

논문 2008-03-19

# 스테레오 비전 기반의 이동객체용 실시간 환경 인식 시스템

(Investigation on the Real-Time Environment Recognition System Based on Stereo Vision for Moving Object)

이 충 희\*, 임 영 철, 권 순, 이 중 훈

(Chung-Hee Lee, Young-Chul Lim, Kwon Soon, and Jong-Hun Lee)

Abstract : In this paper, we investigate a real-time environment recognition system based on stereo vision for moving object. This system consists of stereo matching, obstacle detection and distance estimation. In stereo matching part, depth maps can be obtained real road images captured adjustable baseline stereo vision system using belief propagation(BP) algorithm. In detection part, various obstacles are detected using only depth map in case of both v-disparity and column detection method under the real road environment. Finally in estimation part, asymmetric parabola fitting with NCC method improves estimation of obstacle detection. This stereo vision system can be applied to many applications such as unmanned vehicle and robot.

Keywords : Stereo vision, Fast stereo matching, Obstacle detection, Precise disparity estimation, Obstacle tracking

## 1. 서론

지난 수년간, 자동차 산업은 첨단 IT, MT와 결합함으로써, 기존 전통산업의 이미지를 벗어나 지능형 능동 시스템으로의 변화를 모색하고 있다. 차선 이탈 감지(lane departure detection), 스마트 에어백, 충돌 경고(collision warning) 등의 수동 안전장치 개발을 비롯하여, 충돌 회피(collision avoidance), 주차 충돌 회피(parking collision avoidance), 자동항법 제어(adaptive cruise control), 차선 유지 시스템(lane keeping system)등의 능동 안전 시스템으로 발전하고 있다. 이제 차세대 기술은 자동차가 사람을 대신해 운전하고, 운전자에게 주변상황 및 최적의 경로를 조언해 줄 뿐만 아니라, 스스로 특정한 위치에 도착하여 임무를 완수하는 무인 로봇 또

는 무인 자동차로 발전하게 될 것이다. 무인 자동차는 미 국방부(department of defense)가 전 군사차량의 1/3이 2015년까지 무인 자동화가 되어야한다는 미 의회법에 의하여, 2004년 DARPA 챌린지를 개최함으로써 더욱 개발의 가속화가 진행되고 있다. 특히 2007년 도심 챌린지에 참가한 차량의 높은 성능은 현재의 무인자동차 기술을 가능하게 하는 잣대가 되고 있다.

지능형 자동차나 로봇에서 주변 상황을 인식하고 능동적으로 대처하기 위해서는 많은 종류의 센서가 필요하다. 주로 사용되는 센서는 초음파 센서, 레이더, 레이저 및 비전 센서가 있다[1]. 그 중에서도 인간 시각 구조와의 유사성, 다양한 카메라 및 광학 기술의 발전, 하드웨어 및 소프트웨어 성능 향상 등의 이유로 비전 센서는 필수적인 센서로 자리 잡고 있다. 특히 광류(optical flow), 스테레오 비전 등을 이용하면 3차원 정보를 구할 수 있어, 정확한 거리 정보 추출이 가능하다[2]. DARPA 챌린지에서 그 성능을 보였듯이, 3차원 정보를 이용한 비전시스템은 차선표시가 그려져 있는 포장도로뿐만 아니라, 비포장도로에서도 적용이 가능하여 군사용, 우주산업용 등 다양한 응용분야에 적용할 수 있다. 그러나 무인 자동차에 비전기술을 적용하기 위해서는 높은 신뢰성 및 실시간성을 확보해야

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 05. 06, 채택확정 : 2008. 07. 24.  
이충희\*, 임영철, 권순, 이중훈) : 대구경북과학기술  
연구원

※ 본 논문은 2008년 교육과학기술부/기관고유과제  
연구지원사업의 일환으로 진행되었음.

하는 문제가 여전히 남아 있다. 이에 새로운 알고리즘 및 반도체 기술의 향상에 따른 컴퓨터 성능의 향상으로 인하여 한층 성숙된 성과를 내고 있으며, 최근 폭스바겐, 다이믈러클라이슬러, 도요다, 닛산 등의 유럽과 일본 자동차 제조업체들이 비전 시스템을 장착한 차량의 상용화에 성공함으로써 기존 비전 기술의 한계점을 뛰어넘고 있다. 비록 고신뢰성 및 고성능은 아니지만, 기존 국방 등의 소수 분야에만 적용된 비전 기술을 차량에 적용한 것만으로도 그 의의는 크다고 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 스테레오 비전 기반의 이동 객체용 실시간 환경 인식 시스템의 구조와 각 구조의 동작 원리 및 문제점을 제시하고, 그 문제점을 접근하기 위한 실험 결과를 제시한다.

## II. 비전 기반의 이동객체용 실시간 환경인식 기술

### 1. 비전 기반의 이동객체용 실시간 환경인식 시스템

그림 1은 스테레오 비전 기반의 이동객체용 실시간 환경인식 시스템의 블록도를 나타낸다. 본 시스템은 지능형 무인 자동차 및 로봇에 적용 가능한 핵심 기술로서, 신뢰성에 바탕을 둔 실시간성이 요구되어 진다. 현재 개발 중인 비전시스템은 대부분 모노 카메라 기반의 시스템으로서 다양한 외부환경에 대응하지 못하여 신뢰성이 떨어지며, 이를 극복하기 위하여 3차원 정보를 이용할 수 있는 스테레오 비전 시스템을 도입한다. 이동객체용 스테레오 비전 시스템은 외부환경에 강인한 스테레오 정합부, 3차원 정보를 이용한 장애물체 검출부 그리고 장애물체의 거리 추정부로 구성되어 있다.

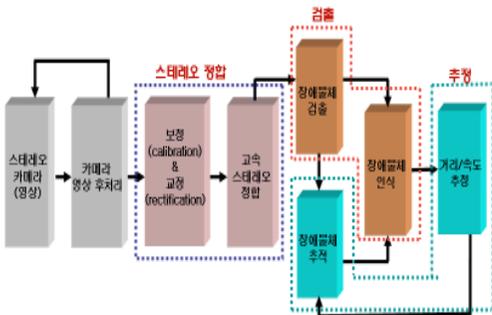


그림 1. 이동객체용 실시간 환경인식 시스템 블록도  
Fig. 1. Block diagram of a real-time environment recognition system for moving object

### 2. 스테레오 정합

스테레오 정합 단계는 세부적으로 좌우 두 영상으로부터

터 영상좌표로 변환하고 에피폴라 라인(epipolar line)을 일치하도록 변환하는 보정(calibration) 및 교정(rectification) 단계와 두 영상에서 정합화소(correspondence point pixel)를 찾은 후 화소간의 시차를 계산하여 시차맵(disparity map)을 생성하는 고속 스테레오 정합(fast stereo matching) 단계로 구성된다.



그림 2. 가변 베이스라인 스테레오 비전 시스템 및 실제 장착 모습

Fig. 2. Adjustable baseline stereo vision system and installation

#### 2.1 스테레오 비전 시스템

그림 2는 가변 베이스라인 스테레오 비전 시스템을 실제 차량에 장착한 모습을 나타낸다. 주어진 카메라 특성 조건하에서 베이스라인(base line) 간격은 그 값에 따라서 정합 가능한 최소 거리 범위가 제한되므로, 가까운 거리를 측정하고자 할 때는 베이스라인 간격을 작게 해야 하고, 먼 거리를 측정하고자 할 때에는 그 간격을 크게 해야 한다. 따라서 그림 2와 같이 두 카메라의 좌우 이동이 가능하도록 레일을 사용하여 베이스라인 간격을 변화시키도록 제작하여 차량에 장착한다.

#### 2.2 보정(calibration) 및 교정(rectification)

좌우 두 카메라로부터 입력되는 영상에 스테레오 정합 알고리즘을 적용하기 위해서는 먼저 좌우 영상을 보정하여야 한다. 실제 좌표로부터 영상공간의 좌표로 변환하는 작업은 식 (1)과 같은 카메라 투사 행렬(camera projection matrix)을 사용한다.

$$m = A[R \ t]M$$

$$A = \begin{pmatrix} f_x & \alpha^* f_x & o_x \\ 0 & f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

본 행렬은 내부 행렬(intrinsic matrix) 및 외부 행렬(extrinsic matrix)로 구성되며, 내부 행렬에 해당하는 부분은 A 행렬로 카메라 제조스펙에 따라 제공되는 파라미터(parameter)로부터 구할 수 있다. 외부 행렬의 경우는 카메라의 회전(rotation) 및 이동(translation)으로 인해 발생하는 경우이다. 교정 단계는 스테레오 비전 시스템의 좌우 두 영상에 공통된 공통된 파라미터를 적용하는 과정이다. 그림 3을

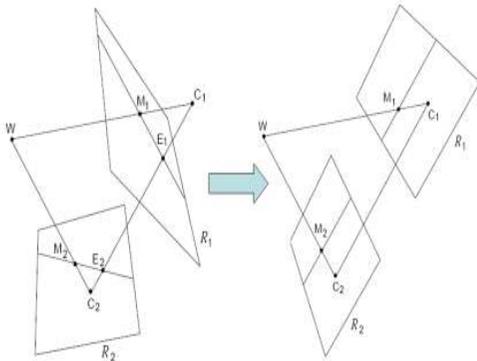


그림 3. 좌, 우 영상의 rectification과정

Fig. 3. Rectification of left and right images

참고하면, 서로 다른 영상좌표를 가지는 두 영상으로부터 에피폴라 라인을 일치시켜 평행한 영상을 얻게 된다[3].

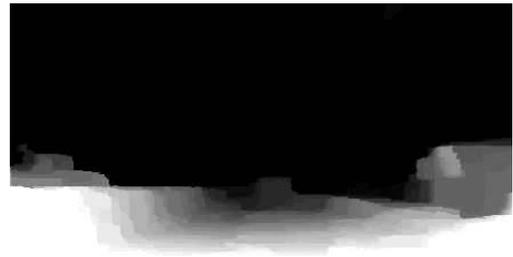
### 2.3 고속 스테레오 정합(fast stereo matching)

스테레오 정합 알고리즘은 크게 전역정합 방법과 국부정합 방법으로 구분된다[4]. 국부정합 기반의 알고리즘들은 SSD(Sum of Squared Difference), SAD(Sum of Absolute Difference), NCC(Normalized Cross Correlation)와 같은 방법을 적용하여 최적 시차를 계산한다. 최근의 국부정합 기반 방법들은 그 성능을 높이기 위해 적응적 윈도우 방법(adaptive window method)이나 영상의 특징(feature)을 활용하기도 하며 대체적으로 실시간 구현을 위한 하드웨어 방식 설계가 용이하다. 전역정합의 경우 정합 비용에 대해 전역 에너지 최소화단계를 통해 최적화함으로써 영상 전체영역에 대한 정합 성능을 향상시킨다. 해당 방법으로는 동적 프로그래밍(dynamic programming), 신뢰 전파(belief propagation), 그래프 컷(graph cut)등과 같은 알고리즘을 주로 사용하며 성능이 뛰어나

나지만, 구현이 복잡하고 실시간 처리가 어렵다[5]. 하지만 실외와 같이 다양한 영상조건에서 강한 스테레오 정합을 위해서는 결국 전역정합 기법이 적합하며, 최근의 2-D MRF(markov random field)기반의 신뢰 전파 알고리즘은 구현의 복잡성을 개선하고 전용 프로세서를 통해 실시간 처리가 가능하다[6]. 그림 4는 신뢰 전파 방식으로 실제 도로 영상을 이용하여 얻은 시차맵을 보여준다.



(a)



(b)

그림 4. 시차맵 영상 변환 (a)도로 영상 (b)시차맵 영상

Fig. 4. Transformation from (a)road image to (b)depth map

### 3. 장애물체 검출

본 단계에서는 스테레오 영상 정합 단계에서 구한 스테레오 시차맵을 이용하여 장애물체를 검출하는 단계이다. 3차원 정보인 시차맵을 이용하여 정확하게 거리를 측정 할뿐만 아니라, 장애물체 검출에 이용함으로써 기존 모노 비전 시스템 하에서의 문제점인 물체와 배경의 유사성이 많이 존재할 때 검출 성능을 높이고자 한다. 현재 많이 사용되는 방법으로는 v-변위(v-disparity)[7,8], 컬럼 검출(column detection)[9] 등이 있으며, 본 논문에서는 실제 도로 환경에 적용하여 각각의 장단점을 분석한다.

3.1 v-변위(v-disparity)

3차원 정보인 시차맵을 이용하여 장애물체를 검출하는 대표적인 방법으로서 도로영상의 특징과 장애물체의 특징을 구분하기위한 v-변위 맵을 생성함으로써 장애물체를 쉽게 추출할 수 있다. 그러나 영상에 충분한 도로 정보가 포함되어야 하며, 도로 주변의 가로수, 가로등 등의 장애물체가 많이 있을 경우 검출 오류를 발생할 수도 있다. 또한 도로정보를 추출하기 위하여 이진화 된 v-변위 맵을 생성하는데 이를

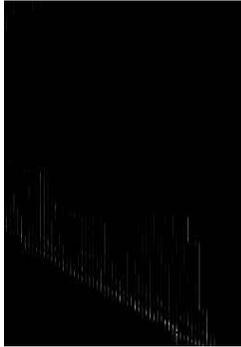


그림 5. v-변위를 이용한 장애물체 검출  
Fig. 5. Obstacle detection using v-disparity

위한 문턱치(thresholding value)를 정하기가 어렵고, 도로가 직선이 아닐 경우 허프 변환(hough transform)을 이용하면 도로 특징 추출시 오차가 많이 발생할 수 있다. 그림 5는 그림 4의 영상을 입력한 후, v-변위를 이용하여 실제 구현한 장애물체 검출의 결과를 보여 주고 있다.

3.2 컬럼 검출(column detection)

컬럼 검출은 장애물체 유무의 판단 기준이 되는 입력 영상 시차맵의 중간값(median value)을 구한 후, 각 컬럼 별로 중간값과 비교하여 장애물체를 검출하는 방법이다. v-변위에 비해 장애물체 검출이 용이하지만, 이 역시 장애물체의 판단 기준이 되는 컬럼 구간, 시차맵의 노이즈 등에 의해서 판단 오류가 발생할 수 있다. 또한 장애물체의 크기가 증가 할 경우 이를 배경으로 판단하여 에러를 발생할 수 있어 이도 해결해야 할 과제이다. 이를 위하여 적응적인 장애물체 판단 구간 설정 및 시차맵의 에러 요인을 고려한 알고리즘 개발이 필요하다. 그림 6은 그림 4의 영상을 입력한 후, 컬럼 검출을 이용한 장애물체 검출의 결과를 시차맵과 함께 나타낸 결과이다.

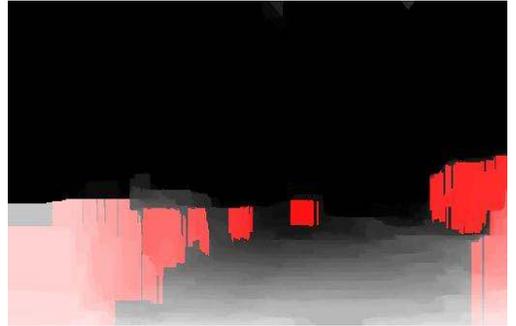


그림 6. 컬럼 검출을 이용한 장애물체 검출  
Fig. 6. Obstacle detection using column detection

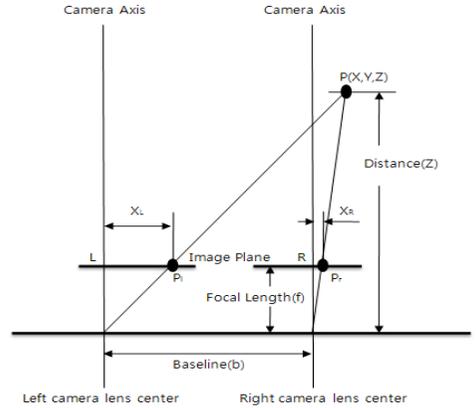


그림 7. 스테레오 카메라 시스템에서의 거리측정 방법  
Fig. 7. Distance measurement in a stereo camera system

4. 장애물체 거리 추적

그림 7은 스테레오 카메라 시스템에서의 거리 측정 방법을 나타내고 있다. 그림 7로부터 객체와의 거리 Z는 다음과 같다.

$$Z = \frac{bf}{D} \approx \frac{bf}{kD_p} \tag{2}$$

식 (2)에서 f는 초점거리, b는 베이스라인, D는 시차 ( $D = X_L - X_R$ ), k는 화소차( $k \geq 0$ 인 정수),  $D_p$ 는 화소간 거리(센서 파라미터)를 나타낸다. 위 수식으로부터 측정하고자 하는 대상의 거리는 초점거리 f가 일정할 때 베이스라인과 좌우 두 화소차(k)의 값에 영향을 받는다. 베이스라인 값을 고정하게 되면 거리(Z)는 좌우 정합점에서의 화소차에 반비례하게 되는데 거리가 멀어지게 되면 화소차(D)는 상대적으로 작아진다. 일반적인 구조에서  $D_p$ 는 센서의 화소

크기이므로 값이 고정된다. 따라서 최대 측정 가능한 거리(Zmax)를 늘리기 위해서는 주어진 카메라 특성 조건하에서는 베이스라인을 높게 할 수밖에 없다.

4.1 정밀 시차 추정

스테레오 카메라를 이용하여, 거리를 측정하는 방법은 시차의 표본화 오차(sampling error)에 의하여, 원거리로 갈수록 측정 오차가 커진다. 아래 식에서와 같이 이러한 표본화 오차를 줄이기 위하여 부화소 보간법(sub-pixel interpolation)을 이용하여 정밀 시차를 추정할 수 있다.

$$I_L(x, y) = I_R(x - k - \tau, y) \quad (3)$$

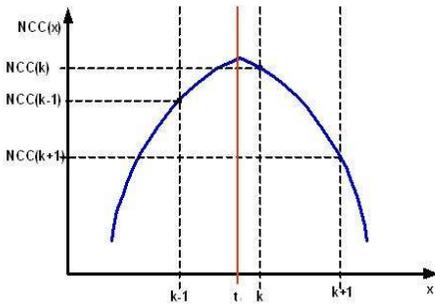


그림 8. NCC와 대칭 포물선 정합을 이용한 정밀 시차 추정 방법

Fig. 8. Precise disparity estimation using symmetric parabola fitting with NCC

부화소 보간법은 유사도 함수(similarity function)를 이용하여, 유사도 함수가 최대, 또는 최소가 되는 위치를 추정하는 방법이다. 유사도 함수로써는 SSD(Sum of Squared Difference), SAD(Sum of Absolute Difference), NCC(Normalized Cross Correlation)[10-11] 등이 있다. 이러한 유사도 함수 중에서, SAD와 NCC의 성능이 SSD의 성능보다 정확도에서 우수하다[11]. 또한 NCC는 외부 환경에 의하여 좌우 영상의 밝기가 다르더라도 강인한 특성이 있어서, 많이 사용되고 있다. 이러한 유사도 함수를 이용하여 포물선을 구성하여, 최대(NCC 경우) 또는 최소(SAD, SSD 경우)가 되는 위치를 추정함으로써 정밀한 시차를 추정할 수 있다. NCC 함수로 윈도우 매칭을 하는 수식은 아래식과 같다.

$$W(x, y) = \frac{\sum_{(i,j) \in W} \{I(x+i, y+j) - \overline{I(x, y)}\}}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in W} \{I(x+i, y+j) - \overline{I(x, y)}\}^2}}$$

$$NCC(k) = W_L(x, y) \otimes W_R(x - k, y) \quad (4)$$

위 식에서  $\otimes$  연산자는 좌우 윈도우 내부의 상관도를 나타낸다. NCC와 대칭 포물선 정합(symmetric parabola fitting)은 기존 시차(k)와 좌우 한 화소씩 이동한 시차(k-1, k+1)의 위치에서 좌우 영상의 윈도우 내부의 정규 상관도를 구하고, 구한 상관도가 2차원 포물선을 구성한다는 가정 하에서, 최대값이 되는 위치, 즉 정밀 시차( $\tau_1$ )를 추정하는 방법이다. 이차원 포물선으로 가정하여, 정밀 시차를 추정 방법은 아래식과 같으며, 그림 8은 개념도를 보여 주고 있다.

$$\tau_1 = \frac{NCC(k-1) - NCC(k+1)}{2NCC(k-1) - 4NCC(k) + 2NCC(k+1)} \quad (5)$$

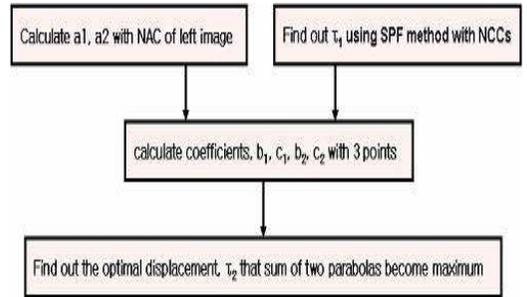


그림 9. NCC와 비대칭 포물선 정합을 이용한 정밀 시차 추정 흐름도

Fig. 9. Flow chart of precise disparity estimation using asymmetric parabola fitting with NCC

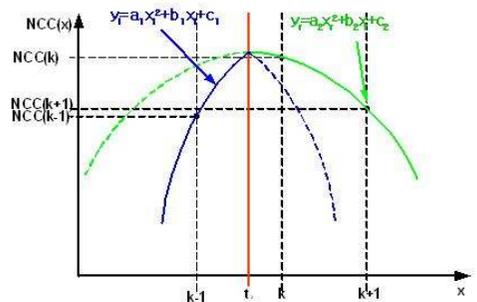


그림 10. NCC와 비대칭 포물선 정합을 이용한 정밀 시차 추정 방법

Fig. 10. Precise disparity estimation using asymmetric parabola fitting with NCC

그러나 실제 영상은 좌우 NCC 함수가 비대칭 구조가 될 수 있기 때문에, 정밀한 시차를 추정할 때 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차를 최소화하기 위하여 비대칭 포물선을 구성하여, 최적의 시차를 추정한다. 아래식과 같이, 좌우 비대칭 2차원 포물선을 구하기 위하여, 먼저 기준 영상(좌영상)을 이용하여  $a_1, a_2$  계수를 구한다.

$$\begin{aligned} y_l &= a_1 x_l^2 + b_1 x_l + c_1 \\ y_r &= a_2 x_r^2 + b_2 x_r + c_2 \end{aligned} \quad (6)$$

$a_1, a_2$  계수는 아래 식에서와 같이 정규화된 자기상관(NAC: normalized auto correlation)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} NAC(k) &= W_L(x, y) \otimes W_L(x - k, y) \\ a_1 &= \frac{NAC(-0.5) - 1}{(-0.5)^2} \\ a_2 &= \frac{NAC(0.5) - 1}{(0.5)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

나머지 계수들( $b_1, b_2, c_2, c_2$ )을 구하기 위하여, 대칭 포물선을 이용하여 대략적인 시차( $\tau_1$ )를 구한다.  $\tau_1$ 을 기준으로 좌우 포물선이 대칭이라고 가정하고, 3개의 위치( $k-1, k, k+1$ )중에  $\tau_1$ 에 가까운 2개의 위치를 선택하여 아래식에서와 같이 나머지 계수를 구한다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} k_l & 1 \\ \tau_1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} NCC(k_l) - a_1 k_l^2 \\ NCC(\tau_1) - a_1 \tau_1^2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} b_2 \\ c_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} k_r & 1 \\ \tau_1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} NCC(k_r) - a_2 k_r^2 \\ NCC(\tau_1) - a_2 \tau_1^2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

아래식에서와 같이 구해진 2개의 포물선의 합이 최대가 되는 위치를 찾음으로써, 최적의 시차를 구할 수 있다. 그림 9는 정밀 시차 추정의 흐름도를 보여주고, 그림 10은 개념도를 보여 주고 있다.

$$\tau_2 = \frac{b_1 + b_2}{-2(a_1 + a_2)} \quad (9)$$

#### 4.2 칼만 필터를 이용한 장애물체 추적

칼만 필터는 잡음에 의해 간섭 받는 선형 동적 시스템(linear dynamic system)에서, 가장 널리 사용되고 있

는 최적화된 추정 방법이다[12, 13]. 최적의 추정치를 구하기 위하여 순환적인(recursive) 연산을 수행하며, 실시간으로 처리할 수 있어서, 항법 시스템, 객체 추적 및 센서의 잡음 제거 등의 분야에서 많이 적용되고 있으며, 그림 11은 전체 구성을 보여 주고 있다. 예측 과정은 다음 단계의 상태 벡터( $x_k$ )와 상태 추정 오차의 공분산 행렬( $\overline{P}_k$ )을 예측하며, 일반식은 아래식과 같다.

$$\begin{aligned} x_k &= Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \\ \overline{x}_k &= A\overline{x}_{k-1}, \quad \overline{P}_k = A\overline{P}_{k-1}A^T + Q_{k-1} \end{aligned} \quad (10)$$

위에서 첫 번째 식은 시스템의 상태 방정식을 나타내며,  $w_k$ 는 실제 시스템과 시스템 모델과의 차이를 잡음으로 모델링한 프로세서 잡음(process noise)을 나타내며,  $Q_k$ 는  $w_k$ 의 공분산 행렬을 나타낸다. 측정 단계에서의 측정 방정식은 아래식과 같이 표현된다.

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (11)$$

위 식에서  $z_k$ 는 측정 벡터, H는 상태 벡터와 측정 벡터 사이의 관계를 나타내는 관측 행렬(observation matrix),  $v_k$ 는 측정 잡음(measurement noise)을 나타내며,  $R_k$ 는  $v_k$ 의 공분산 행렬을 나타낸다.

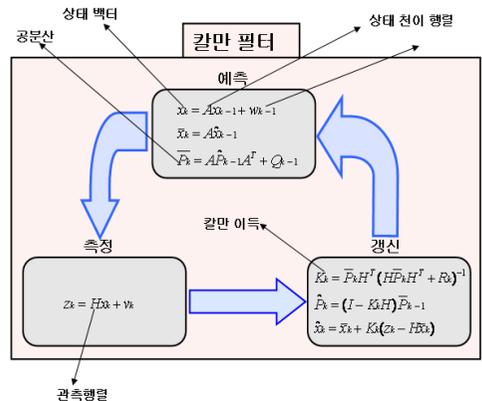


그림 11. 칼만 필터 블록도

Fig. 11. Block diagram of Kalman filter

수정 단계에서는 측정 단계에서 얻은 측정치를 이용하여 상태 벡터와 상태 추정 오차의 공분산 행렬을 갱신하고, 칼만 이득을 구한다. 수정 단계의 일반식은 아래식과 같다.

$$\begin{aligned}
 K_k &= \overline{P}_k H^T (H \overline{P}_k H^T + R_k)^{-1} \\
 \widehat{P}_k &= (I - K_k H) \overline{P}_{k-1} \\
 \widehat{x}_k &= \overline{x}_k + K_k (z_k - H \overline{x}_k)
 \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)에서  $K_k$ 는 칼만 이득을 나타내며, 측정치와 추정치의 차이에 적절한 가중치를 주어, 상태변수를 갱신한다. 본 논문에서는 이동 객체와의 거리를 추정하기 위하여, CVM(constant velocity model)을 이용하며, 이동 객체의 위치(pos)와 속도(vel) 성분을 갖는 상태 벡터를 식 (13)과 같이 나타낸다.

$$x_k = \begin{bmatrix} pos_k \\ vel_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x_{k-1} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2} T^2 \\ T \end{bmatrix} u_{k-1} + w_{k-1} \quad (13)$$

위치(pos) 성분을 갖고 있는 측정 변수를 나타내는 식은 식 (14)와 같이 표현된다.

$$z_k = [1 \ 0] x_k + v_k \quad (14)$$

### III. 결 론

본 논문에서는 스테레오 비전 기반의 이동 객체용 실시간 환경 인식 시스템의 구조와 각 구조의 동작 원리 및 문제점을 제시하고, 그 문제점을 접근하기 위한 알고리즘 및 실험 결과를 제시하였다. 스테레오 정합부에서는 에피폴라 라인(epipolar line)을 일치하도록 변환하는 보정(calibration) 및 교정(rectification) 단계를 거쳐 신뢰 전파(belief propagation) 방식으로 시차맵을 생성하고, 장애물체 검출부에서는 v-변위(v-disparity)와 컬럼 검출(column detection)의 방법을 이용하여 장애물체를 검출하였으며, 장애물체 거리추적부에서는 NCC와 비대칭 포물선 정합을 이용하여 정밀 시차를 추정 하고, 칼만 필터를 이용하여 장애물체를 추적 하였다. 이동 객체에 비전기술을 적용하기 위해서는 다양한 외부환경 하에서 높은 신뢰성이 보장된 알고리즘의 개발 및 검증이 필요하다. 그리고 많은 데이터량을 처리하기 위해서는 최적의 하드웨어 아키텍처를 기반으로 한 실시간 하드웨어 구현 또한 중요하다. 추후 다양한 외부환경의 많은 실험을 통한 고신뢰성의 검증된 알고리즘 개발 및 이를 바탕으로 최적의 아키텍처를 기반으로 하는 실시간 하드웨어 구현이 필요할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Everett H.R., Sensors for mobile Robots : Theory and Applications, Wellesley MA, A.K. Peters, 1995.
- [2] Mitiche A., Sekkati H., "Optical Flow 3D Segmentation and Interpretational Method with Active Curve Evolution and Level Sets," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.28, No.11, pp. 1818-1829, 2006.
- [3] A.Fusiello, E.Trucco, A.Verri, "A compact algorithm for rectification of stereo pairs", Machine Vision and Applications, 2000.
- [4] D. Scharstein and R. Szeliski. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms. International Journal of Computer Vision, 47(1):7 - 42, 2002.
- [5] D. Scharstein and R. Szeliski. www.middlebury.edu/stereo
- [6] Pedro F. Felzenszwalb and Daniel P. Huttenlocher, "Efficient Belief Propagation for Early Vision", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Washington, DC, 2004.
- [7] 이충희, 임영철, 권순, 정우영, "스테레오 비전 기반의 3차원 특징 정보를 이용한 평면상의 장애물체 검출," 대한임베디드공학회 추계학술대회, pp. 121-124, 2007.
- [8] R. Labayrade, D. Aubert, and J.-P. Tarel. "Real time obstacle detection on non flat road geometry through V-disparity representation," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Versailles, pp. 646-651, June, 2002.
- [9] Robert Sedgewick and Michael Schidlowsky. Algorithms in Java, Third Edition. Addison-Wesley Professional, 2002.
- [10] S. Birchfield, and C. Tomasi, "A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, No. 4, pp. 401 - 406, April 1998.
- [11] M. Shimizu, and M. Okutomi, "Precise sub-pixel estimation on area-based matching," in Proc. IEEE International Conference on Computer Vision, Vol. 1, pp. 90 - 97, July 2001.
- [12] D. H. Zhou and P. M. Frank, "Strong tracking Kalman filtering of non-linear time-varying stochastic systems with colored noise: Application

to parameter estimation and empirical robustness analysis," Int. J. Control, Vol. 65, no. 2, pp. 295-307, Sep. 1996.

- [13] 임영철, 이충희, 권순, 정우영, "스테레오 비전 시스템을 이용한 지능형 자동차의 거리 추정 알고리즘," 대한 임베디드공학회 추계학술대회, pp. 144-148, 2007.

저 자 소 개

**이 충 희**(Chung-Hee Lee)



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사  
 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
 1998년 2월 ~ 2005년 12월 : LG전자  
 2005년 12월 ~ 현재 : DGIST  
 선임 연구원

관심분야 : 스테레오 비전, 장애물체 검출  
 Email : chlee@dgist.ac.kr

**임 영 철**(Young-Chul Lim)



1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사  
 2005년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
 2005년 6월 ~ 현재 : DGIST  
 연구원

관심분야 : 스테레오 비전, 영상 추적, 위치 추정  
 Email : ninolyc@dgist.ac.kr

**권 순**(Kwon Soon)



2003년 8월 : 고려대학교 전자공학과 학사  
 2006년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사  
 2006년 2월 ~ 현재 : DGIST  
 연구원

관심분야 : 스테레오 비전, DSP architecture  
 Email : soonyk@dgist.ac.kr

**이 종 훈**(Jong-Hun Lee)



1996년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학사  
 1998년 2월 : 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 공학석사  
 2002년 2월 : 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 공학박사  
 2002년 1월 ~ 2005년 7월 : 삼성전자 통신연구소 책임

2005년 7월~현재 : 대구경북과학기술연구원(DGIST)과  
 제책임자/선임

2007년 3월~현재 : 영남대학교 정보전자공학부 겸임교수  
 관심분야 : 레이더/비전 융합신호처리,  
 차량용 레이더, lidar

Email : jhlee@dgist.ac.kr