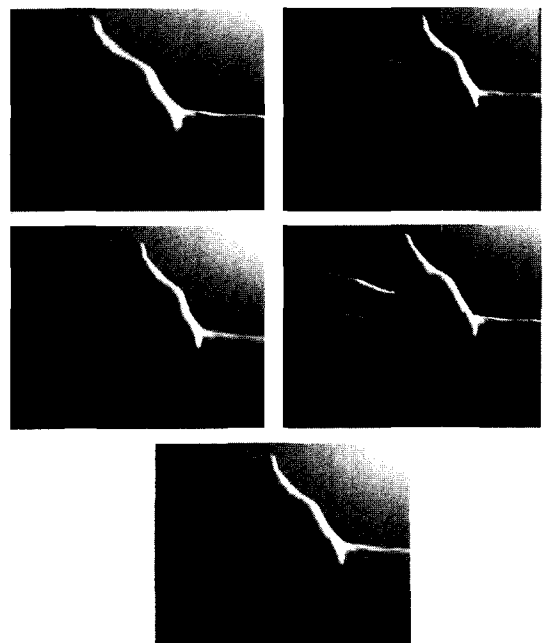


그림 14. 실험에 사용된 손 동작들.
Fig. 14. Figure of the hand gestures to use for experiment.

degree/pixel, 수직방향은 0.2 degree/pixel)을 카메라와 pan-tilt 간의 좌표변환을 이용하여 픽셀당 각도값을 모터의 각도 값으로 mapping 시켰다. 손동작은 실험결과 약 95%의 명령추종 성능을 나타냈다. 이 명령추종 성능은 주 관심사인 손 영역의 크기와 변화에 따른 인식 여부를 알아내기 위해 각 거리가 8m, 5m, 3m의 거리에서 같은 영상으로 실험을 반복함으로써 강인성을 평가한 결과 95%정도의 높은 인식률을 나타내었다. 이는 사람이 로봇과 가까운 거리에 있을 때는 모두 인식을 하였으나 사람과의 거리가 조금 멀어짐으로써 잘못 인식하는 경우가 발생하였다. 그리고 인식할 수 있는 거리의 한계는 실험결과 10m로 나타났으며 거리가 멀어질수록 인식률이 현저하게 떨어짐을 알 수 있었다. 제어주기는 하위제어기는 10ms이고 상위제어기인 PC에서는 100ms로 제어를 실현함으로써 실시간 제어가 가능했다. 그리고 또한 일반 실험환경인, 빛이 불균일하게 가변하는 조명에도 강인한 특성을 보여 빛의 조사에 대한 영향을 많이 줄일 수 있음을 보였다. 그러나 빛의 조사량이 손 영역이 거의 알아볼 수 없을 정도로 밝을 경우는 손을 인식할 수 없었다. 또한 본 논문에서는 기본적으로 이진화 과정은 영상에서 손의 색깔을 인식하는 것이므로 손의 색과 유사한 배경이 손 영역과 겹쳐질 경우 영상에서 손의 영역이 배경보다 큰 부분을 차지한다는 가정하에서 영상처리를 한 경우는 큰 변화가 없었으나, 유사한 배경이 손의 영역보다 더욱 큰 부분을 차지하는 경우 배경을 손 영역으로 인식함으로써 손 동작을 제대로 인식하지 못하는 경우가 발생하였다.

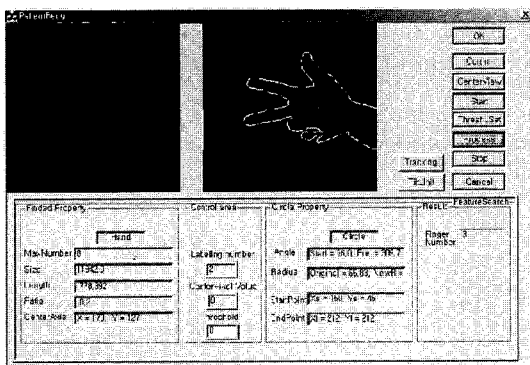


그림 15. 손 동작 인식 프로그램(손가락 개수 : 3).
Fig. 15. Hand recognition program(finger number : 3).

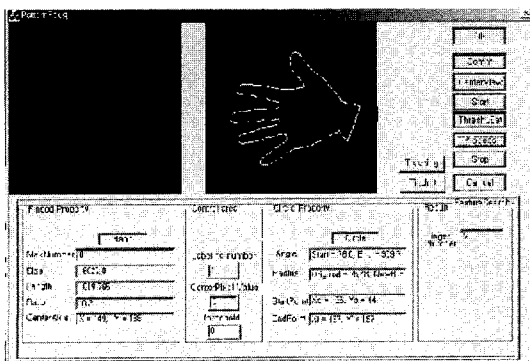


그림 16. 손 동작 인식 프로그램(손가락 개수 : 5).
Fig. 16. Hand recognition program(finger number : 5).

그림 18과 같이 손이 카메라쪽으로 rotation 각도가 크면 손 동작을 잘못 인식하는 경우가 발생하였다. 인식할 수 있는 한계 각도 값은 카메라와 평행한 상태에서 약 $\pm 75^\circ$ 정도로 실험에서 나타났다.

V. 결론

의식적/무의식적으로 사용되는 동적인 손 동작의 인식을 통해 이동로봇의 주행을 제어하는 연구를 수행하였다. 수행결과 기존의 제안된 손 동작 인식 시스템들이 요구하는 특수하게 제작된 Glove를 이용한 방법처럼 부수적인 장치나 특징 벡터 추출에 의한 방법, 신경 회로망을 이용한 방법, BAM(bidirectional association memory), 은닉 마코프 모델 등의 실시간 처리가 어려운 알고리즘에 비해 본 논문에서 제안한 간단한 알고리즘을 사용함으로써 실시간 처리가 가능했다. 그리고 손 모양의 변화나 이동로봇의 주행에 따른 입력 영상의 변화와 크기에도 강인한 특성을 보였다. 그러나 인식률이 낮은 동작들은 분석을 통해 보다 인식률을 높이기 위한 부가적인 특징점의 추출이 필요한 것으로 판단된다. 그리고 향후에는 보다 높은 의사 소통 능력과 높은 적응성을 얻기 위해서 시각적인 정보를 통한 인식뿐만이 아니라 음성적인 요소에 대한 인식이 혼합된 정보를 바탕으로 한 HCI(Human-Computer Interaction)장치를 구성한다면 보다 정확하고 다

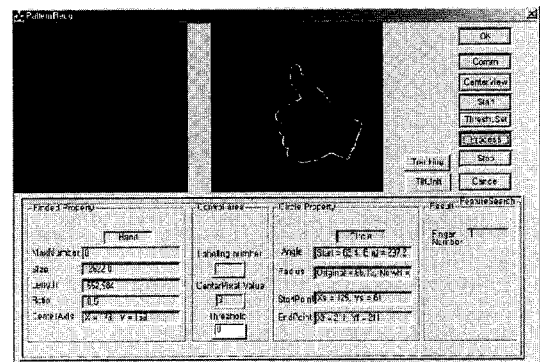


그림 17. 손 동작 인식 프로그램(손가락 개수: 1).
Fig. 17. Hand recognition program(finger number: 1).

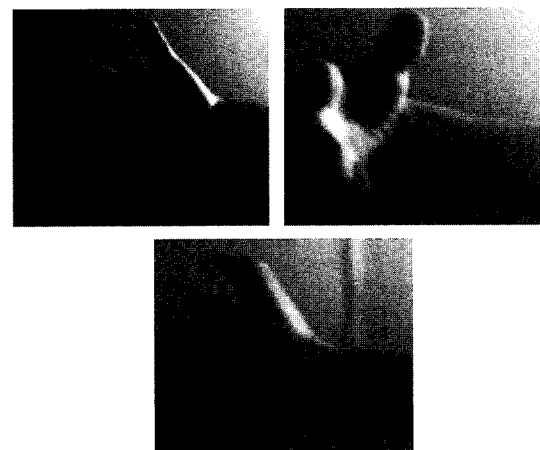


그림 18. 손과 카메라와의 기울기가 존재하는 경우.
Fig. 18. Existence of lean between hand and camera.

양한 의미의 전달이 가능할 것으로 판단한다.

참고문헌

- [1] D. J. Gavria, "The visual analysis of human movement : A survey," *IDEAL Computer Vision and Image Understanding*, vol. 73, no. 1, pp. 82-98, January. 1999
- [2] B. W. Min, "Gesture recognition and application," *The Magazine of the IEEK*, vol 2. no. 8, pp. 704-711, June, 1996.
- [3] T. S. Hunang and V. I. Pavloic, "Hand gesture modeling, analysis, and synthesis." *Proc. of International Workshop on Automatic Face-and Gesture-Recognition*, pp. 73-79, Zurich, June, 1995.
- [4] Jhon. J. Leonard and Hugh F, Durrant-Whyte, "Mobile robot localization by tracking geometric beacons," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, pp. 376-382, June 1991.
- [5] M. Betke et al., "Mobile robot localization using landmarks," *Proc. of the IEEE/ RSJ/GI Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 135-142, 1994.
- [6] J. Davis and M. Shah, "Visual gesture recognition," *IEE Proc-Vis Image Signal Process.* vol. 141, no. 2, April 1994.
- [7] T. Ahmade, C. J. Taylor, A.Lanitis, and T.F.Cootes, "Tracking and recognising hand gestures, using shape models," *ELSEVIER. Image and Vision Computing*, vol. 15, pp. 345-352, 1997.
- [8] Yilin. Zhao and Spencer L. BeMent, "Kinematics, Dynamics and Control of Wheeled Mobile Robots," *IEEE Conf. Robotics and Automation*, pp. 91-96, 5. 1992.
- [9] F. L. Lewis, C. T. Abdallah, and D. M. Dawson, *Control of Robot Manipulators*, Macmillan, 1993.
- [10] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison-Wesley, 1993.
- [11] I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms and Applications*, JOHN WILEY & SONS, 1999.
- [12] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision* CHAPMAN & HALL COMPUTING 1993.
- [13] Gerhard X. Ritter, Joseph N. Wilson *Computer Vision Algorithms in Image Algebra* CRC 2000.
- [14] C. Stiller and J. Konarad, "Estimating motion in image sequences : A tutorial on modeling and computation of 2D motion," *IEEE Singal Processing Magazine*, pp. 1053-5888, 1998.
- [15] Vladimir I. Pavlovic, Rajeev Sharma and Thomas S. Huang, "Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction : A review," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and machine Intelligence*, vol. 18, no. 7, July 1997.
- [16] 김성은, 조강현 "얼굴 방향과 손동작 인식을 통한 Agent간의 상호작용," 한국자동차제어학술회의논문집 (KACC), pp. b132-b135, 1999.



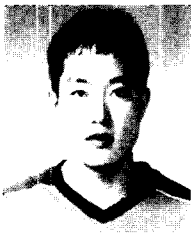
김 일 명

2000년 동서대 전자공학과 학사졸업. 2002년 부산대 전자공학과 석사졸업. 부산대 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 computer-vision and navigation.



윤 경 식

1999년 부산대 전자공학과 학사졸업. 2001년 부산대 전자공학과 석사졸업. 부산대 전자공학과 박사과정. 주 관심분야는 Localization and map building of mobile robot.



김 완 철

2001년 부경대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 부산대학교 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 computer-vision and navigation.

이 장 명

현재 부산대학교 공과대학 전자공학과 교수. 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 소장. 제어 자동화 제어·자동화·시스템 공학회 논문지 제 5권 제 1호 (1999.1)참조.