論文2000-37SC-4-2

직선광선의 2D 영상을 이용한 이동로봇의 이동물체 추적 알고리즘
(A Moving Target Tracking Algorithmfor a Mobile Robot Based on a 2D Image of a Line Light)

林 虎 *, 韓 獻 洙 *, 洪 民 哲 *
(Ho Rim, Hernsoo Hahn, and Min-Cheol Hong)

요 약

본 논문에서는 이동로봇이 작업환경 내에서 이동하는 물체를 실시간에 인지, 추적하기 위한 비젼센서 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 하나의 직선광선을 카메라 영상의 중앙에 수평하게 투영되도록 하여 이동로봇의 경로에 투사하고 이 광선이 물체와 교차하여 생성하는 선분영상만을 취득, 해석함으로써 비젼센서를 이용하는 기존의 방법들이 영상전체를 이해하기 위해 필요로 하던 계산상의 복잡도를 줄이고 있다. 이동물체의 존재여부, 속도 및 위치는 2개의 연속된 영상에서 얻어진 선분영상의 위치 및 길이의 변형도를 일정한 기준치와 비교하여 결정하는 간단한 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 보안 및 다수이동로봇의 제어 분야에서 다양하게 응용될 수 있으며 실험을 통해 그 성능을 평가하였다.

Abstract

This paper proposes a new algorithm for a mobile robot that detects and tracks a moving target, keeping it in the view range of the robot. The sensor system consists of a camera and a line light source. The camera system is placed so that the line light projected into the ground from the light source forms its image along the horzontal center line of the CCD array of the camera. The deformation of the line image from the horizontal center line contains the information on existence of a moving object, its velocity, and position. Since the proposed algorithm reduces the region of the image to be searched, it reduces the computational complexity significantly comparing to the conventional image processing algorithms. The performance of the proposed algorithm has been tested by implementing on a mobile robot.

I. 서 론

이동로봇은 최근 산업현장 어디서든 쉽게 볼 수 있는 보편화된 장비로 인식되고 있으며 화성탐사에서 사용된 이동로봇 pathfinder와 같이 다양한 기능과 지능을 갖추게 됨으로써 그 사용범위를 무한히 넓혀가고 있다. 이동로봇의 사용범위가 확대됨에 따라 갖추어야 할 주요 기능 중의 하나가 작업환경을 인식하여 이동하는 물체를 검출하고 이를 추적하는 것이다.

이동하는 물체의 검출에 관한 연구는 비젼센서(카메라)를 이용하여 정해진 공간에서 물체가 이동하는지의 여부를 판단하는 수준에서 동영상의 효과적인 압축을 위해 이동물체를 검지하는 수준까지 다양한 목적으로 활발히 진행되어 왔다. 특히 이동로봇이 이동하는 목표물을 추적할 목적으로 이를 찾기 위해서 stereo vision을 이용하여 인간의 시각시스템과 유사한 센서시스템[1]을 구성하기도 하였다. 이 경우는 각각의 카메라에서 시간차이를 갖는 2개의 영상을 비교해 이동물체를 검출한 후, stereo vision을 이용하여 이동물체의 3차원 위치를 결정하여 화면상에서 고정된 위치에

* 正會員, 崇實大學校 情報通信電子工學部
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)
接受日字:1999年10月13日, 수정완료일:2000年5月26日

놓이도록 방향을 유지하면서 이를 추적하기 위한 이동로봇의 궤적을 얻어낸다. 가장 보편적으로 사용되는 optical flow방법[2, 3]은 현재의 영상과 이전 영상에서 각 화소의 변화를 벡터로 표현하여 속도와 이동방향을 결정하는 방법이다. 따라서 현재 영상의 화소와 이전 영상의 화소 사이에 정합과정을 필요로 한다. 이의 단점을 보완한 특징기반의 optical flow 영역분할방법[4, 5]은 corner나 edge등 특징이 될만한 점들, 또는 영역의 optical flow을 만들어내고 flow vector들을 기준으로 동일한 cluster들을 묶는다. Vector가 특별히 구별되는 cluster는 이동물체로 판별되며, 그 cluster의 외곽선을 이루는 radial map을 이용하여 물체를 추적한다. 이와 유사한 방법으로 영상분할을 이용한 방법[6]이 있다. 이 방법은 입력영상을 gray level 값을 이용해서 여러 개의 계층으로 나눈 후 영상분할을 통해 cluster들의 group을 만들게 된다. 각각의 cluster들의 중심값을 기반으로 Probabilistic Data Association Filter(PDAF) 방법을 적용하여 추적을 위한 이동물체의 중심값을 구해낸다. 또 다른 접근방법으로는 2차원 영상의 연속적인 누적을 통해 3차원의 환경지도를 구성하여 이동물체를 검지하는 방법[7]이 있다. 이 방법은 영상을 FIFO에 저장하여 영상 데이터 처리를 시간축으로 확장시키는 것으로 이동물체를 주변 환경보다 밝은 하나의 점으로 표현한다.

이와 같이 카메라 영상을 사용하는 이동물체 추적 알고리즘들은 일반적으로 주변환경에 대한 측정 범위가 넓다는 장점이 있지만 이에 따른 조명에 대한 민감성, 그리고 여러 단계의 전처리 과정으로 인한 처리속도가 느려지는 문제를 안고 있다. 따라서 위에서 설명한 접근방법들 중에는 처리하는 영상의 해상도를 적정하게 조절하거나[8], 영상의 색상단계를 줄이기도 하며[9], 영상에서 수행하고자 하는 작업에 필요한 정보만을 선별적으로 뽑아내는 방법[5, 8, 10]을 사용하고 있다. 그러나 이들 역시 하드웨어의 지원이 없이는 구현이 어려워 전체적인 시스템의 구성에 필요한 비용의 상승을 피하기 어렵다.

본 논문에서는 위에서 지적한 문제들을 해결, 보완하여 실시간에 장애물을 판별하고 이동물체를 검출하여 추적하는 새로운 방법의 이동물체추적 시스템을 제안한다. 이동경로에 대한 정보는 Escalera[13]가 제안한 방법과 유사하게 하나의 카메라와 하나의 레이저 직선광선을 결합한 센서시스템을 이용하여 획득한다. 그러나 [13]에서와는 달리 레이저 광원은 바닥면을 향하여 일정한 각도로 직선광선을 생성하고 카메라는 직선광선이 측정범위 내의 물체와 교차하는 선분의 영상을 취득한다. 이동물체는 2개의 연속되는 카메라 영상을 이용하여 검출한다. 알고리즘은 먼저 획득한 영상을 면단위로 해석하여 1단계에서 영역으로 분할한 후 직선광선의 형태에 따라 각 영역을 바닥면과 물체면으로 구분한다. 다음 단계로 연속되는 다음 영상을 같은 방법으로 분할하여 물체면을 구분한 후 직선광선의 크기, 각 영역 내의 위치를 기준으로 물체면의 이동여부를 판단하여 배경물체와 이동물체로 구분한다.

본 논문에서는 이동물체는 등속도로 이동하며, 이동로봇은 이를 일정한 주기로 측정하여 시스템의 입력으로 사용한다. 이동로봇은 이동물체와 일정한 간격을 가지고 이동물체를 계속적으로 추적한다. 본 논문의 제 2장에서는 센서시스템의 구조 및 기하학적인 특성과 취득 영상의 특징을 설명하고 제 3장에서는 취득한 영상을 해석하여 이동물체를 검출하는 방법을 설명한다. 제 4장에서는 검출된 이동물체의 위치를 기반으로 이동로봇의 제어변수, 즉 조향각과 속도를 결정하는 방법을 설명하고 제 5장에는 실험을 통해 개발된 시스템의 성능을 평가한다.

Ⅱ. 센서 시스템의 구조 및 영상의 특징

본 논문에서 제안하는 센서시스템은 한 개의 카메라와 직선광선을 만드는 레이저 광원으로 구성된다. 센서시스템은 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 이동로봇의 전면 상단에 위치하게 되며 직선광선이 바닥면과 만나 만드는 직선은 그림 1(b)에서와 같이 영상의 중앙에 위치하도록 조정한다. 카메라와 레이저 광원은 이동로봇 좌표계 상에서 그림 2와 같이 설정된다.

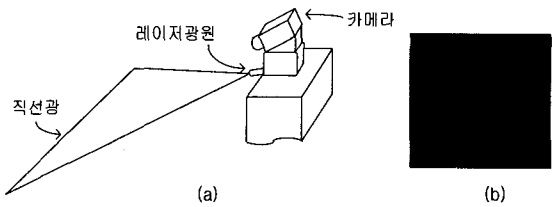


그림 1. 센서시스템의 구성도: (a) 센서시스템의 구조, (b) 카메라에서 본 직선광선의 영상

Fig. 1. The sensor system: (a) sensing structure, (b) Image of a laser line formed on camera CCD.

이동로봇 좌표계는 이동로봇의 전진방향을 Z축으로 하고, 카메라와 레이저광원을 연결하여 바닥면과 수직을 이루는 축을 Y축으로 하면 원점은 이들 두 축이 만나는 점이 된다. X축은 이들에 수직인 축으로 정한다. 카메라 좌표계와 이동로봇 좌표계의 X축은 일치시키고 카메라 CCD 면은 X축을 중심으로 ψ만큼, 레이저광원은 역시 X축을 중심으로 θ만큼 회전시켜 바닥면에 형성하는 직선광선이 그림 1(b)와 같이 CCD 좌표계의 X축에 투영되도록 배열한다. 측정영역의 좌표계는 직선광선의 중앙점을 원점으로 하고 X, Y, Z 축은 이동로봇 좌표계와 일치시킨다.

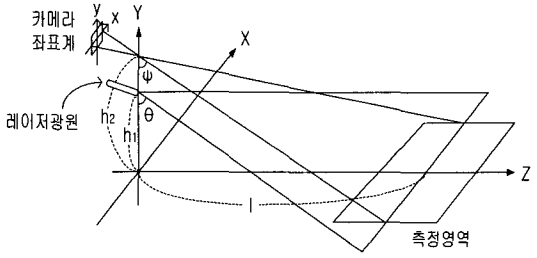


그림 2. 센서좌표계
Fig. 2. Sensor coordinate system.

이와 같이 설정한 카메라 좌표계와 측정영역의 좌표계의 관계는 그림 2의 좌표계를 이용하여 설명된다. 이동로봇 좌표계와 측정영역 좌표계는 단순한 Z축 상의 이동이므로 이는 식 (1)에 의해 표현되고 카메라의 초점거리를 f라면 이동로봇 좌표계 상의 한점 (X_o, Y_o, Z_o)는 식 (2)의 변환식에 의해 카메라 영상에 (x_c, y_c)로 투영된다.

$$\begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/f & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi & h_2 \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

그림 2와 식 (2)는 카메라에 투영된 선분영상 위의 한 점 (x_c, y_c)에 대응하는 이동로봇 좌표계 상의 위치 (X_m, Y_m, Z_m)는 (x_c, y_c)와 카메라 좌표계의 원점을 통과하는 직선이 레이저광원과 물체좌표계의 X축을 포함하는 평면, $ly + h_1 z - h_1 l = 0$과 교차하는 점이 됨을 보여주고 있다. 따라서 (x_c, y_c)에 대응하는 이동로봇 좌표계 상의 위치 (X_m, Y_m, Z_m)는 다음의 식으로 결정된다.

$$l\{(h_2 - y_c)k + y_c\} + h_1(-z_c k + z_c) - h_1 l = 0 \tag{12}$$

$$X_m = -x_c k + x_c \tag{13}$$

$$Y_m = (h_2 - y_x)k + y_c \tag{14}$$

$$Z_m = -z_c k + z_c \tag{15}$$

직선광원이 측정영역에서 물체들과 교차하여 생성하는 선분은 물체의 특성에 따라 그림 3에서와 같이 구분되는 형태를 갖는다. 측정영역에 아무 물체가 없는 경우는 영상의 중앙에 X축과 일치하는 직선 형태를 만드나 측정영역에 물체가 놓이게 되면, 물체의 형태에 따라 선분의 영상이 변하게 되고 변형된 위치와 크기로부터 물체의 형태를 유추할 수 있다. 그림 3(a)는 이동로봇이 원기둥에 접근하는 경우, 원기둥과 만나는 직선광선의 영상의 위치가 중앙선 아래로 그리고 길이는 점점 커지는 것을 보여준다. 그림 3(b)는 이동로봇의 진행방향이 벽면과 수직인 경우, 기울어진 경우, 그리고 평행인 경우 얻어지는 영상을 보여준다. 그림 3(c)는 복도를 따라 만나는 여러 가지 경우에 대해 직선광선이 만드는 영상을 보여준다.

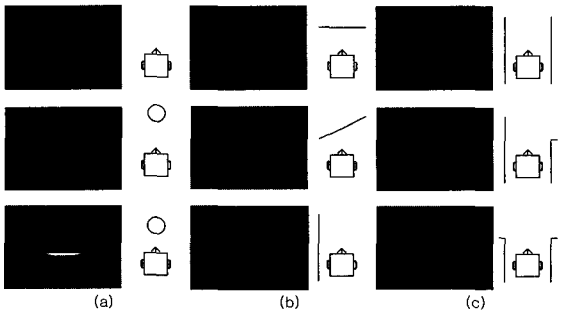


그림 3. 물체의 형태에 따라 변형되는 직선광선의 형태
Fig. 3. Variations of laser lines depending on object shapes.

위의 그림에서 볼 수 있듯이 영상의 특징은 측정영역에 물체가 존재하면 카메라의 방향이 직선광선의 위치보다 위에 놓이는 센서의 구조에 의해 영상의 중앙선보다 아래쪽에 영상을 형성한다. 따라서 직선광선의 영상의 형태는 물체의 존재 유무, 물체의 종류, 물체의 위치정보를 제공해주며 이로부터 이동로봇의 이동경로를 결정할 수 있다.

Ⅲ. 이동물체의 위치 및 속도 측정

1. 이동물체의 검출

직선광선의 영상을 통해 측정영역에 물체가 존재하는 것이 확인되면 물체의 이동성 여부는 이동로봇이 연속된 영상을 취하여 판단할 수 있다. 연속되는 2개의 영상에서 직선광선과 교차하는 물체영역이 영상에서 차지하는 위치, 그리고 크기를 비교하여 물체의 이동성 여부를 판명하는 알고리즘은 다음과 같다.

■ 이동물체 검출 알고리즘

단계 1 : 시간 t에서 취득한 직선광선의 선분영상 S(t)를 선분의 변곡점을 기준으로 분할하고 좌측부터 우측으로 이동하며 각 분할된 선분들을 labeling한다.

단계 2 : 분할된 선분 중에서 물체와 교차하여 생성된 선분들로 물체영역의 집합 $C(t)$를 구성한다.

단계 3 : $C(t)$에 포함된 각 선분의 위치와 길이를 구한다. 위치는 선분의 중심으로 정의한다.

단계 4 : 다음 샘플링 주기 ($t+1$)에서 취득한 선분영상 $S(t+1)$에 대해 단계 1에서 3을 반복한다.

단계 5 : $C(t+1)$과 $C(t)$에 포함된 선분들을 단계 3에서 구한 선분의 위치변위를 기준으로 대응쌍을 찾는다.

단계 6 : 대응되는 선분에 대해 Y축 상에서의 위치변위 $p(t+1)$와 길이차이 $l(t+1)$을 계산하여 $p(t+1)>th_p$ 이고 $l(t+1)>th_l$ 이면 해당영역에 속하는 물체는 배경물체(혹은 장애물)로 판정하고 $p(t+1)>th_p$ 이고 $l(t+1)>th_l$ 이면 해당영역에 속하는 물체는 이동로봇의 진행방향으로 이동하는 물체로 판정한다.

그림 4(a)는 이동로봇의 경로에 장애물이 놓인 환경에서 이동로봇이 0.3m/s의 속도로 진행하면서 0.5sec의 간격으로 획득한 두 개의 영상을 보여준다. 직선광선이 물체의 존재유무 판단의 기준이 되는 바닥면과 교차하는 부분은 영상의 중앙에 나타남을 알 수 있다. 그림 4(b)는 알고리즘의 단계 1에서 각 영상에 대해 검출된 선분영상과 분할된 선분들을 labeling한 결과를 보여준다.

단계 2에서는 $C(t)$는 $S(t)$에 포함된 분할된 선분 중에서 직선광선이 측정영역의 물체들과 교차하면서 생성된 선분만을 선택한다. $S(t)$에서 영상의 X축과

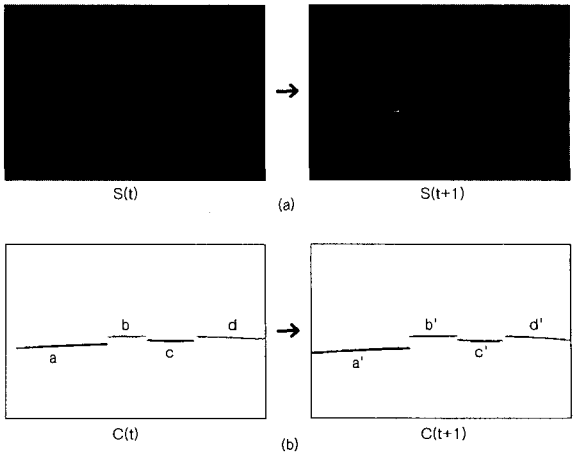


그림 4. 시간 t와 $t+1$에서의 영상 : (a) 원영상, (b) labeling영상

Fig. 4. Images of laser line at t and $t+1$.(a) Original image, (b) Labeled image.

일치하는 직선선분은 바닥면으로 배경에 해당하므로 이들만 제외하는 방법을 $C(t)$를 결정한다. 그림 4(b)의 예를 보면, $C(t)$={a, c}, $C(t+1)$={a′, c′}이다. 측정영역에 놓이는 물체는 평면뿐 아니라 곡면도 포함할 수 있으므로 이들이 직선광선과 교차하는 경우 생성되는 선분은 직선과 곡선 모두를 포함한다.

따라서 단계 3에서 선분의 위치와 길이를 구할 때 직선과 곡선을 구분한다. 직선의 경우 선분의 길이는 동일한 기울기를 갖는 직선의 시작점과 끝점의 좌표를 이용하여 계산하며 위치는 선분의 중앙점으로 정한다. 선분의 시작점과 끝점을 이용하여 두 점으로 이루어진 직선을 구하고 두 점사이의 선을 이루는 성분들이 임계치 이상을 초과하지 않는 범위 내에서 직선을 포함할 경우 그 형태를 직선으로 결정한다. 곡선의 경우, 두 점 사이의 중앙점을 포함하는 3점 (x1, x2, x3)을 지나는 2차원 곡선으로 Lagrange 보간법을 이용하여 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$y = y_1 L_1(x) + y_2 L_2(x) + y_3 L_3(x) \tag{16}$$

$$L_k(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_k-x_1)(x_k-x_2)(x_k-x_3)} \tag{17}$$

여기서 k=1,..,3이다. 2차원곡선으로 근사화한 후 역시 임계치를 초과하지 않는 범위 내에서 곡선을 포함할 경우 그 형태를 곡선으로 판단하고 위치는 역시 선분의 중앙점으로 정한다. 선분의 길이는 시작점과 끝점 사이의 거리로 계산한다.

단계 5에서는 단계 4까지의 과정에서 획득한 두 쌍의 선분집합 $C(t)$와 $C(t+1)$에 포함된 선분들의 대응관계를 결정하기 위해 선분의 위치의 차이와 길이 변화의 크기를 이동로봇의 속도를 고려한 임계값과 비교한다. 임계값은 고정물체, 즉 장애물의 영상변화 값이며, th_p는 위치변화, th_l 은 길이변화를 의미한다. 다음의 그림 5, 6은 와 th_l 을 보여준다.

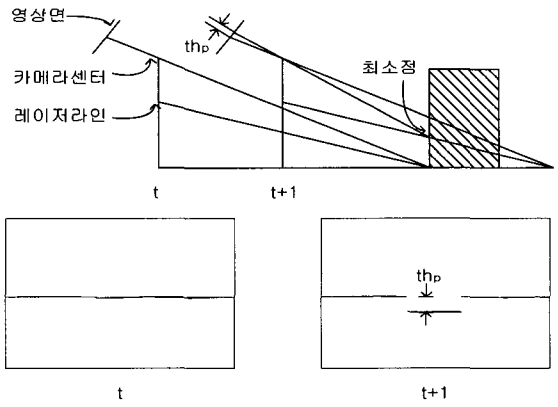


그림 5. 로봇의 이동에 따른 직선광선 선분의 위치변화
Fig. 5. Position changes of laser line caused by a robot motion.

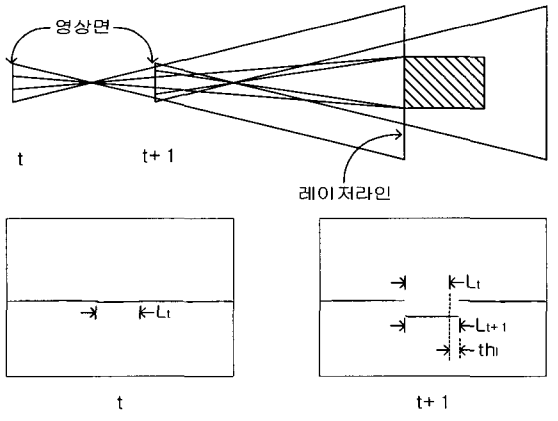


그림 6. 로봇의 이동에 따른 직선광선 선분의 길이변화
Fig. 6. Length changes of laser line caused by a robot motion.

$C(t+1)$의 i번째 선분(중앙점 : $(X^i, Y^i)_{t+1}$)에 대응하는 $C(t)$내의 선분은 $C(t)$에 포함된 각 선분의 중앙점 $(X^j, Y^j)_t$과의 위치변위가 th_p 이하여야 한다. 본 논문에서 사용하는 이동로봇이 0.3m/s의 속도로 움직이고 매 0.5sec 마다 영상을 획득하는 경우, 직선광선은 X축에서 5cm만큼 아래쪽으로 이동한다. 즉, $C(t)$에 있는 한 선분이 정지한 물체에 의해 만들어지는 것이라면 이 선분은 $C(t+1)$에서 5cm 중앙선 아래에 나타난다. 그림 7은 그림 4(b)의 정지한 물체의 선분영상에 대해 th_p를 5cm로 하여 $C(t)$와 $C(t+1)$의 각 선분집합을 위치정보만으로 대응시킨 결과를 보여준다.

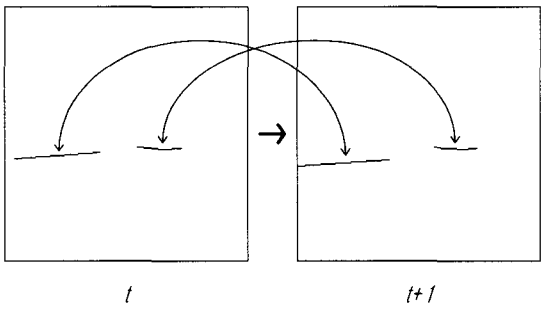


그림 7. $C(t)$와 $C(t+1)$에서 포함되는 선분들 간의 대응쌍 예
Fig. 7. Correspondences of line segments in two images $C(t)$ and $C(t+1)$.

단계 6에서 대응선분간의 Y축 상의 위치변위 $p(t+1)$과 X축 상의 길이변위 $l(t+1)$는 해당선분의 $S(t+1)$에서의 위치를 (X_{t+1}, Y_{t+1}), $S(t)$에서의 위치를 (X_t, Y_t)라면, 다음의 식 (10)과 (11)과 같이 계산된다. Ltx는 대응하는 선분 중 $S(t)$에 속한 선분의 X축 길이를 나타낸다.

$$p(t+1) = |Y_{t+1} - Y_t| \tag{10}$$

$$l(t+1) = |L_x^{t+1} - L_x^t| \tag{11}$$

주어진 선분영상에서 배경물체는 정지되어 있으므로 이동로봇이 접근하면 배경물체와 교차하는 직선광선의 영상은 하단부로 이동하게 된다. 이동로봇이 vo의 속도로 이동하면 직선광선과 정지물체가 만드는 선분이 영상에서 이동하는 거리, 즉 위치변위 p(t+1)은 thp가 되고 길이차이 $l(t+1)$은 th_l 의 값을 가지게 된다. 따라서 이들 두 가지의 변수와 로봇의 이동에 따른 임계치를 이용하여 측정영역 내에 존재하는 물체의 이동성 여부는, v_o는 이동물체의 속도 v_m은 이동로봇의 속도라 할 때, 다음과 같이 판단한다.

$$\begin{aligned}
&\text{if } (p(t+1) = th_p) \text{ AND } (l(t+1) = th_p) \text{ then } (v_o = 0)\\
&\text{if } (p(t+1) = 0) \text{ AND } (l(t+1) = 0) \text{ then } (v_m = v_o)\\
&\text{if } (0 < p(t+1) < th_p) \text{ AND } (0 < l(t+1) < th_p) \text{ then } (v_m > v_o)\\
&\text{if } (p(t+1) < 0) \text{ AND } (l(t+1) < 0) \text{ then } (v_m < v_o)
\end{aligned} \tag{12}$$

위의 식에서 첫 번째는 측정한 물체가 배경물체인 경우, 두 번째는 이동물체가 이동로봇의 속도와 동일하게 이동하는 경우, 세 번째는 이동물체의 속도가 이동로봇보다 느리게 이동하는 경우, 네 번째는 이동물체가 이동로봇보다 빠르게 이동하는 경우를 나타낸다. 따라서 그림 4(a)의 영상의 왼편에 있는 다면체는 배경물체로 오른편의 원통물체는 이동물체로 판별된다. 단 예외적으로, 그림 8에서와 같이 배경물체가 벽과 같이 아주 큰 면인 경우, $p(t+1)$과 $l(t+1)$은 거의 0에 가까운 값을 갖게 되므로 $v_m = v_o$로 판정되므로 이러한 경우 물체의 한 면의 크기가 측정영역의 범위를 넘는지를 판단해야 한다. 이 경우는 직선광선의 궤적이 영상의 좌우, 혹은 하단을 넘어서므로 직선광선궤적의 끝점을 읽어서 판단이 가능하다. 즉 $p(t+1)$과 $l(t+1)$이 거의 0에 가깝다고 하더라도 직선광선의 궤적이 영상의 좌우, 혹은 하단의 경계에 놓이면 배경물체로 판단한다.

그림 8. 배경물체가 측정영역을 넘는 면인 경우
Fig. 8. Background object is located out of the measurement range.

2. 물체의 위치 및 속도 측정

영상에 포함된 물체의 위치는 그림 2의 이동로봇 좌표계를 기준으로 표현하고 이를 작업환경의 기준좌표계로 변환하여 표현한다. 측정된 선분 위에 놓인 각 점의 이동로봇좌표계 상에서의 3차원 좌표는 2절의 식 (4)에서 (6)을 이용하여 구한다.

이동물체의 속도는 이동로봇의 속도(v_m)와 이동로봇에 대한 이동물체의 상대속도(v_{ref})를 더한 값이 된다. 이동로봇에 대한 이동물체의 상대속도는 그림 5에서 보는바와 같이, $S(t)$와 $S(t+1)$에서 대응하는 선분의 Y축상의 위치변위에 비례한다. 따라서 이동로봇의 영상획득 주기가 t 라면 v_{ref}와 v_m은 다음의 식들로 계산된다.

$$v_{ref} = \frac{\sqrt{(X_{t+1}-X_t)^2+(Z_{t+1}-Z_t)^2}}{t} \tag{21}$$

$$v_o = v_m + v_{ref} \tag{22}$$

이동물체의 속도는 등속도로 제한하였으므로 이동로봇의 속도는 이동물체와의 거리를 일정하게 유지하기 위해서 다음과 같이 결정한다.

$$v_m = (1+a_v)v_o \tag{23}$$

여기서 a_v는 속도조절변수로 $v_m < v_0$이면 0이 되어 이동로봇의 속도를 유지하고 $v_m \geq v_0$이면 0보다 큰 가변값으로 변화하며 이동물체와의 거리를 유지하게 한다.

Ⅳ. 이동로봇의 구동

1. 이동로봇의 모델링

본 논문에서는 그림 9와 같이 2개의 모터를 사용하여 구동과 조향을 제어하는 차륜구동방식의 이동로봇을 사용한다. 이동로봇의 앞쪽과 뒤쪽에는 단순히 지지역할을 담당하는 캐스터가 각각 1개씩 부착되어 이동로봇의 균형을 유지한다. 따라서 그림 9와 같은 구조를 갖는 이동로봇은 (x, y)의 좌표에 중심점이 위치하고, X축과 ω만큼 각도를 가지고 있다. 이동로봇의 원점부터 바퀴까지의 거리를 D, 구동바퀴의 반지름을 R, 각 바퀴의 회전각도는 θ_l 과 θ_r, 회전속도를 v_l, v_r이라면, 좌우 바퀴의 회전각 (θ_l, θ_r)와 이동로봇의 위치와 방향, (x, y, ω)의 관계를 설명하는 이동로봇의 기구학 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{R}{2}\begin{bmatrix} \cos\omega & \cos\omega \\ \sin\omega & \sin\omega \\ 1/D & -1/D \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_l \\ \theta_r \end{bmatrix} \tag{24}$$

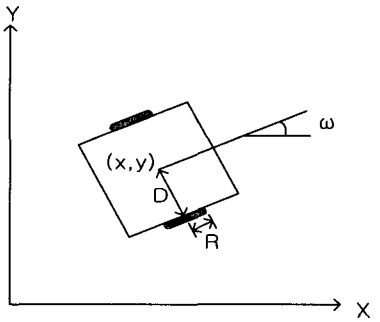


그림 9. 이동로봇 모델
Fig. 9. Modeling of the mobile robot.

이동로봇의 위치와 조향각은 각 바퀴에 가해지는 속도에 의해 변화되므로 위의 식을 다음과 같이 미분하여 역기구학 방정식을 구하는 방식으로 이동로봇을 모델링한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \frac{R}{2} \begin{bmatrix} \cos\omega & \cos\omega \\ \sin\omega & \sin\omega \\ 1/D & -1/D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_l \\ v_r \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\begin{bmatrix} v_l \\ v_r \end{bmatrix} = \frac{2}{R} \begin{bmatrix} -\sin\omega & \cos\omega & D \\ -\sin\omega & \cos\omega & -D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} \quad (26)$$

2. 이동물체의 추적을 위한 이동로봇 제어입력 값의 결정

이동물체의 위치와 속도가 정해지면 이를 추적하기 위한 이동로봇의 속도 및 방향을 결정해야 한다. 이동로봇의 속도와 방향은 작업환경의 구조에 따라 몇 가지 제약을 받는다. 첫째는 가능한 이동경로의 여유공간에 대한 이동로봇의 크기이다. 이동로봇이 물체를 추적하면서 배경물체와 충돌을 일으키지 않아야 하므로 이동물체의 경로를 따라 이동로봇이 움직일 수 있는 공간이 확보되어야 한다. 둘째는 이동로봇이 이동물체를 항상 시계(view range)내에 유지하도록 속도와 방향을 조절해야한다. 이동물체는 이동하면서 배경물체에 일정시간 가려지는 경우가 발생할 수 있으며 갑작스런 회전 등의 동작으로 인해 이동로봇의 시계를 벗어날 수 있으므로 이러한 돌발적인 상황에 대해 대처할 수 있어야 한다

이동로봇의 이동경로는 이동물체가 존재하지 않는 경우는 장애물을 피해 진행하도록 결정되며 이동물체가 검출되는 경우는 장애물을 피하면서 이동물체를 따라가야 하므로 이동물체가 진행하는 경로에 이동로봇이 통과할 수 있는 여유공간이 존재하는 가를 판단해야한다. 본 논문에서 사용하는 센서시스템은 그림 10과 같은 시계를 가지므로 이동로봇에게 허락되는 경로의 넓이가 영상 전체에서 차지하는 비율을 알면 쉽게 결정된다. 예를 들어 그림 4(b)에서 이동로봇이 추적하려는 물체는 label이 c인 영역이고 이동로봇에게 주어진 공간은 이동물체를 중심으로 좌우의 빈 공간을 포함하는 선분 {b, c, d} 영역이다. 따라서 이동로봇 좌표계에서 이동로봇에게 허용되는 공간은 X축의 길이에 대한 선분 {b, c, d}가 차지하는 길이의 비에 실제 직선광선의 길이를 곱한 값이다. 장애물만 존재하는 경우는 물체가 존재하지 않는 구간의 길이가 이동로봇의 폭보다 큰지를 비교한다.

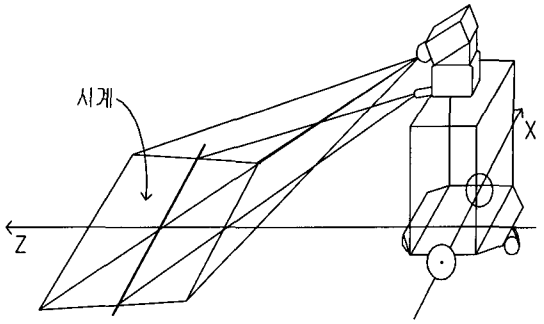


그림 10.이동로봇의 시계
Fig. 10. Measurement range of the mobile robot.

이동물체를 이동로봇의 시계에 유지하기 위해서는 물체의 움직임을 예측하여 물체가 이동로봇의 시계에서 사라질 확률을 최소화하도록 이동로봇의 포즈를 결정해야 한다. 이를 위해 이동로봇의 시계가 이동물체의 이동가능영역을 모두 포함하도록 이동가능영역의 중심값이 이동로봇의 시계 중심에 놓이도록 한다. 이동물체가 현재이동방향을 향해 $v_o m/s$의 속도로 이동할 경우 다음 측정주기에서 이동가능한 거리는 $v_o/2$가 되고, 이동가능한 방향은 현재이동방향의 좌우 15° 로 설정한다. 이동가능영역의 중심값은 r_o라 하고 현재 이동방향의 2/3 거리가 된다. 그림 11은 이동물체의 이동가능영역 중심점 설정을 보여준다.

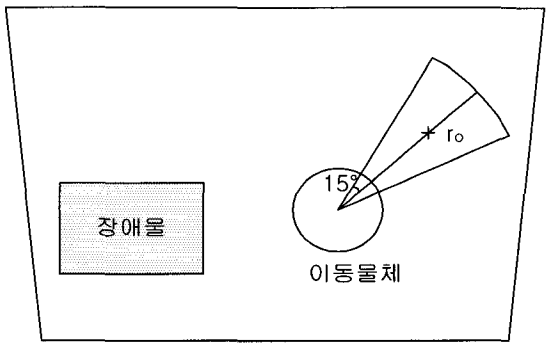


그림 11. 이동가능영역
Fig. 11. Allowable area for robot motion.

측정영역에 이동물체와 배경물체 혹은 장애물이 존재하는 경우, 이동로봇은 장애물을 회피하면서 이동물체를 추적해야 한다. 장애물이 이동물체와 충분한 거리차이를 갖고있을 경우와 이동물체가 장애물과 가까운 거리로 이동할 경우의 추적방향은 차별되어야 한다. 측정영역에 장애물이 존재할 경우 장애물과 이동물체

와의 거리차이를 기준으로 장애물의 무게값을 설정하여 이동물체의 위치를 장애물의 무게값에 의해 변화된 가상위치로 설정한다. 이동물체의 실제위치와 변화된 가상위치와의 편차값, 즉 장애물의 무게값은 측정영역의 X방향 전체 길이를 장애물과 이동물체 사이의 거리 d로 나누어준 값이다. 무게값에 의해 변화되는 이동물체의 가상위치값 p_v는 다음의 식과 같고, 이동물체의 X좌표값을 위미한다.

$$p_v = \begin{cases} p_{obj} + \dfrac{X}{d}, & p_{obs} < p_{obj} \\ p_{obj} - \dfrac{X}{d}, & p_{obj} < p_{obs} \end{cases} \quad (27)$$

p_{obj}는 이동물체의 위치, p_{obs}는 장애물의 위치이다. 그림 12는 장애물의 이동물체의 가상위치 설정을 보여준다.

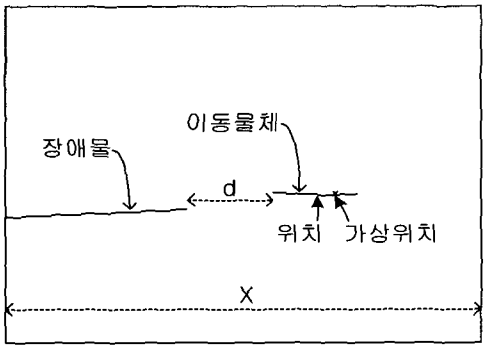


그림 12. 이동물체의 가상위치
Fig. 12. Virtual position of the moving object.

시계 내에 이동물체가 없고 배경물체 혹은 장애물만 존재하는 경우, 이동로봇의 경로는 이동물체검출 알고리즘에서 바닥면으로 인식되는 영역으로 형성되는 이동로봇 경로지도를 이용하여 결정한다. 배경물체와의 충돌을 피하며 이동하기 위한 이동로봇의 경로를 구하기 위해 물체의 영역을 이동로봇 좌표계의 (X, Z) 평면에 투영하여 누적하면 배경물체의 영역을 이동로봇의 경로 상에서 표현하는 그림 13과 같은 이동로봇 환경지도를 구할 수 있다. 그림에서 가로축은 이동로봇 좌표계의 X축에 해당하며 세로축은 시간축이다. 이동로봇 환경지도는 최근에 획득한 10개의 영상에서 얻어진 물체정보를 누적하여 구성한다. 이동로봇의 추적궤적은 식 (18)에서 구한 이동물체의 가상위치를 연결한 선의 형태로 나타난다.

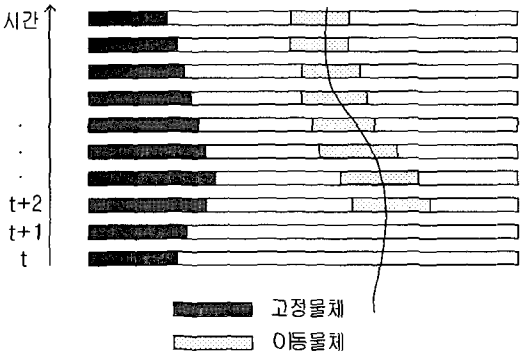


그림 13. 이동로봇 환경지도
Fig. 13. Environment map formed by the mobile robot.

V. 실험 및 평가

1. 시스템 구성

본 논문에서 이동로봇 시스템은 그림 14와 같은 구조를 갖는다. CCD 카메라를 통해 입력되는 영상신호를 처리하는 영상입력부, 2개의 모터를 제어하는 모터구동부, 영상입력부에서 전달된 물체정보를 분석하여 이동로봇의 경로 등을 결정하고 전체 시스템을 관장하는 주처리부로 구성된다. 그림 15는 완성된 이동로봇의 전면과 후면의 모습으로 높이 72cm, 폭 48cm, 길이 52cm의 크기를 갖는다.

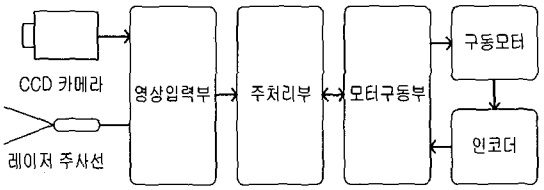


그림 14. 시스템 구성도
Fig. 14. System configuration.

(1) 영상입력부

직선광선은 붉은색 레이저 pointer를 유리관에 일정한 각도로 투사하여 만들었다. CCD 카메라는 국제전자의 칼러 CCD 카메라(모델 IVC-730A)를 사용하였고 카메라의 출력 신호는 Brooktree의 Bt878 video 디코더 칩을 사용하여 제작된 보드를 통해 메모리에 저장한다. 입력된 영상은 320×240, 24bit RGB값을 갖는데, 입력신호가 붉은색이므로 R값만을 이용하여 에지를 추출한다. Sobel 에지 연산자를 사용하여 에지를 검출한 후, 이진화 작업을 통해 라인영상을 추출하였다.

(2) 모터구동부

모터는 DC 모터 1쌍을 이용하여 차륜구동방식으로 구성하였으며 속도제어는 PWM방식을 사용하였다. 각 모터에는 인코더가 장착되어 이동 거리값을 모터제어 보드에 제공하고 모터제어보드는 주처리부로부터 이동거리, 조향각도에 대한 정보를 받아 모터를 구동시킨다. 모터제어보드는 80c196kc micro controller를 사용하여 제작하였다.

(3) 주처리부

주처리부에는 제안된 알고리즘이 C언어로 구현되어 있어서 입력영상으로부터 고정장애물과 이동물체를 구별하며 이동물체의 위치를 측정, 모터구동부에 이동로봇의 이동거리, 조향각도 등을 제공하는 역할을 담당한다. 주처리부에는 Pentium MMX 200MHz CPU를 채용한 산업용 PC를 사용하였다.

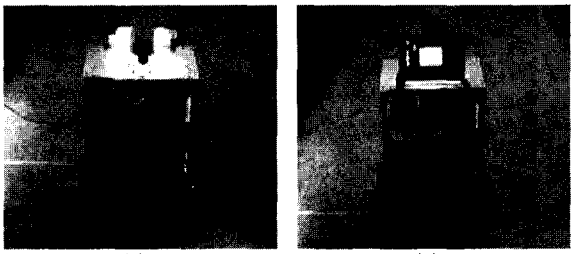


그림 15. 이동로봇: (a) 전면, (b) 후면
Fig. 15. Mobile robot: (a) front, (b) rear.

2. 실험 결과

실험은 2.5m×3m의 공간에서 다양한 장애물을 설치하고 행하였다. 추적할 목표물로는 Nomad사의 Super Scout II를 이용하였으며 Super Scout II의 궤적은 임의로 joy stick을 이용하여 이동시키면서 제작된 이동로봇이 추적하는 방식으로 실험을 실시하였다. 그림 16은 실험에서 이동로봇의 추적 궤적을 간략화하여 그린 것이고, 그림 17은 그림 16의 실험에서 추적장면을 촬영한 화면을 순서대로 촬영한 것이다.

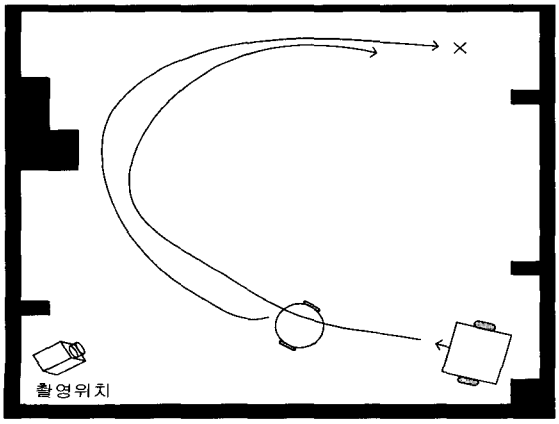


그림 16. 이동물체 추적 궤적의 예
Fig. 16. Trajectory of the mobile robot tracking the moving object.

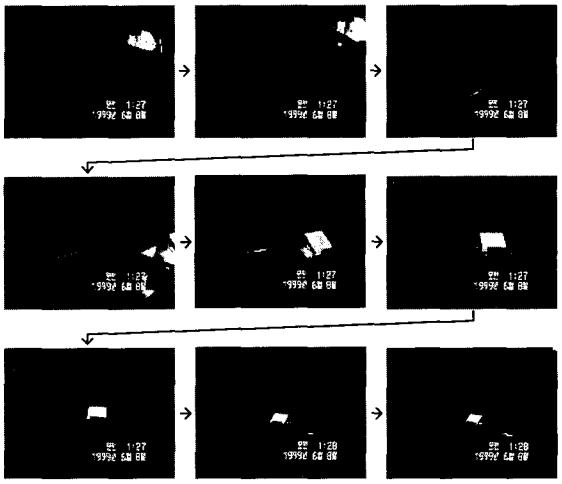


그림 17. 이동물체 추적의 예
Fig. 17. Example of tracking a moving object.

3. 평가 및 비교

이동물체의 추적은 이동물체의 검지, 이동물체의 위치와 속도계산, 이동로봇의 모터값계산의 순으로 행해진다. 이중 가장 많은 연산시간을 차지하는 것은 이동물체를 검지하기 위한 영상처리시간으로 기존의 논문들은 영상전체를 처리하기 위해 높은 하드웨어 사양을 요구한다. 또 해상도를 조절하거나 영상에서 수행하고자 하는 작업에 필요한 정보만을 선별적으로 뽑아내어 처리하는 경우에도 역시 이미지처리를 위한 하드웨어의 지원이 없이는 구현이 어렵다. 예를 들면 Kumar[6]는 실시간 처리를 위해 Roke Manor Research Limited에서 제작한 feature detection hardware system과 2대의 Parsytec Transputer/PowerPC processing board를 사용하였다. 또, Daniilidis[2]는 2대의 MaxVideo 200와 Sun SparcStation 10을 이용하였으며 128×128의 영상해상도에서 0.4sec의 샘플링시간을 갖는다. Wang[7]은 pipeline 구조를 가지는 시뮬레이션 프로그램을 제작 128×128의 이미지를 이용 Harris HCX9 Super Minicomputer로 테스트

하였다.

이에 비해 본 논문에서는 별도의 이미지처리용 하드웨어의 지원없이 0.5sec의 샘플링시간을 갖는 이동로봇을 제작하였다. 직선광선과 카메라를 이용한 센서시스템으로 인해 이동물체를 검지하는 부분에서 이미지 그 자체를 이용하는 것이 아니라 직선광선변화를 이용, 특징이 되는 점들만을 계산에 사용하므로 시스템이 간결하다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 하나의 직선광선을 이용하는 비젼센서를 사용하여 이동로봇이 경로 상에 존재하는 장애물을 피하면서 이동물체를 효과적으로 추적할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 비젼센서는 직선광선이 물체와 교차하며 만드는 선분영상의 분할된 개수, 위치, 크기의 변화를 분석하여 이동로봇 경로상에 존재하는 장애물, 이동물체의 개수 및 위치를 판단한다. 이동로봇은 이를 기반으로 가능한 이동경로의 여유공간, 이동물체의 시계 유지 등의 조건을 고려하여 이동경로를 결정한다. 제안된 알고리즘은 순차적으로 얻어지는 각 영상에서 직선광선과 연관된 영역의 위치변화만으로 이동물체와 장애물을 판단하고 이동경로를 결정하므로 기존의 비젼센서를 이용한 이동물체 추적시스템들이 갖는 과도한 하드웨어 및 소프트웨어 부담을 최소화하여 비젼센서를 이동로봇의 제어에 손쉽게 사용할 수 있음을 보였다. 제안된 시스템은 이동로봇에게 자율적인 작업이 가능하도록 다양한 기능을 부여함으로써 이동로봇의 사용범위를 산업분야뿐 아니라, 오락, 국방산업 등으로 크게 확장시키는 효과를 갖는다.

참 고 문 헌

[1] J. Dias, C. Paredes, I. Fonseca, H. Araujo, J. Batista, and A. T. Almeida, "Simulating Pursuit with Machine Experiments with Robots and Artificial Vision", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 14, no. 1, pp. 1-18, Feb. 1998.

[2] K. Daniilidis, C. Krauss, M. Hansen, and G. Sommer, "Real-Time Tracking of Moving Objects with an Active Camera", Real-Time Imaging 4, pp. 3-20, 1998.

[3] H. Ahang, Y. Gong, D. Patterson, and A. Kankanhalli, "Moving Object Detection, Tracking and Recognition", International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp. 1990-1994, 1994.

[4] Y. Shirai, T. Yamane, and R. Okada, "Robust Visual Tracking by Integrating Various Cues", IEICE Transactions on Information & Systems, vol. E81-D, No. 9, pp. 951-958, sept. 1998.

[5] S. M. Smith, J. M. Brady, "ASSET-2 : Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 17, no. 8, pp. 814-820, Aug. 1995.

[6] A. Kumar, Y, Bar-Shalom, and E. Oron, "Precision Tracking Based on Segmentation with Optimal Layering for Imaging Sensors", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 17, no. 2, pp. 182-188, Feb. 1995.

[7] G. Wang, R. Inigo, "Detection and Tracking of Single-pixel Targets Based on Trajectory Continuity", Image and Vision Computing, pp. 641-655, 1993.

[8] I. Horswill, "Visual Collision Avoidance by Segmentation", Proceedings of Image Understanding Workshop, pp. 1135-1141, 1994.

[9] G. L. Foresti, "Object Detection and Tracking in Time-Varying and Badly Illuminated Outdoor Environments", Optical Engineering, vol. 37, no. 9, pp. 2550-2564, Sep. 1998.

[10] J. Fernandez, A. Casals, "Autonomous Navigation in ill-Structured outdoor Environments", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems, pp. 395-400, 1997.

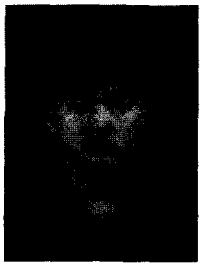
[11] M. Hashima, F. Hasegawa, H. Kanda, T. Maruyama, and T. Uchiyama, "Localization

and Obstacle Detection for a Robot for Carrying Food Trays", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems, pp. 345-351, 1997.

[12] A. Ohya, A. Kosaka, and A. Kak, "Vision-Based Navigation of Mobile Robot with Obstacle Avoidance by Single Camera Vision and Ultrasonic Sensing", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems, pp. 704-711, 1997.

[13] A. De La Escalera, L. Moreno, M. A. Salichs, and J. M. Armingol, "Continuous Mobile Robot Localization by Using Structured Light and a Geometric Map", International Journal of Systems Science, vol. 27, no. 8, pp. 771-782, 1996.

저 자 소 개



林 虎(正會員)

1997년 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 연구세부분야 : 3D 물체인식, 데이타 융합, 로보트비젼등임. 연구세부분야 : 3D 물체인식, 데이타 융합, 로보트비젼

洪 民 哲(正會員)

1988년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1990년~1991년 LG 정보통신 연구원. 1997년 미국 Northwestern대 전기공학과 졸업(공학박사). 1997년~1998년 미국 Northwestern대 Post Doctoral Research Fellow. 1998년~2000년 LG 전자 연구소 선임연구원. 2000년~현재 숭실대학교 공과대학교 정보통신전자공학부 교수. 연구세부분야 : 영상 복원, 비선형 영상처리 및 필터링, blind deconvolution, 동영상 압축

韓 獻 洙(正會員)

1981년 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1991년 미국 남가주대학(USC) 전기공학과 졸업(공학박사). 1992년~현재 숭실대학교 공과대학 전자공학과 교수. 연구세부분야 : 3D 물체인식, 데이타 융합, 로보트비젼