

길안내 시스템에서의 영상처리와 칼만필터 이용한 물체추적

Tracking of an Object using Image Processing and Kalman Filter on the Guidance System

송효신*, 지창호*, 배종일**, 이만형***

* 부산대학교 지능기계공학과

** 부경대학교 전기공학과

*** 부산대학교 기계공학부

Abstract

The purpose of this paper is to implement a guidance system for an object on the road. A watch camera equipped on the auto door recognizes the direction for the destination of an object, after that it determines whether opening or closing the door, and then the door is opened automatically, based on the decision. The motion of the moving object is approximated by using the technique of the image processing of tracking images and the affine model. The direction of the moving object is predicted from image information obtained by applying linear Kalman filter to the motion estimation in order to reduce the search region, the moving position, and the direction of the center of the object. Along with the guidance function, the system has the announcing function to the object. The experimental results confirm the veridity and applicability of the proposed system.

Keywords: Kalman Filter, image processing, tracking, USB port camera.

1. 서론

인텔리전트빌딩에서 길안내 시스템을 구현하고자 한다. 낯선 사람이 건물에 들어와서 목적지를 시스템에 입력하면 해당 목적지에 무사히 이동할 수 있도록 복도에 설치되어 있는 감시카메라로부터 그 사람의 이동에 대한 정보를 획득하여 알려준다. 만약 목적지와 다른 곳에 향하고 있다면 시스템은 지금 가려고 하는 방향이 잘못되었고 바로가기 위해선 어떤 방향으로 가야 하는지 알려주도록 한다. 자동문에 설치되어 있는 감시카메라는 다가오는 사람의 방향을 인지하여 문의 개폐 여부를 판단하여 자동으로 열어준다. 그리고 대형 주차장에 설치되어 있는 카메라는 차를 찾아오는 사람에 대한 정보가 기존에 저장된 데이터베이스를 검색하여 해당 차의 위치를 그 사람에게 말해줄 뿐만 아니라 길을 헤매지 않고 잘 찾아가고 있는지에 대한 여부를 알려준다.

영상 추적에 대한 처리 기법은 칼만필터를 사용하여 얻어진 영상정보로부터 물체의 이동방향

을 추출하여 알림 기능을 수행할 수 있도록 한다.

본 논문은 USB port 카메라를 이용하여 쉽게 시스템구현이 가능하도록 하였으며 영상처리 기법을 적용하여 단지 보여주는 시스템이 아닌 알림 기능을 부여하는데 있다.

2. 시스템 구성

2.1 카메라 설치장소의 상황

주로 감시 카메라의 설치 위치는 진입로나 복도 등의 교차지점 부분에 설치되므로 그림 1 과 같은 상황을 설정하였다.

복도 12 시 방향에 위치한 물체는 그림 2 에서 보는 것처럼 좌, 우, 아랫방향 중 어느 한 방향으로 갈 것으로 가정한다. 그렇지만 가고자 하는 방향이 확실히 정해져 있지 않기 때문에 세 방향에서 동시에 물체가 오리라고 예상하고 그쪽 방향의 문을 동시에 열어 주거나, 문 바로 앞에서 물체를 멈춰서게 한 후 물체가 있다는 사실을 알고 난 뒤 문을 열어 줄 수 있다, 하지만 이는 전기 에너지 및 시간의 낭비일 것이다. 복도의 중앙에 설치되어 있는 카메라로부터 얻어지는 영상으로부터 물체가 어느 방향으로 향하고 있다는 정보를 추출할 수 있다면, 해당 방향에 위치한 자동시스템이 작동하여 시간지연과 에너지 낭비를 줄여 줄 수 있을 것이다.

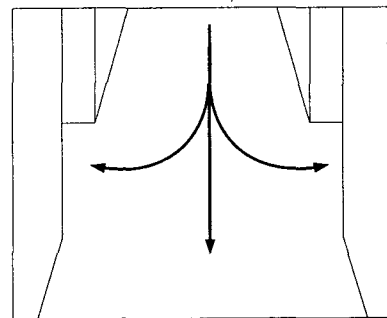


Fig.1. Directions where an object wants to go

2.2 시스템 모델

카메라로부터 입력되는 연속된 영상으로부터 움직이는 물체를 추적하기 위한 모델을 그림 2 과 같이 설정한다.

분할과정에서는 입력영상으로부터 움직이는 물체 부분과 움직이지 않은 배경부분으로 차영상을 이용하여 먼저 분할한다. 인식과정에서는 분할된 물체부분의 영상으로부터 움직임에 영향을 받지 않는 특징을 추출하고 물체 판별 모델을 이용하여 지속적으로 물체를 추적할 수 있도록 한다. 예측과정에서는 탐색영역을 줄이기 위해 움직임을 추정하는 선형 칼만필터를 사용하여 이동 물체 중심점의 이동 위치를 거리와 방향 정보를 얻어 실시간 추적하도록 한다.

이렇게 구해진 물체의 이동 방향을 추출하여 알림 기능을 수행하여 하드웨어와 접합할 수 있도록 한다.

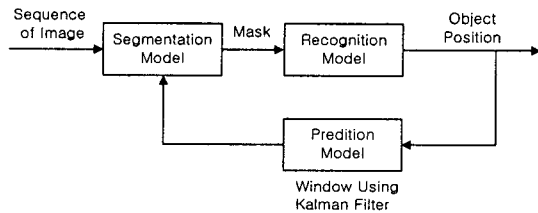


Fig.2. System Model

2.3 배경 모델

물체의 추적의 신뢰성은 추출된 배경 영상의 정도에 의해 결정된다. 시스템 초기화 단계에서는 수행되는 초기 배경 영상회득과 더불어 추적 단계에서 수행되는 적응 배경 모델을 구성하는 것이 필요하다. 분리된 움직이는 물체의 외곽 경계선인 윤곽선 집합과 연속 영상 프레임을 이용하여 배경영상 I_k^{bg} 를 갱신하게 된다. 배경 영상은 다음과 같이 갱신된다.

$$I_k^{bg} = M_k^n I_{k-1}^{bg} + \bar{M}_k^n I_k^{fg} \quad (1)$$

여기서, I_k^{fg} 는 다음 프레임에서 갱신된 배경 영상이고, I_{k-1}^{bg} 는 이전 프레임에서의 배경영상, I_k 는 현재의 영상을 나타낸다. 또한 마스크 영상 M_k 는 다음과 같이 표현된다.

$$M_k = \begin{cases} 1, & \text{if } (x, y) \in C_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

2.4 물체 분할모델

현재 얻어진 영상과 이전의 영상을 이용하여

차영상을 구하고 이로부터 움직이는 물체를 추출한다. 차영상은 Otsu 의 적응 임계값 알고리즘을 사용하여 분산 즉, 거리가 최대가 되도록 차영상을 두 분류의 패턴으로 나누어 주는 임계값을 선정한다. 이는 적응적으로 이진화하기 때문에 고정된 하나의 임계값을 전 프레임에 적용하는 것보다 노이즈를 없앨 수 있는 잇점을 가진다.

$$\sigma^2 = \frac{[m_1(K) \cdot P_2(K) - m_2(K) \cdot P_1(K)]^2}{P_1(K) \cdot P_2(K)} \quad (3)$$

여기서,

$$m_1(K) = \sum_{i=0}^K i \cdot h(G_i), \quad m_2(K) = \sum_{i=K+1}^{G_{max}} i \cdot h(G_i)$$

$$P_1(K) = \sum_{i=0}^K h(G_i), \quad P_2(K) = \sum_{i=K+1}^{G_{max}} h(G_i)$$

차영상을 Otsu 의 적응 임계값 알고리즘으로 처리한 결과로부터 근사화된 물체의 영상을 얻을 수 있지만 여전히 노이즈를 포함하고 있으며 물체 내부에 공극이 생길 수도 있다. 이를 해결하기 위해 형태학적 필터를 사용하여 침식과 팽창과정을 조합시킴으로써 원하는 물체의 영상을 얻을 수 있다.

$$(A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

침식과정은 원영상에 포함된 물체 영역을 줄이는 과정이고,

$$A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\} \quad (5)$$

여기서, B_x : X 만큼 움직인 B 집합(3×3).

팽창과정은 원영상에 포함된 물체 영역을 크게 하는 과정이다.

$$A \oplus B = \{x \mid (B_x \cap A) \neq \emptyset\} \quad (6)$$

3×3 필터보다 큰 잡음은 형태학적 필터를 적용하고 나서도 남아 있는 경우가 있다. 형태학적 필터는 한번 적용하고 나면 다시 적용하더라도 입력영상에 아무런 영향을 미치지 않는다. 이에 대한 해결책으로서는 잡음 덩어리에 대해 번호를 매겨 분류를 한 뒤 그 중 가장 큰 잡음 덩어리를 물체로 간주하고 큰 덩어리 이외의 것은 0 으로 하여 없애준다.

3. 추적 시스템

물체 추적은 현재 프레임에서의 물체의 위치를 측정하는 것이다. 이를 위해 입력영상의 모든 영역에 대해 전처리과정을 거친 후 물체를 추적한

다. 하지만 이와 같은 과정들은 시간이 많이 걸리므로 실시간 추적에는 부적합하다. 칼만필터를 이용한 추적 시스템은 이를 보완하기 위해서 도입한 개념이다. 입력영상 전영역에서 물체의 현위치를 찾는 것이 아니라 이전 프레임에서 현재의 위치를 추적하여 탐색창을 설정한다. 그러면 탐색창 내에 있을 물체의 위치를 추적하면 된다. 이를 통해 계산시간이 단축되어 실시간 추적이 가능하다.

3.1 칼만 필터의 특징

칼만필터는 최소제곱방법(Least Square Method)에 의해 효율적인 계산해를 제공하는 수학적 방정식(Mathematical Equations)의 집합이다. 칼만필터는 확률적 시스템(Stochastic System)의 과거, 현재, 미래의 상태(States)를 최적으로 추정할 수 있다. 그림 3 은 이산 칼만 필터의 플로차트를 보여준다.

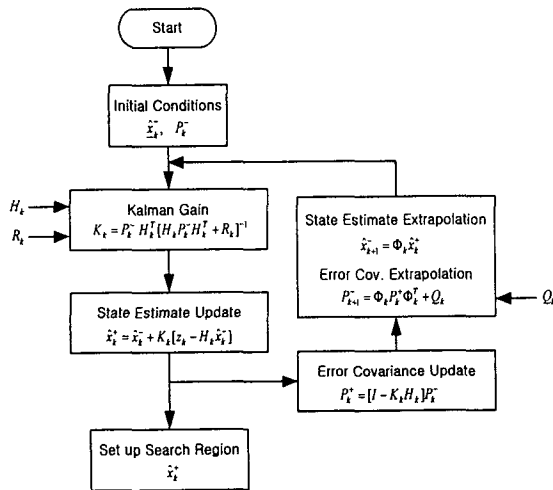


Fig.3. Discrete Kalman Filter Flow Chart

3.2 아핀(affine)동작모델

칼만필터를 추적시스템으로 적용하기 앞서 물체 움직임에 대한 식이 우선 필요하다. 이는 충분히 작은 시야에서 독립적으로 움직이는 영상에 대한 속도 필드와 크기 변화는 선형적인 변화에 근사될 수 있다는 가정하에 아핀 동작 모델을 사용하여 유도해 낸다.

아핀 변화는 다음과 같은 성질을 가지고 있다. 첫째, 직선은 직선으로 변한다. 둘째, 직선상의 점의 비는 보존한다. 셋째, 평행한 직선은 변환 후에도 평행하다.

아핀 동작 근사식은 다음과 같다.

$$u(x) = A(x - x_m) + m_0 \quad (7)$$

여기서 x_m 은 영상조각의 중심이고, m_0 는 x_m 의 변이, A 는 크기와 회전변화를 나타내는 행렬이다. 하지만, 본 논문에서는 회전변화에 의한 영향을

무시할 수 있는 경우이므로 크기변화에 의한 것만 고려한다.

$$u(x) = S(x - x_m) + m_0 \quad (8)$$

3.3 위치 필터와 속도 필터

상태벡터는 위치 상태벡터와 속도 상태벡터로 나누어서 생각할 수 있다. 동작 분할 과정에서 얻어진 한 물체에 대한 특징 점의 위치와 속도를 나타내는 상태 벡터는 다음과 같이 각각 표현된다.

$$\begin{aligned} X_k &= (x_k^i, y_k^i, x_k^b, y_k^b, 1)^T \\ V_k &= (u_k, v_k, s)^T \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, (x_k^i, y_k^i) 는 영상조각에 외접하는 직사각형 좌측상단 꼭지점, (x_k^b, y_k^b) 는 우측하단 꼭지점, 그리고 1 은 보정요소, u_k, v_k, s 는 각각 x 방향 속도, y 방향속도, 크기방향을 나타낸다.

아핀 동적 모델을 이용해서 위치 필터의 예측단계를 수식으로 나타내면,

$$\begin{aligned} \hat{X}_{k+1}^- &= \hat{X}_k^+ + S_k(\hat{X}_k^+ - \hat{X}_{ck}^+) + (u_k, v_k)^T \\ Z_k &= \hat{X}_k^- + \bar{W}_{1k} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} 1+\hat{\xi}_k & 0 & 0 & 0 & \hat{u}_k - \hat{\xi}_k \cdot \hat{x}_k \\ 0 & 1+\hat{\xi}_k & 0 & 0 & \hat{v}_k - \hat{\xi}_k \cdot \hat{y}_k \\ 0 & 0 & 1+\hat{\xi}_k & 0 & \hat{u}_k - \hat{\xi}_k \cdot \hat{x}_k \\ 0 & 0 & 0 & 1+\hat{\xi}_k & \hat{v}_k - \hat{\xi}_k \cdot \hat{y}_k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

속도필터의 예측단계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{V}_{k+1}^- &= \alpha \cdot \hat{V}_k^+ + W_{2k} \\ Z_k &= \hat{V}_{k-1}^- + \hat{X}_{k-1}^+ + \bar{W}_{2k} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,

$$\Phi_{2k} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix}, \quad H_{2k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \hat{x}_k^+ - \hat{x}_{ck}^+ \\ 0 & 1 & \hat{y}_k^+ - \hat{y}_{ck}^+ \\ 1 & 0 & \hat{x}_k^+ - \hat{x}_{ck}^+ \\ 0 & 1 & \hat{y}_k^+ - \hat{y}_{ck}^+ \end{bmatrix}$$

여기서 $(x_{ck}, y_{ck})^T$ 는 물체의 중심좌표를 나타낸다. 속도 필터에서의 상태 벡터와 측정 벡터의 관계에서는 이노베이션에 대한 수정이 필요한데, 다음과 같다.

$$\hat{V}_k^+ = \hat{V}_k^- + K_{2k}[Z_k - (H_{2k}\hat{V}_k^- + \hat{X}_{k-1}^+)] \quad (12)$$

위치필터와 속도필터는 각각 별도로 동작하지

만 다음 단계의 위치를 예측하기 위해서는 속도 필터의 예측값이 필요하고 속도 필터의 상태 벡터를 갱신하기 위해서는 이전 단계의 위치 필터의 보정된 값이 필요하다.

3.4 탐색을 위한 영역설정

운동잡음이나 관측잡음 등의 영향으로 위치 예측값이 실제 관측값과 일치하지 않는 경우가 발생하게 된다. 그래서 예측되어진 값의 일정 범위를 가지는 탐색영역 설정이 요구되어진다. 본 논문에서는 범위가 고정된 탐색영역보다는 예측값과 측정값의 차이인 이노베이션의 확률적 분포를 사용하여 가변적인 탐색영역을 설정한다.

$$Search_Area = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v(k) + v(k) \quad (13)$$

‘물체가 선형이동한다’는 가정으로 추적모델식을 구했기 때문에 물체가 속도를 변화시켰을 경우에는 탐색영역 라인지역에 물체가 걸리는 경우가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 해당라인에 걸려있는 물체 부분을 더 크게 잡고 물체를 산정함으로써 해결할 수 있다.

이동물체가 주위의 배경이 유사한 지역에 위치할 때와 외부의 물체에 의해 이동물체가 가려질 때의 탐색영역에 대한 오차를 보정하기 위해서 탐색영역을 이전의 탐색영역보다 넓게 검색함으로써 물체를 놓치지 않고 탐색을 계속할 수 있도록 하였다.

3.5 초기화

감시카메라에 물체가 잡혀 있지만은 않다. 물체가 영상에 나타났다가 사라지는 경우가 일반적이므로 물체가 없는 상황에서 물체가 갑자기 나타났을 경우 물체를 초기화 시켜 계속 추적할 수 있는 모드로 빠르게 전환하여야 한다. 추적시스템의 안정성은 초기치에 의존하므로 시스템의 초기화는 가장 중요한 부분이다.

영상의 전 범위에서 물체가 나타났는지를 검사하면 계산 범위가 늘어나기 때문에 물체의 예상 등장 위치에만 물체를 추적하여 계산시간을 줄일 수 있도록 한다.

본 논문에서는 물체 등장 예상위치(복도 12 방향, 10 pixels) 영역에서 연속된 영상의 차영상을 이용하여 추적의 초기화를 수행하였다. 물체가 3번이상 같은 영역에 나타났을 경우에만 이동물체라고 간주하였다. 이는 ‘노이즈는 3번이상 같은 자리에 나타나지 않는다’는 가정에 의해서이다.

위치 변수로 사용되는 값은 동작 분할 과정에서 바로 얻을 수가 있으며 속도 필터의 경우에는 물체의 두번째 출현후 초기화가 이루어진다. 크기의 변화는 거의 일정하며 회전 변화가 거의 없다고 할 때 초기화는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} u_k &= x_{c,k} - x_{c,k-1} \\ v_k &= y_{c,k} - y_{c,k-1} \end{aligned} \quad (14)$$

또한 아핀 동작 모델의 크기에 관한 행렬은 $S_k = 0$ 과 같이 초기화 한다.

4. 실험

본 실험은 복도의 모델과 유사한 지역에 카메라를 부착하여 기준점을 잡고 그 기준점으로 부터의 물체의 위치정보와 추적정보를 측정할 수 있도록 하였다.

시험영상은 35 만 화소 USB 포트 카메라의 5 frames/sec 속도를 가지는 320×240 의 256 그레이 레벨(gray level) 영상에서 처리하였다. 사용 컴퓨터는 XP 운영체제, P-IV 1.7G 이다.

아핀 동적추적을 위해 시스템의 모델과 측정 모델 오차는 다음과 같은 값의 공분산을 갖는 백색 가우시안 잡음으로 선정하였다.

$$R_c = \begin{pmatrix} 1 \cdot 10^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 1 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}, \quad Q_c = \begin{pmatrix} 0.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0.05 \end{pmatrix}$$

물체가 복도 뒤에서 나와서 좌,우,앞 방향으로 나갈 때의 모습을 USB 포트 카메라로부터 입력받아 칼만 필터로 영상을 처리하여 물체를 추적하였다. 실험은 물체가 일정한 속도와 방향을 가지고 지나갈 때와 지그재그로 지날 때로 나누어서 실험하였다.

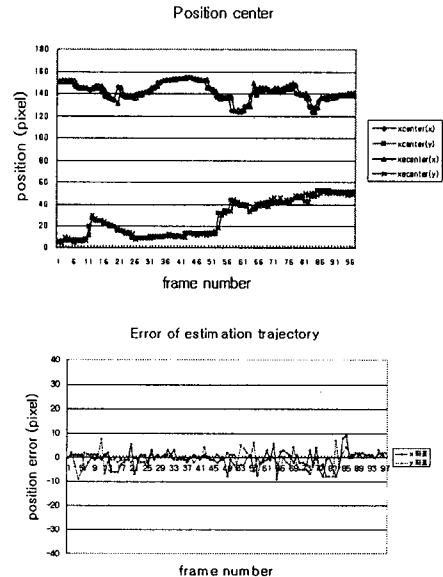


Fig. 4. Position trajectory of center of the object and estimation error when the object goes from north to east in zigzags .

물체의 중심점을 기준으로 실제 물체의 중심점의 좌표는 'xcenter(x, y)' 로 표시하였고, 칼만 필터로 예측한 중심점의 좌표는 'xcenter(x, y)' 로 표시하여 나타내었다. 각각의 경우에 있어서와 실제 물체의 중심점 좌표와 칼만필터로 예측한 중심점의 좌표의 추정오차를 나타내었다. 물체가 뒤에서 나타나기 때문에 y 좌표값은 0 에서 시작되어 점점 증가되어 좌측, 우측으로 물체가 지나갈 경우는 최대 y 영상좌표의 중간값에서 종료가 되고 앞으로 지나갈때는 최대 y 영상좌표값으로 종결되어지는 것을 볼 수 있다. 반면 x 좌표값은 중간값에서부터 시작되어 있음을 볼 수 있다. 그림 4 는 물체가 뒤쪽에서 우측방향으로 지그재그로 이동했을 시 물체 중심궤적과 추정오차를 나타낸 그래프이다.

칼만 필터로 추정한 값이 물체 실제 위치를 잘 추정하고 있음을 결과 그래프로부터 확인할 수 있다. 복도 중간 중간에 설치되어 있는 형광등의 영향에 의한 조명 밝기의 정도에 따라 배경과 물체의 분할이 원활히 이루어 지지 않아 일정한 속도로 오지 않고 중간에서 잠시 멈칫거림의 경향도 볼 수 있다. 프레임의 속도가 일정하지 않아 물체가 카메라 가까이 왔을 때는 속도가 증가되는 효과가 생겨 추적창에 물체가 걸리는 경우가 있었지만, 이는 물체가 걸리는 부분에 대해 오차를 보정해 주어 이내 잘 추정함을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 한 대의 카메라에서 얻은 영상에서 물체가 뒤에서 나타나 좌, 우, 앞 방향 중 어느 한 방향으로 이동할 때의 추적정보를 칼만 필터를 이용해 탐색창을 설정함으로써 물체를 추적하는데 성공했다. 먼저 초기 배경 영상을 얻은 뒤 시간과 상황에 적응적으로 배경영상을 구했다. 배경영상과 연속된 입력 영상과의 차영상으로 물체를 분리, 노이즈 제거시킨 후 위치, 속도에 대한 추정치를 칼만필터를 이용하여 구한 뒤 탐색을 위한 가변적인 영역을 설정하여 추적하도록 하였다.

본 실험에서 물체에 대한 추적정보는 얻을 수 있었지만 몇가지 문제점을 발견하였다. 갑작스런 조명의 변화로 인해 입력 영상의 고른 측정이 불가능하여 추적창의 설정에 대한 문제점을 야기시켰다.

향후 카메라 조명에 대한 연구와 흰색옷을 입은 물체뿐만 아니라 다양한 모양과 색상의 물체에 대해 인식할 수 있도록 "Color Index" 기법 사용이 필요하다.

참고문헌

[1] Arthur Gelb, *Applied Optimal Estimation*, The MIT Press,

1992.
 [2] Ivor Horton, *Beginning JAVA 2 JDK 1.3 Edition*, 정보문화사, 2000.
 [3] Johnson I Agbinya and Daviud Rees, "Multi-object Tracking in Video," *CSIRO Telecommicaton and Industrial Physics, Image & Signal Processing Group*, PO Box 76, Epping, NSW 2121, Australia, 1999.
 [4] *JAVA Media Framework API Guide*, Sun Microsystems, Inc. 1998-99.
 [5] 이철현, *이동 물체 추적을 위한 칼만 필터 기반의 비전시스템에 관한 연구*, 부산대학교, 1999.
 [6] 설성욱, *칼만 필터를 이용한 움직이는 물체의 윤곽선 추적에 관한 연구*, 부산대학교, 1998.
 [7] 박성현, *이동 카메라에 의한 이동 물체의 추적기법에 관한 연구*, 부산대학교, 2000.
 [8] 문정화, *확장 칼만 필터를 이용한 강인한 스테레오 정합*, 부산대학교, 2001.
 [9] 서창진, *칼만필터를 이용한 차량의 움직임 추적에 관한 연구*, 부산대학교, 1999.
 [10] 이철희, *신경회로망을 이용한 다중표적의 추출과 추적*, 부산대학교, 1992.
 [11] 이동엽, *영상정보를 이용한 물체의 3 차원 정보 추출과 실시간 전송*, 부산대학교, 2001.
 [11] 변중남, *선형시스템 이론*, 교보문고, 1999.
 [12] R. Weeks, Jr., *Fundamentals of Electronic Image Processing*, IEEE PRESS, 1996.