

동적 물체의 비전 검출을 통한 이동로봇의 장애물 회피

Mobile Robot Obstacle Avoidance using Visual Detection of a Moving Object

김 인 권¹, 송 재 복²

In-Kwen Kim¹, Jae-Bok Song²

Abstract Collision avoidance is a fundamental and important task of an autonomous mobile robot for safe navigation in real environments with high uncertainty. Obstacles are classified into static and dynamic obstacles. It is difficult to avoid dynamic obstacles because the positions of dynamic obstacles are likely to change at any time. This paper proposes a scheme for vision-based avoidance of dynamic obstacles. This approach extracts object candidates that can be considered moving objects based on the labeling algorithm using depth information. Then it detects moving objects among object candidates using motion vectors. In case the motion vectors are not extracted, it can still detect the moving objects stably through their color information. A robot avoids the dynamic obstacle using the dynamic window approach (DWA) with the object path estimated from the information of the detected obstacles. The DWA is a well known technique for reactive collision avoidance. This paper also proposes an algorithm which autonomously registers the obstacle color. Therefore, a robot can navigate more safely and efficiently with the proposed scheme.

Keywords: real-time obstacle avoidance, moving object detection, motion vector, mobile robot

1. 서 론

이동로봇의 자율주행 기술은 지도작성, 위치인식, 경로계획, 장애물 회피 등으로 구성되어 있다. 이 중에서 장애물을 회피하는 기능은 로봇의 안정적인 주행을 위해서 반드시 필요한 기능이다. 실시간으로 장애물을 회피하기 위해서는 장애물의 위치정보가 필요하며, 이를 얻기 위해서 장애물의 검출 및 추적을 수행하여야 한다. 장애물은 크게 정적 물체와 동적 물체로 구분할 수 있다. 책상이나 의자와 같은 정적 물체와는 달리 사람이나 로봇과 같은 동적 물체는 위치가 수시로 변하므로 검출하기가 쉽지 않다.

동적 물체의 검출 및 추적 방법 중 하나는 레이저 센서와 같은 거리센서를 이용하여 물체의 절대위치의 변화를 계산하는 방식이다. 레이저 스캐너의 경우 1° 간격으로 180° 범위를 스캔할 수 있으므로 한 번에 181개의

거리 정보를 얻을 수 있다. 이 경우에 정적 물체의 위치는 비교적 정확하게 검출할 수는 있지만, 제한된 정보량 때문에 동적 물체를 검출하기에는 적합하지 않다. 예를 들어, 사람의 경우 다리만 추출될 가능성이 높으며, 추출된 정보의 양은 레이저 스캐너로부터의 한 번에 얻을 수 있는 181개의 데이터 중에서 2~3개에 불과하므로 결과적으로 사람을 검출하는 데 어려움이 있다.

이에 비하여, 비전센서의 경우 거리센서에 비하여 상대적으로 많은 정보를 획득할 수 있으며, 또한 가격대비 성능이 우수하기 때문에 비전센서를 이용한 동적 물체의 검출에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 비전센서가 공간상에 고정되어 있는 일반적인 감시시스템과는 달리, 로봇의 주행으로 인하여 영상이 수시로 변하기 때문에 동적 물체의 검출 및 추적이 어려움이 수반된다. 이러한 문제점을 극복하여 동적 물체를 검출 및 추적하기 위해 현재까지 개발된 기법은 템플릿 정합 기법^[1], 학습기법^[2], 모션벡터 기법^[3] 등이 있다. 템플릿 정합 기법은 이전 영상에서 미리 추출된 대표 템플릿과 현재 영상의 템플릿과의 유사도를 통해 동적 물체를 검출한다. 템플릿 정합 기법은 대표 템플릿을 미

※ 본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21C 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)의 일환으로 수행되었음.

¹ 고려대학교 메카트로닉스학과 석사(E-mail: blue4u@korea.ac.kr)

² 고려대학교 기계공학부 교수(E-mail: jbsong@korea.ac.kr)

리 데이터 베이스에 등록하여야 하므로, 데이터 베이스에 존재하지 않는 물체는 검출할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 학습기법은 영상 데이터에서 추출한 특징들을 이용하여 학습시키고, 학습된 모델을 통하여 동적 물체를 검출한다. 학습기법의 경우 사전학습이 필요하며, 학습에 사용한 데이터에 따라 다른 결과를 보이며 단점을 가지고 있다. 한편, 모션벡터 기법은 에지 및 코너를 이용하여 구한 모션벡터와 색상과 같은 물체의 특징정보를 이용하여 동적 물체를 검출 및 추적한다. 이 기법은 다양한 종류의 동적 물체를 검출할 수 있으며, 또한 사전학습이 필요하지 않기 때문에 실용적이다.

검출된 동적 물체를 실시간으로 회피하기 위해서 Vector Field Histogram Approach (VFH)^[4], Dynamic Window Approach (DWA)^[5] 등의 알고리즘이 제안되었다. VFH는 로봇의 주변환경에 대해 물체가 존재할 확률을 나타내는 1차원 폴라 히스토그램(polar histogram)을 계산하고, 이를 통해 안전한 방향을 선택하여 로봇이 목표점을 향하여 안전하게 주행할 수 있게 하는 방법이다. 그러나 로봇의 기구학적 구속조건을 고려하지 않아 좁은 통로를 통과하기 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다. DWA는 현재 일반적으로 사용되고 있는 실시간 장애물 회피 알고리즘으로서, 로봇의 구속조건을 포함시켜 제어 가능한 속도영역 중에서 장애물의 위치정보를 바탕으로 충돌을 계산하여 장애물이 있는 환경에서 목표점을 향하여 안전하고 빠르게 주행할 수 있는 속도를 선택하는 방법이다. 정적 물체의 경우 우수한 장애물 회피 성능을 보이는 반면에, 동적 물체의 경우 위치의 변화로 인하여 회피에 불안정한 모습을 보인다.

본 논문에서는 비전기반의 동적 물체의 검출 및 추적 기법을 기반으로 물체의 시간에 따른 위치정보를 예측하고, 이 정보를 반영하여 동적 장애물을 회피하는 DWA를 제안하여, 로봇이 동적 물체의 위치변화에 보다 더 우수한 회피성능을 보이며 주행을 할 수 있도록 하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 레이블링과 모션벡터를 이용하여 동적 물체를 검출하는 방법을 설명한다. 3장에서는 색상정보를 이용하여 동적 물체를 추적하는 방법을 설명한다. 4장에서는 DWA를 소개하고, 동적 물체의 이동경로를 반영한 DWA를 설명한다. 5장에서는 위의 기법을 실험을 통해 검증하고 그에 따른 결과를 제시한다. 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 동적 물체의 검출

스테레오 카메라로부터 획득한 영상의 각 화소는 거리값을 가지고 있으며, 영상에서 어떤 물체에 속한 인

접한 화소들은 유사한 거리값을 가지게 된다. 이러한 사실을 이용하면 영상에서 물체를 추출할 수 있으며, 이렇게 추출된 물체 중에서 동적 물체를 판별하기 위하여는 모션벡터를 이용한다.

2.1 물체 추출

물체를 추출하기 위하여, 각 화소들의 인접성과 거리값의 유사성을 이용한 레이블링(labeling)^[6] 기법을 이용한다. 레이블링이란 인접하여 연결되고 상호 연관성이 있는 모든 화소에 동일한 레이블을 부여하는 작업을 의미하며, 이를 통하여 물체를 추출할 수 있다. 레이블링된 물체는 표면이 영상 내에서 분할되어 나타나기 때문에 배경으로부터 물체를 추출할 수 있다. 또한, 비스듬히 놓여있는 물체의 경우에는 3차원 공간상의 위치가 유사하므로 하나의 물체로 검출이 가능하다.

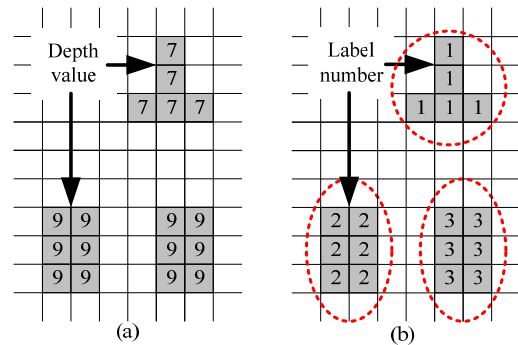


그림 1. (a) Depth value of each pixel, and (b) labeling.

그림 1은 레이블링의 원리를 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 스테레오 카메라로부터 얻은 영상의 각 화소의 거리값을 나타내며, 그림 1(b)는 이를 레이블링하여 얻은 결과로서 3개의 물체가 추출되었다. 만약, 화소의 인접성을 고려하지 않는다면 하단의 2개의 사각형이 하나의 물체로 레이블링될 것이다.

2.2 동적 물체의 판별

추출한 물체들 중에서 동적 물체를 판별하기 위하여 모션벡터를 이용한다. 모션벡터는 다음의 방법으로 구한다. 헤리스 코너 검출기(Harris corner detector)^[7]를 이용하여 그림 2와 같이 이전 영상과 현재 영상에서 코너를 각각 추출한 후, 피라미드 기반의 LKT(Lucas-Kanade-Tomasi) tracker^[8]를 이용하여 두 영상 사이에서 서로 대응하는 코너를 찾는다. 그리고 이전 및 현재 영상에서의 서로 대응하는 코너의 변화, 즉 모션벡터를 구한다.

카메라가 고정되어 있는 경우, 크기가 0이 아닌 모션 벡터를 가진 물체는 동적 물체이다. 하지만 로봇에 장착되어 있는 카메라의 경우, 로봇의 이동에 의해 카메

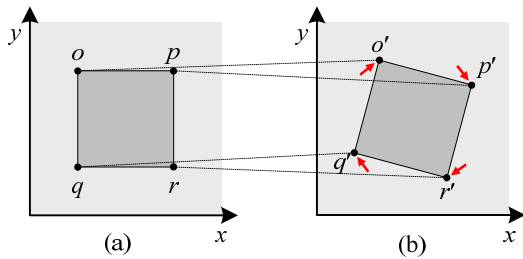


그림 2. (a) Corners of previous image, and (b) corners of current image and motion vectors.

라의 위치가 계속 변하게 되므로 정지해 있는 물체의 모션벡터도 크기가 0이 아닐 수 있다. 그러므로 단순히 모션벡터의 크기가 0인지 아닌지를 통해 동적 물체의 여부를 판단할 수는 없다.

카메라의 이동정보와 카메라를 통해 획득한 카메라와 물체와의 거리값을 이용하여 정적 물체의 모션벡터를 예측할 수 있다. 예측된 정적 물체의 모션벡터, 즉 예측된 모션벡터를 통하여 카메라의 위치가 변경되는 상황에서 동적 물체를 판별할 수 있다.

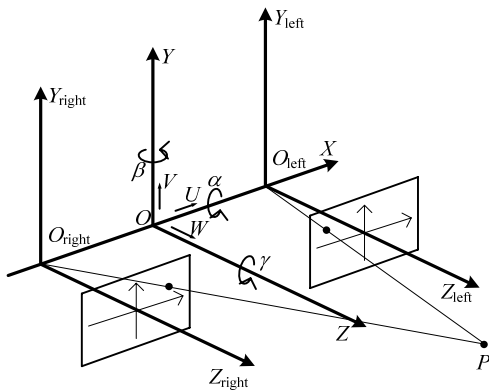


그림 3. Coordinate systems for stereo camera.

그림 3은 스테레오 카메라의 좌표계 $OXYZ$ 를 나타낸다. 좌측 및 우측 카메라의 광심은 각각 좌표 $(T_x, 0, 0)$ 와 $(-T_x, 0, 0)$ 를 통과한다. 카메라의 X, Y, Z 축의 병진속도는 $T = [U, V, W]^T$, 그리고 X, Y, Z 축의 회전속도는 $\Omega = [\alpha, \beta, \gamma]^T$ 로 표현한다. T 와 Ω 를 이용하여 카메라의 공간상의 이동을 $m_{cam} = [T^T, \Omega^T]^T$ 로 나타낸다. m_{cam} 은 로봇 및 팬틸트 이동정보로부터 구할 수 있으며, 이렇게 구한 m_{cam} 과 스테레오 카메라로부터 구한 거리정보를 이용하여 아래의 식으로부터 모션벡터를 예측할 수 있다⁹⁾.

$$\begin{bmatrix} v_{x,L} \\ v_{y,L} \end{bmatrix} = A^T \cdot m_{cam} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{f}{Z_L} & 0 \\ 0 & -\frac{f}{Z_L} \\ \frac{x_L}{Z_L} & \frac{y}{Z_L} \\ \frac{x_L y_L}{f} & f + \frac{y_L^2}{f} \\ -\frac{x_L^2}{f} - f - \frac{x_L \cdot T_x}{Z_L} & -\frac{x_L y_L}{f} - \frac{y_L \cdot T_x}{Z_L} \\ y_L & -x_L - \frac{f \cdot T_L}{f} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, 하첨자 L 은 좌측 카메라를 의미하며, f 는 초점 거리, Z 는 거리값, (x, y) 는 해리스 코너의 좌표, (v_x, v_y) 는 해리스 코너의 예측된 모션벡터를 각각 의미한다.

이와 같이 예측된 모션벡터와 이전 및 현재 영상으로부터 구한 실제 모션벡터 간의 차이(크기와 방향)를 계산한다. 만약, 그 값이 작거나 0이면 해당 물체는 정적 물체로, 그리고 크다면 동적 물체로 판단할 수 있다.

3. 동적 물체의 추적

로봇이 동적 물체를 추종 또는 회피하기 위해서는 검출된 동적 물체를 놓치지 않고 추적할 수 있어야 한다. 동적 물체의 추적을 위해서는 동적 물체의 위치정보를 이용하는데, 이전 시간과 현재 시간의 동적 물체의 위치를 비교함으로써 동적 물체를 추적할 수 있다. 그러나 추적 중인 동적 물체와 비슷한 위치에 다른 물체들이 존재하는 경우에는 위치정보만으로는 추적하기는 어렵다. 물론 모션벡터를 이용하여 동적 물체를 검출한 후 동적 물체의 위치를 갱신하고 다시 추적할 수 있다. 하지만 동적 물체가 움직이지 않는 문제가 발생되면, 동적 물체를 검출할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 색상정보를 이용한다. 모든 물체는 색상정보를 가지고 있으며, 색상 정합을 통해 검출된 동적 물체만을 추적할 수 있다.

로봇의 이동에 의해 카메라의 시야는 변하게 된다. 카메라 시야의 변화에 따라 조명의 밝기도 변하기 때문에 색상정보는 왜곡된다. 왜곡된 색상정보를 바탕으로 동적 물체를 추적할 수 없기 때문에 밝기 변화에 강인한 색상정보가 필요하다. 본 논문에서는 조명의 밝기에 강인하고 수행속도가 빠른 NCC(normalized color component) 색상공간을 이용하며, 스테레오 카메라로부터 받은 RGB 색상공간을 NCC 색상공간으로 변환하기 위하여 다음의 식을 사용하였다.

$$r_n = \left[\alpha \frac{R}{R+G+B} \right], g_n = \left[\alpha \frac{G}{R+G+B} \right] \quad (3)$$

여기서, r_n, g_n 는 정규화된 R, G 를 의미한다. 정규화된 값들의 간격은 α 를 통해 수정된다.

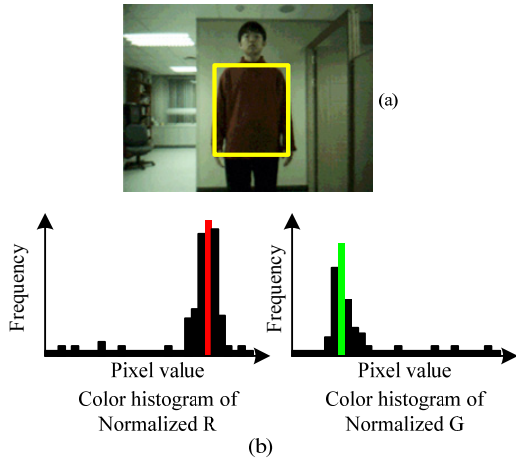


그림 4. (a) Labeled region of moving object, and (b) normalized color R, G of ROI.

색상정보를 이용하여 동적 물체를 추적하기 위해서는 동적 물체의 색상을 알아야 하며, 동적 물체의 레이블링 영역을 통해 찾을 수 있다. 그러나 레이블링된 영역에는 동적 물체 이외의 영역까지 포함되어 있기 때문에 동적 물체의 색상을 알아내는 것이 어렵다. 하지만 동적 물체는 레이블링 영역에서 많은 부분을 차지하는 반면에, 그 이외의 영역은 상대적으로 적은 부분을 차지한다. 따라서 화소값의 분포를 계산하여 가장 높은 분포도를 가진 값을 찾아냄으로써 동적 물체의 색상을 찾아낼 수 있으며, 이를 위해 색상 히스토그램을 사용한다.

그림 4는 색상 히스토그램을 이용하여 동적 물체의 대표 색상을 구하는 원리를 나타낸다. 그림 4(a)에서와 같이 동적 물체의 레이블링 영역(네모 상자)을 통해 획득한 색상정보를 RGB 색상공간에서 NCC 색상공간으로 변환한 후에 변환된 색상정보를 이용하여 그림 4(b)와 같이 색상 히스토그램을 생성한다. 생성된 히스토그램에서 가장 높은 분포도를 가진 색상은 동적 물체의 대표 색상이며, 이 색상을 자동 등록하여 동적 물체를 추적할 수 있다.

4. 동적 물체의 회피

4.1 Dynamic Window Approach (DWA)

DWA의 dynamic window란 제어 가능한 속도 영역으

로서, 제어 주기와 로봇의 현재 속도, 그리고 로봇을 구동하는 액추에이터의 성능을 고려하여 계산된 영역이다.

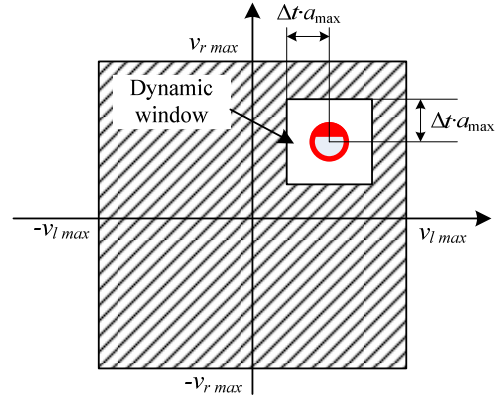


그림 5. Dynamic window.

그림 5는 dynamic window를 나타낸 것이다. Dynamic window인 흰색 영역은 로봇의 전체 속도영역 중에서 로봇의 현재속도를 기준으로 제어주기(Δt) 동안 가속도로 인해 변화 가능한 속도를 계산한 결과이다. 여기서 a_{max} 는 최대가속도, v_{max} 는 최대속도를 의미한다. DWA는 dynamic window의 속도에 대해, 3개의 objective의 합인 overall objective(w^*)가 최대가 되는 속도를 로봇의 속도로 선택하여, 로봇이 빠른 속도로 장애물을 회피하며 목표점을 향하여 주행할 수 있도록 한다.

$$w^* = \alpha_{head} \cdot w_{head} + \alpha_{speed} \cdot w_{speed} + \alpha_{clear} \cdot w_{clear} \quad (4)$$

여기서, w_{head} 는 로봇의 방향과 관련된 heading objective, w_{speed} 는 로봇의 속도와 관련된 speed objective, 그리고 w_{clear} 는 장애물과의 거리와 관련된 clearance objective이다. $\alpha_{heads}, \alpha_{speeds}, \alpha_{clear}$ 는 $w_{heads}, w_{speeds}, w_{clear}$ 의 가중치이며, 이 값을 조합함에 따라 로봇 운동의 특성이 결정된다. 그림 6(a)의 w_{head} 는 로봇이 목표점으로 향할수록 큰 값을 가지게 되어 로봇은 목표점을 향해 주행할 수 있게 하고, 그림 6(b)의 w_{speed} 는 로봇의 속도가 증가할수록 큰 값을 가지므로 로봇은 빠른 주행을 할 수 있게 한다.

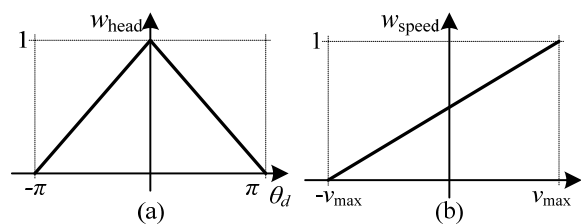


그림 6. (a) Heading objective, and (b) speed objective.

로봇의 장애물 회피를 위한 clearance objective는 dynamic window의 모든 속도에 대해 로봇이 장애물과 충돌하기 까지 소요되는 시간, 즉 충돌시간(t_{col})을 이용하여 구해진다. 이 값은 충돌시간이 클수록, 즉 회피의 가능성이 커질수록 큰 값을 가지게 되며, 따라서 로봇은 장애물 회피를 할 수 있게 된다.

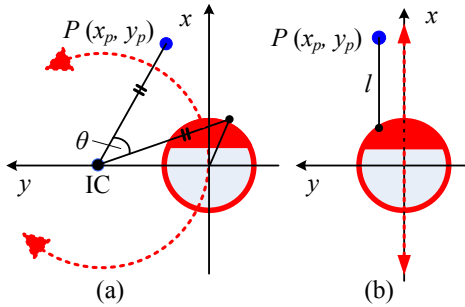


그림 7. Collision prediction.

충돌시간은 다음과 같이 회전운동과 병진운동으로 나누어 계산한다. 로봇이 그림 7(a)와 같이 회전운동을 할 경우 IC(instantaneous center of rotation)를 중심으로 이동하게 된다. 이 경우 로봇의 주행경로에 존재하는 장애물 $P(x_p, y_p)$ 와의 충돌시간(t_{col})은 장애물과 로봇이 충돌할 때까지의 각도인 θ 를 로봇의 각속도로 나누어 구한다. 로봇이 그림 7(b)와 같이 순수한 병진운동을 할 경우, 로봇의 주행 경로에 장애물 $P(x_p, y_p)$ 과의 충돌시간은 로봇과 장애물과의 거리인 l 을 로봇의 속도로 나누어 구한다.

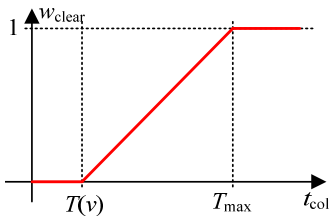


그림 8. Computation of clearance objective.

Clearance objective는 dynamic window의 각각의 속도로부터 계산된 충돌시간에 대해 그림 8를 통하여 구해진다. 여기서, $T(v)$ 은 해당 속도의 정지시간이고, T_{max} 는 최대속도의 정지시간으로 다음과 같이 구할 수 있다. 여기서 정지시간이란 최대로 감속하여 정지할 때까지 소요되는 시간을 의미한다.

$$T(v) = \frac{v}{a_{max}}, \quad T_{max} = \frac{v_{max}}{a_{max}} \quad (5)$$

만약 충돌시간이 $T(v)$ 보다 작다면, 즉 충돌까지 걸리

는 시간이 로봇이 정지할 때까지 걸리는 시간보다 짧다면 로봇은 장애물과 충돌하게 된다. 따라서 w_{clear} 는 0이 되고, T_{max} 보다 크다면 충돌하지 않으므로 w_{clear} 가 1이 된다. 이를 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$w_{clear}(v) = \begin{cases} 0 & (t_{col} \leq T(v)) \\ \frac{t_{col} - T(v)}{T_{max} - T(v)} & (T(v) < t_{col} < T_{max}) \\ 1 & (t_{col} \geq T_{max}) \end{cases} \quad (6)$$

4.2 동적 물체의 회피

동적 물체는 정적 물체와는 달리 위치가 변한다. 그러므로 동적 물체를 회피하기 위해서는 물체의 시간에 따른 위치정보와 물체의 너비의 정보가 필요하다. 비전 센서로 검출한 동적 물체의 위치정보에 기반하여 물체의 속도를 계산하여 이동경로, 즉 물체의 시간에 따른 위치를 예측할 수 있으며, 레이블링을 통해 물체의 너비를 알 수 있다. 비전 센서는 시야각이 좁기 때문에 동적 물체가 시야에 벗어나게 되면 충돌이 발생할 수 있다. 하지만 물체의 이동경로를 파악함으로써 물체가 시야에서 벗어나더라도 회피가 가능하다.

로봇과 동적 물체와의 충돌시간을 계산하는 과정이 그림 9에 나타나 있다. 여기서 물체는 일정한 속도로 좌에서 우로 이동하고 있다고 가정한다. 비전정보로부터 구한 동적 물체의 현재 위치($x_{t,obs}, y_{t,obs}$) 및 속도(v_{obs})와 로봇의 속도 및 가속도를 이용하여 동적 물체와 로봇이 충돌하게 되는 시간(t_{col})을 구할 수 있다. 예를 들어, 동적 물체가 느린 속도로 이동하고 로봇의 속도와 가속도가 각각 v_i 와 w_i 라면, 물체와 로봇은 A점에서 충돌하게 되고, 이때의 시간은 $t_{col,i}$ 이다. 계산된 충돌시간 t_{col} 을 식 (6)에 대입하여 clearance objective를 구할 수 있고, 로봇은 동적 물체와 충돌하지 않고 안전하게 목표점을 향해 주행할 수 있다.

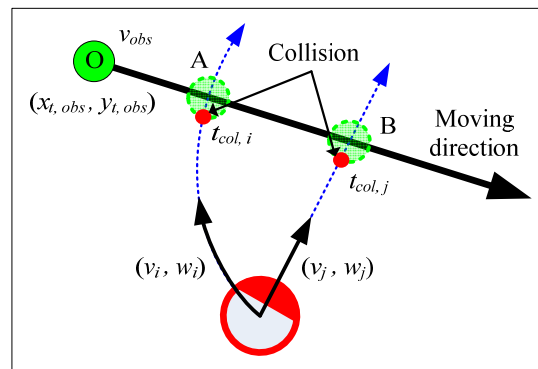


그림 9. Remaining time to crash the moving object.

5. 실험 및 결과

동적 물체 검출 및 추적 알고리즘과 DWA를 이용하여, 그림 10과 같이 약 5m×10m의 환경에서 동적 물체의 회피 실험을 수행하였다.

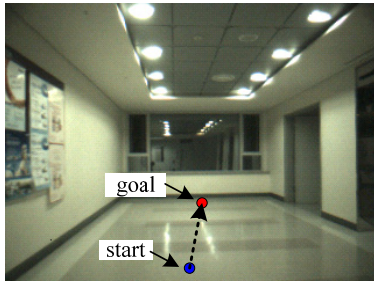


그림 10. Experimental environment

검출된 동적 물체의 경로를 반영하지 않고 매 순간의 위치정보만을 가지고 회피 실험을 수행하였다. 그림 11에서 보듯이, 로봇이 약 35cm/s로 그림 10의 목표지점을 향하여 주행하였으며, 사람은 로봇을 향하여 약 30cm/s의 속도로 이동하였다.

그림 11은 비전센서를 이용하여 로봇의 주행시 동적 물체를 검출 및 추적한 결과이고, 동적 물체 검출을 위한 영상처리 시간은 프레임당 약 0.3초가 소요된다. (a)는 입력 영상이며, 사각형 상자는 물체를 의미한다. 물체는 (b)와 같이 레이블링을 통하여 추출하였으며, (c)의 모션벡터를 이용하여 물체 중에서 동적 물체를 검출하였다. (a)의 빨간 실선의 사각형 상자는 검출된 동적 물

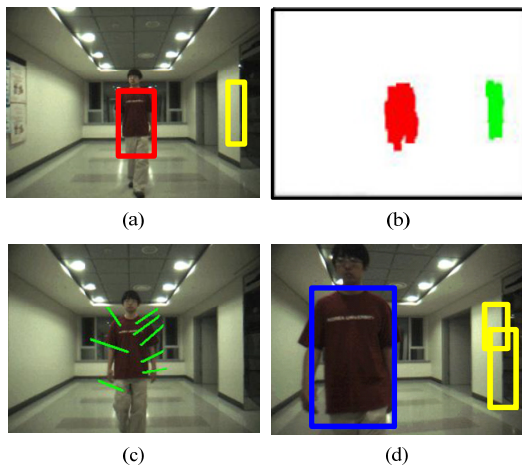


그림 11. Moving object detection and tracking; (a) moving object detection, (b) extraction of objects based on labeling, (c) motion vector, and (d) moving object tracking using color information.

체를 의미하며, (d)는 동적 물체 추적을 나타낸다. (d)에서는 모션벡터가 충분하지 않아서 동적 물체를 검출할 수 없었지만, 동적 물체의 색상정보를 이용하여 동적 물체의 추적이 가능하였다. 과란 실선의 사각형 상자는 색상정보를 이용하여 검출한 동적 물체를 의미한다.

그림 12(a)는 로봇의 초기점에서 목표점까지의 이동 경로와 사람의 이동 경로를 보여주고 있다. 로봇은 검출한 사람을 회피하려고 주행 방향을 변경하였으나, 사람은 정지하지 않고 로봇을 향해 계속 이동하였기 때문에 충돌이 발생하였다. 정적 물체와 달리 동적 물체는 계속 움직이기 때문에 이동경로를 반영하지 않고 단지 매 순간의 물체의 위치정보만을 이용하는 방법이 동적 물체 회피에 적절치 못함을 알 수 있다.

한편, 그림 12(b)는 로봇이 동적 물체를 회피하며 초기지점에서 목표지점까지 이동한 경로와 사람의 이동 경로를 보여주고 있다. 비전을 통해 검출된 사람의 시간에 따른 위치정보를 통해 예측된 물체의 이동경로를 바탕으로 로봇과 물체와의 충돌을 미리 반영하여 주행 방향을 결정하였다. 이 실험을 통하여, 매 순간의 물체의 위치정보를 이용하는 방법과는 달리 로봇이 동적 물체를 회피하여 안전하게 주행을 하고 있음을 관찰할 수 있다.

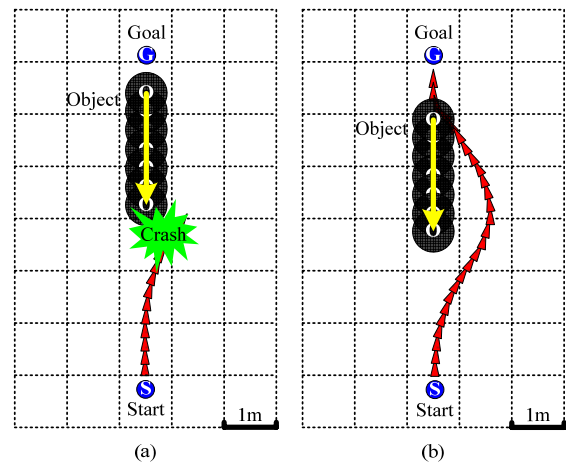


그림 12. Actual path of a robot for obstacle avoidance; (a) DWA with position information alone, and (b) DWA with path information.

5. 결론

본 연구에서는 비전을 기반으로, 레이블링 기법과 모션벡터, 그리고 색상정보를 이용하여 동적 물체를 검출 및 추적하고, 이를 통해 동적 물체의 시간에 따른 위치정보를 예측하여 동적 물체를 안정적으로 회피할 수 있

는 DWA 기법을 제시하였다. 이 기법은 이동경로를 반영하기 때문에 동적 물체를 보다 안정적으로 회피할 뿐만 아니라, 비전센서의 시야에 벗어난 물체까지 회피함으로써 로봇 주행의 안전성이 향상되었다.

참고문헌

- [1] R. T. Collins, R. Gross and S. Jianbo, "Silhouette-based human identification from body shape and gait," Proc. of 5th IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 351-356, 2002.
- [2] Z. Qiang, Y. Mei-Chen, C. Kwang-Ting and S. Avidan, "Fast Human Detection Using a Cascade of Histograms of Oriented Gradients," Proc. of IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1491-1498, 2006.
- [3] T. Yoshimi, M. Nishiyama, T. Sonoura, H. Nakamoto, S. Tokura, H. Sato, F. Ozaki, N. Matsuhira and H. Mizoguchi, "Development of a Person Following Robot with Vision Based Target Detection," Proc. of IEEE/RSJ International Conf. of Intelligent Robots and Systems, pp. 5286-5291, 2006.
- [4] J. Bornstein and Y. Koren. "The Vector Field Histogram – Fast obstacle Avoidance for Mobile Robots," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol 7, No 3, pp.278-288, 1991.
- [5] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance," IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 23-33, 1997.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Edition, Addison-Wesley, 1999.
- [7] C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," Proc. of The Fourth Alvey Vision Conference, pp. 147-151, 1988.
- [8] J.-Y. Bouguet, Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm, Intel Corporation, Microprocessor Research Labs, 1999.
- [9] 윤제한, Moving Object Detection and Tracking Using Stereo Camera for Indoor Navigation, 고려대학교 대학원, 2006.



김 인 권

2005 고려대학교 자연과학대학 전산학과 (학사)
2006~2008 고려대학교 메카트로닉스 학과 (석사)

관심분야: mobile robotics



송 재 복

1983 서울대학교 기계공학과 (학사)
1985 서울대학교 기계설계학과 (석사)
1992 MIT 기계공학과(박사)
1993~현재 고려대학교 기계공학부 교수

관심분야: mobile robotics, robotic design and control