

論文95-32B-11-5

무인감시장치 구현을 위한 단일 이동물체 추적 알고리즘

(A Single Moving Object Tracking Algorithm for an Implementation of Unmanned Surveillance System)

李 揆 元 *, 金 英 虎 *, 李 宰 求 *, 朴 圭 泰 *

(Kyu Won Lee, Young Ho Kim, Jae Gu Lee, and Kyu Tae Park)

요 약

본 논문에서는 CCD 카메라를 통해 전송되는 영상 시퀀스를 대상으로 움직이는 물체의 형태가 보행중인 사람, 혹은 자동차인지를 식별하고 이의 이동 방향을 판단하여, 이를 추적하는 무인 감시 시스템(unmanned surveillance system)의 하드웨어 구현을 위한 효율적인 이동물체 추적 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘의 최종 출력은 이동물체의 예측된 위치좌표이며 이는 카메라 좌표계에 적합한 구동량으로 대응된다. 이동물체의 방향 예측을 위한 전처리 과정을 크게 이동물체 영역 추출 및 형태 판별로 구성한다. 우선, 동체의 존재 여부는 대기 상태에서 연속적으로 포착되는 두 영상 사이의 시간적 미분에 의한 이동에너지를 근거로 하여 판단하고, 영상데이터의 시간적 미분 결과에 하나의 원영상 데이터 내부에서 얻은 경계 영상(edge map)을 함께 적용함으로써 동체 부분만을 정확히 추출한다. 동체의 형태 판별을 위해 이동물체 영역 내부에서의 가로, 세로 방향의 투영을 수행하고 이의 분포를 분석함으로써 추적 대상인지의 여부를 판단하도록 한다. 보행 중인 사람은 이동 궤적의 갑작스런 변화를 가져올 수 있는 동작특성을 가지는 바, 이의 효율적인 추적을 목적으로 변형된 선형 예측기를 제안한다. 이동궤적 예측기는 기존의 선형 예측기의 차수를 이동의 변화도에 따라 적응적으로 조정함으로써 예측 오차를 감소시켜, 빠른 속도로 이동궤적에 수렴하도록 한다.

Abstract

An effective algorithm for implementation of unmanned surveillance system which detects moving object from image sequences, predicts the direction of it, and drives the camera in real time is proposed. Outputs of proposed algorithm are coordinates of location of moving object, and they are converted to the values according to camera model. As a pre-processing, extraction of moving object and shape discrimination are performed. Existence of the moving object or scene change is detected by computing the temporal derivatives of consecutive two or more images in a sequence, and this result of derivatives is combined with the edge map from one original gray level image to obtain the position of moving object. Shape discrimination(Target identification) is performed by analysis of distribution of projection profiles in x and y directions. To reduce the prediction error due to the fact that the motion characteristic of walking man may have an abrupt change of moving direction, an order adaptive lattice structured linear predictor is proposed.

I. 서 론

* 正會員, 延世大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1995년1월4日, 수정완료일: 1995년10월31日

최근 무인 감시 장치나 영상 회의 시스템 등에서의 응용을 목적으로 한 카메라 자동 추적 시스템의 연구 개

받이 널리 진행되고 있다. 전자의 경우, 이동물체의 출현이 그다지 많지 않은 환경에서 동체의 존재를 자동으로 감지하고 이를 추적함으로써 인간의 역할을 대신할 수 있는 컴퓨터 비전 시스템으로서, 그리고 후자의 경우, 화자 또는 특정 인물의 움직임을 판단하고 이를 추적함으로써 영상회의 시스템의 효율을 더욱 증가시킬 수 있는 응용으로서, 이른바 자동 카메라맨의 기능을 수행할 수 있다는 점에서 높이 평가되고 있다.¹¹⁾ 동체의 존재와 이동방향을 판단하는 과정은 시공간적 미분(spatio-temporal derivatives)을 주로 이용함으로써 효과적으로 수행 가능하다.¹²⁾ 선택적인 추적, 즉 추적의 대상을 미리 설정하고 이에 해당하는 동체가 존재할 경우에만 카메라의 동작이 이루어지게 하기 위해서는 동체의 종류 판별을 위한 외곽선 모델링(contour modeling)과 같은 컴퓨터 비전의 이론이 아직도 요구되고 있는 상황이다. 일반적으로 카메라 구동에 의해 이동물체를 추적하기 위한 기존의 방법으로는 인식에 기초한 방식과 움직임 영역 판단에 기초한 방법으로 크게 나눌 수 있다.^{12) 13) 15) 18) 110)} Rao¹⁵⁾의 인식을 이용한 방법은 취득되는 영상 내부의 목표물의 형태를 계속적으로 인식하면서 그 위치를 계산하는 방법으로서 처리대상이 되는 영상데이터의 양이 방대하기 때문에 실시간 처리를 위해서는 시스템의 상당 부분이 하드웨어적으로 구현되어야 한다는 요구를 수용하기에 많은 어려움이 있다. Murray and Basu¹²⁾, Papanikolopoulos¹³⁾ 등의 움직임 영역 판단에 의한 방법에서는 카메라 및 물체의 이동 파라미터(moving parameter)를 고려하여 화소단위의 이동 변화량을 계산하여 추적을 행하는데, 단순, 반복적인 계산에 의하므로 전자의 방법에 비하여 하드웨어로 구현하기 쉬운 편이다. 그러나, 화소단위의 처리 방식이므로 물체의 형태 정보를 얻기는 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 정시간에서 포착된 연속적인 영상 데이터를 대상으로 이동 물체의 존재 여부를 시간적 미분을 적용함으로써 판단하고, 시공간적으로 미분된 영상의 투영 프로파일로부터 개략적인 물체의 형태를 판별함으로써, 미리 정의된 물체만을 제한적으로 추적할 수 있도록 하며, 가변차수(variable order)를 가지는 적응적 선형 예측기를 이용하여 동체의 불규칙적인 이동에도 안정적인 추적을 행할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

2절에서는 제안한 알고리즘의 전체 구조를 기술하고, 3절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 부분별로

상세히 기술하며, 4절에서는 실험 결과 및 제안한 알고리즘의 성능 평가를, 그리고 5절 결론에서는 제안한 알고리즘의 미비점 및 향후의 보완 방안을 차례로 기술한다.

II. 알고리즘의 전체 구조

본 논문에서 제안한 동체 추적 알고리즘을 아래의 그림 1과 같은 블록도로 나타낸다.

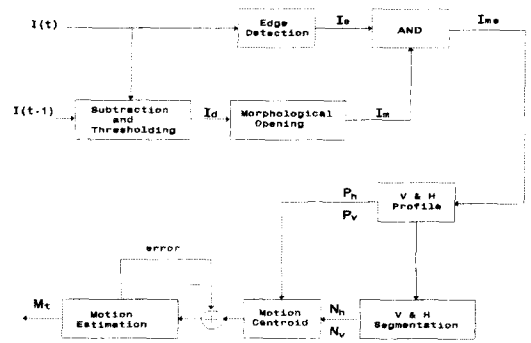


그림 1. 동체 추적 알고리즘의 구조
Fig. 1. Block diagram of proposed algorithm for moving object tracking.

카메라로부터 연속적으로 포착되는 영상데이터간의 시간적 미분과 이진화 과정이 수행되며 그 결과로부터 얻어지는 영상데이터에 수리형태학적 열기 연산을 가하면, 움직임이 존재하는 곳에 데이터들이 밀집된다. 이로부터 동체가 존재하는지의 여부를 확인하며, 만약, 존재하는 경우 동체부분의 데이터의 공간적 분포에 따라 동체의 형태판별을 수행한다. 추적하고자 하는 대상물 - 본 연구에서는 단일이동물체(보행중인 사람, 혹은 자동차)로 하였다 - 의 형태와의 차가 제안한 방법에 따른 한계치를 넘지 않는 경우, 이를 추적하기 시작한다. 이 시점부터 동체의 추적이 시작되며, 동체의 이동 성격에 따르는 방향 예측 알고리즘을 적용하여 카메라의 구동방향 및 구동량을 결정하게 된다.

III. 동체 추적 알고리즘

1. 영상 시퀀스의 전처리
시간의 경과 Δt 동안에 대상영역 내에서 이동물체의 존재 여부를 감지하기 위하여 2장의 연속된 영상에

대하여 식(1)과 같은 시간적 미분을 행한다.^{[2][9]} 이렇게 함으로써 움직임이 있는 영역에서 가장 큰 에너지를 갖는 영상 I_t 를 얻을 수 있다. 영상데이터에 대한 시간 미분은 식(1)과 같이 표현되나, 이산 데이터로 이루어진 영상 시퀀스에 대한 미분은 이진화 과정과 더불어 식(2)와 같이 근사화 시킬 수 있다. 즉,

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} \approx \frac{I(x, y, t) - I(x, y, t - \delta t)}{\delta t} \quad (1)$$

$$I_t(x, y) = u [|I(x, y, t) - I(x, y, t - \delta t)| - Th] \quad (2)$$

으로 정의된다.

식 (2)에서 δt 는 영상 취득 간격이며, $I(x, y, t)$ 와 $I(x, y, t - \delta t)$ 는 각각 시간 t 와 $t - \delta t$ 에서 취득한 영상의 밝기함수(intensity function)이다. $u[\cdot]$ 는 단위계단함수를 의미하며, 따라서 문턱값 Th 에 의한 이진화 과정이 이루어진다. 위 식에 의한 시간적 미분 결과, 움직임이 존재하는 영역에서 시간적인 화소값의 변화가 발생하게 되고, 따라서 이들의 변화율은 움직임의 정도를 반영하게 된다. 2진 영상 I_m 에는 주로 이동물체의 영역에 이동에너지가 집중되지만, 잡음에 의하여 그 외의 영역에서도 미세한 이동성분들이 나타날 수 있다. 이러한 성분들은 이동물체 추출의 정확성을 떨어뜨리는 요인이 되므로 이들을 효과적으로 제거하기 위하여 다음의 연산을 행한다. 즉, 시간 영역에서의 미분 결과 영상으로부터 움직임이 존재하는 영역을 추출하기 위한 과정으로 이진 차영상 강조과정을 수행한다. 이를 위해 수리형태학적 열기연산(morphological opening)을 이용하는데, 이는 침식연산(erosion)과 팽창연산(dilation)을 차례로 적용함으로써 수행된다. 이들의 연산을 수행한 결과 영상은 I_m 이다. 즉,

$$I_m = I_d \cdot K = (I_d \ominus K) \oplus K \quad (3)$$

여기서, \ominus 와 \oplus 는 각각 침식, 팽창 연산을 의미하며 \cdot 는 열기연산을 의미하는데, 이는 다음과 같은 방법으로 구현한다.^[11]

$$I_d \ominus K = \{ x \in E^N \mid \text{for every } b \in K, \text{ there exists an } a \in I_d \text{ such that } x = a - b \} \quad (4-a)$$

$$I_d \oplus K = \{ c \in E^N \mid c = a + b \text{ for some } a \in I_d \text{ and } b \in K \} \quad (4-b)$$

여기서, E^N 은 $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)$, $b = (b_1, b_2, \dots, b_N)$ 로 이루어진 공간이며, N 은 2로서 x, y 로 이루어진 2차원 영상 평면이다. K 는 구조화 요소(structuring element)로서 3×3 크기의 흑화소 마스크 형태를 이용하였다. 위의 수리형태학적 열기 연산을 이용함으로써 동체영역 외에도 영상 전반에 걸쳐 잡음성으로 존재하는 고립점(isolated clutter)들을 제거함과 동시에 동체 부분에 주로 밀집하는 흑화소의 형태를 보존하는 기능을 성공적으로 수행할 수 있다.

이동물체를 정확하게 추적하기 위해서는 물체의 현재 위치를 정확하게 추출해 내야 하는데 영상 I_m 에는 물체의 이전 위치와 현재 위치에 걸쳐 유사한 값의 이동에너지가 나타나므로 식(4)의 연산만으로는 이동물체의 현재 위치를 정확하게 계산하기 어렵다. 또한, 물체의 이동 영역에서 뿐만 아니라, 대상 영역 내에 있는 유동적인 배경에 전반적인 변화가 발생하거나, δt 구간 내에서 대상 영역의 조도가 현저히 변하는 경우에도 역시 높은 에너지를 갖게 된다. 따라서, 이러한 상황은 실제 추적하고자 하는 물체의 이동에너지와 구별되어야 한다. 먼저, 이동물체의 현재 위치를 추출하기 위하여 영상 $I(x, y, t)$ 의 공간 미분에 의한 경계정보(edge information)를 이용한다. 일반적으로 최적상태의 경계 검출 결과를 얻으려면 다음의 세 가지 사항을 만족하는 경계 검출 기준을 설정할 필요가 있다.^[11] 첫째, 검출 기준은 주요한 경계 정보를 유실해서는 안되며, 불필요한 경계를 검출하지 않는 방향으로 설정되어야 한다. 둘째, 경계의 실제 위치와 검출 위치와의 오차는 최소가 되도록 위치 기준이 설정되어야 한다. 이러한 검출 위치는 특히, 향후 카메라의 구동량을 결정하는 단서가 된다는 것을 감안할 때 매우 중요한 고려 사항이다. 셋째, 단일 경계만을 갖는 대상물체에 대해서는 단일 경계만이 검출되어야 한다. 즉, 영상 내의 잡음으로 인하여 대상 물체의 경계가 손상된 경우, 다중 경계가 검출될 가능성을 고려해야 한다는 것이다. 일반적인 미분 연산자(Robert, Prewitt, Laplacian 등)에 의한 검출은 구현이 쉬운 반면, 경계검출시 적용되는 문턱값에 따라 경계의 위치 및 두께가 가변적이어서 위의 둘째, 셋째 기준에 부합되는 결과를 얻기 어렵다. 특히, 이와 같은 가변적 성질은 이동물체의 현재 위치를 검출하는 데 있어서 정확성을 떨어뜨린다. 따라서, 본 논문에서는 위의 기준에 가장 부합하는 응답 특성을 보이는 Canny 연산자를 이용하여 경계검출을 행하

었다¹¹⁾. Canny 연산자는 원 신호에 가우시안 평활화를 수행한다는 점에서 LOG(Laplacian of Gaussian) 필터와 유사성을 갖는데, 경계 검출연산자의 표준편차의 크기(σ)의 결정은 주로 영상내의 추출하고자 하는 물체 형태내에 존재하는 경계강도나 복잡도에 의존한다. 작은 σ 값을 적용하는 경우 상세한 경계들이 추출되며, σ 값이 커질수록 물체의 외곽 성분에 충실한 경계점들만을 추출하게 된다.¹⁸⁾ 본 논문에서는 이동물체의 내부에 존재하는 경계보다는 상대적으로 외곽 경계가 중요한 정보이므로, 외곽경계 이외의 미세한 경계성분들을 억제할 수 있도록 σ 를 2.0으로 설정하여 경계영상 I_c 를 추출하였다. 또한 가우시안 컨볼루션 마스크는 효율적인 연산 및 향후 하드웨어 구현을 고려하여 정수로 정규화시켜 사용하였다.

다음으로, 위의 두 가지 미분결과에 대해 각각 처리의 대상이 되는 데이터의 영역을 선정하기 위한 이진화 과정이 수행되는데, 공간미분의 결과에는 영상내의 화소값의 복잡도나 잡음 정도를, 그리고 시간미분의 결과에는 포착되는 영상의 간격을 고려하여, 본 연구에서 실험에 의해 측정된 수치로 문턱값을 적용함으로써 시공간에서의 후보영역을 설정하게 된다. 따라서, 다음과 같이 영상 $I(x, y, t)$ 의 경계영상 I_c 에 식 영상 I_m 을 논리곱 하면, 이동물체의 현재 위치에서 최대의 에너지를 갖는 영상을 얻을 수 있으며, 여기에 적절한 문턱값을 적용하여 2진 영상 I_m , 즉,

$$I_m(x, y) = I_m(x, y) \odot I_c(x, y, t) \quad (5)$$

를 얻는다. 여기서, \odot 는 논리곱 연산을 나타낸다. 한편, Δt 구간 내에서 현저한 조도의 변화에 의하여 취득된 연속 영상간에 밝기 차가 일정 수준을 넘는 경우, 시간미분과정을 거치게 되면 영상 전역에 걸쳐 이동에너지가 생성되는 결과로 나타난다. 이러한 이동 에너지는 영상취득단계에서 영상의 평균 밝기를 계산하고, 이전 영상의 평균 밝기와 차를 계산하여 이를 현재 영상에 반영함으로써 약화시킬 수 있으며, 이동에너지가 영상 전반에 분포되므로 다음에 이어질 동체추출 알고리즘 수행 과정에서 배제시킬 수 있다.

2. 동체 추출 과정

다음은 이동영역의 특성을 분석함으로써 이동물체의 각 위치좌표로부터 물체영역을 추출하고, 이동물체 이외의 고립영역들을 제거한다. 우선, 이동물체 영역의

특성을 분석하기 위하여 I_m 에 대하여 수평, 수직 방향의 투영을 실시하면, 투영 프로파일(projection profile)로부터 수평, 수직의 프로파일 세그먼트 $N_h = \{N_{h1}, N_{h2}, N_{h3}, \dots\}$, $N_v = \{N_{v1}, N_{v2}, N_{v3}, \dots\}$ 와 이들 세그먼트로 이루어진 영역 세그먼트 $N_A = \{N_{A1}, N_{A2}, N_{A3}, \dots\}$ 를 얻을 수 있다. 여기서 각 행과 열의 투영 P_H , P_V 는

$$P_H(r) = \sum_{c=0}^{col} I_{mc}(r, c) \quad (6-a)$$

$$P_V(c) = \sum_{r=0}^{row} I_{mc}(r, c) \quad (6-b)$$

로 정의된다. 수평, 수직의 세그먼트 집합 N_h , N_v 는 연속하여 $P_H > 0$, $P_V > 0$ 인 세그먼트들을 말한다. 또한 이동에너지 E 는

$$E = \sum_{r=0}^{row} P_H(r) = \sum_{c=0}^{col} P_V(c) \quad (7)$$

이며, 추적 이전의 초기 상태에서 감시 지역 내의 물체의 이동 여부를 판단하는 근거가 된다. 식(6), (7)로부터 이동영역을 구성하는 구형의 각 극점 좌표를 식(8)과 같이 구한다. 즉, 이동물체의 영역 세그먼트, N_A 의 각 극점의 위치는

$$Y_U = \min \{r | (r, c) \in N_A, P_H(r) > 0 \text{ and } \bar{N}_r > T_s\} \quad (8-a)$$

$$Y_B = \max \{r | (r, c) \in N_A, P_H(r) > 0 \text{ and } \bar{N}_r > T_s\} \quad (8-b)$$

$$X_L = \min \{c | (r, c) \in N_A, P_V(c) > 0 \text{ and } \bar{N}_c > T_s\} \quad (8-c)$$

$$X_R = \max \{c | (r, c) \in N_A, P_V(c) > 0 \text{ and } \bar{N}_c > T_s\} \quad (8-d)$$

이다. 여기서 T_s 는 투영 세그먼트 길이의 문턱값으로서 열기(opening)연산에서도 제거되지 않은 고립영역을 배제하기 위하여 설정한 값이다.

3. 이동물체의 중심 및 목표지점계산

위의 과정들을 거쳐 동체가 존재하는 영역의 극점 좌표 X_L , X_R , Y_U , Y_B 를 구하여, 이를 바탕으로, 물체의 이동 여부, 이동물체의 대략적인 크기 및 형태, 이동물체의 중심을 계산한다.

이동영역으로 판단되는 4개의 극점은 아래의 그림 2와 같은 구형을 이룬다.

여기서, 각 꼭지점 좌표 A, B, C, D는 다음과 같다

$$\begin{aligned}
 &A : (X_L, Y_U), B : (X_R, Y_U), C : (X_L, Y_B), \\
 &D : (X_R, Y_B) \\
 &D_x = \overline{AB} = \overline{CD}, D_y = \overline{AC} = \overline{BD} \quad (9)
 \end{aligned}$$

구성된 구형으로부터 제 1단계의 과정은 다음과 같이 수행된다.

1) 물체의 이동여부를 판별하기 위하여 구형의 면적을 계산한다.

$$S_{XY} = (X_R - X_L) \times (Y_B - Y_U) \quad (10)$$

S_{XY} : 구형의 면적

2) S_{XY} 가 다음의 범위를 만족하면 추적대상의 이동물체로 판단하며, 그렇지 않은 경우 새로운 영상을 취득한 후 위의 과정을 반복한다.

$$S_{Lth} < S_{XY} < S_{Uth} \quad (11)$$

S_{Lth} : 면적의 최저 문턱값, S_{Uth} : 면적의 최고 문턱값

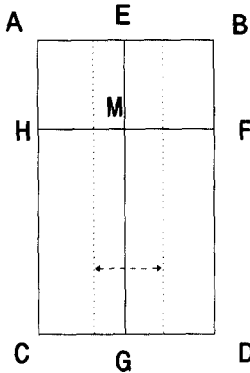


그림 2. 이동물체의 극점으로 구성된 구형
Fig. 2. A Rectangle with extremal points of moving object.

이 때, S_{Lth} 는 계산과정의 미세 잡음 배제 혹은 추적 대상이 아닌 소형 이동물체 여부의 판단을 목적으로 설정한 값이며, S_{Uth} 는 영상취득과정의 카메라의 흔들림 또는 δt 구간 내에서 감시대상 구역내의 조도변화로 인하여 생성된 구형을 배제하기 위하여 설정한 값이다. 왜냐하면, 카메라의 흔들림 또는 조도변화가 있는 상황에서 연속 영상의 시간 미분을 행하면 영상 전역에서 이동에너지가 발생하게 되고, 이로부터 생성된 구형은 비정상적으로 큰 크기를 갖게 되며, 생성된 구형의 상한값을 규정하여 이러한 상황을 배제할 수 있다. 위 문

턱값들 중 S_{Lth} 는 본 시스템의 설치 환경(렌즈의 초점 거리, 감시 지역의 밝기)에 따라 다르게 설정되는 값이며, 설치 환경의 평균 밝기에 연동하여 자동으로 계산하게 된다. 이의 계산은 다음과 같다.

$$S_{Lth} = \frac{\sum_{x=0}^{row} \sum_{y=0}^{col} I(x, y, t)}{row \times col} \times 0.2 \quad (12)$$

한편, 영상의 흔들림 혹은 조도변화에 의하여 생성되는 구형인 경우 그 크기가 영상 크기와 비슷한 값을 가지게 되어,

$$S_{Uth} = (row \times col) \times 0.8 \quad (13)$$

으로 설정한다. 위 식 (12), (13)에 포함된 상수들은 실험적으로 얻은 수치이다.

3) S_{XY} 가 2)항의 조건을 만족하는 경우, 구형의 가로, 세로의 길이 D_x, D_y 의 비 $D_x : D_y$ 를 계산하여 물체의 대략적인 크기 및 형태를 추정한다. 이것은 본 시스템의 추적 대상이 사람 혹은 자동차에 한정되므로 필요한 과정이다. 다음의 조건에 부합되는 경우, 추적 대상의 이동물체로 간주하며 그렇지 않으면 새로운 영상을 취득한 후 위의 과정을 반복한다.

$$D_x = X_R - X_L, D_y = Y_B - Y_U \quad (14-a)$$

$$\{D_y > D_x \text{ and } D_y < (D_x \times 6)\} \text{ 혹은 } \{D_y < D_x \text{ and } D_y > (D_x \times 6)\} \quad (14-b)$$

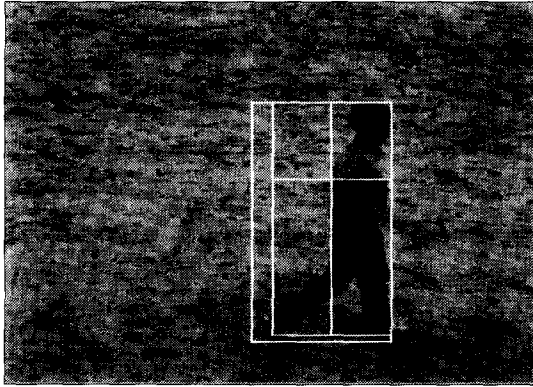
4) 카메라의 이동량을 결정하는 요소가 되는 물체의 이동중심(Motion Centroid) M 의 위치를 계산한다. 이동물체가 비행체, 자동차등의 강체(rigid body)에 국한된다면 수평, 수직 투영분포로부터 얻은 각 극점으로 형성된 구형의 산술평균으로써 이동중심을 계산할 수 있을 것이다. 그러나, 추적 대상물체로는 운동특성이 강체 가정(rigid body assumption)과 다른 '사람'도 포함되므로, 단순한 산술평균에 의한 중심(그림 3-a)은 실제 이동중심과 오차를 보이게 된다. 이것은 구형내부의 이동에너지 분포가 균일하지 않은 데 기인한다. 그러므로 이동중심은 이동에너지 분포 즉, 물체의 투영 프로필분포의 총합을 1로 정규화 한 후 투영 프로필의 누적 분포가 0.5인 지점을 이동중심(그림 3-b)으로 결정한다. 이때, M 을 구형의 상단 중앙으로 설정한 것은 이동물체가 보행중인 사람인 경우 상반신을 추적중심점(aim point)으로 삼았기 때문이다. 이의 계산은 다음과 같다.

$$\sum_{c=1}^{N_c} P_V(c) = \frac{1}{2} \cdot \sum_c^{out} P_V(c) \quad (15-a)$$

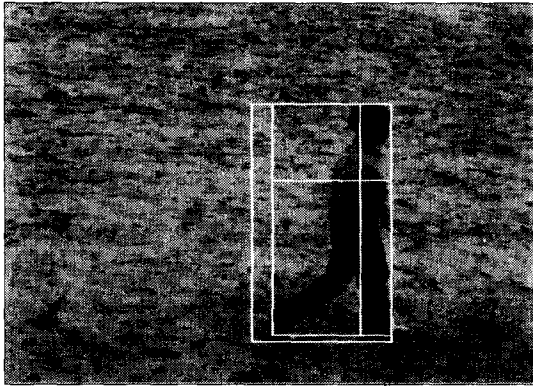
$$M_x = X_{out} \quad (15-b)$$

$$M_y = \frac{3 \cdot Y_{in} + Y_{out}}{4} \quad (15-c)$$

$$M(x, y) = (M_x, M_y) \quad (15-d)$$



(a)



(b)

그림 3. 이동물체의 중심

(a) 산술평균에 의한 이동중심 (b) 투영프로필을 이용한 이동중심.

Fig. 3. Centroid of moving object.

(a) by arithmetic mean (b) by projection profiles.

4. 이동량 및 방향 예측

영상 시퀀스의 프레임간 처리 속도가 일정하다는 가정하에 동체의 추적을 위해서는 과거에 관측되었던 동체영역의 중심 좌표들로부터 미래의 중심좌표만을 예측함으로써 효율적인 동체의 추적을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 동체의 중심좌표를 x성분과 y성분으로 각각 분리하여 독립적인 예측을 수행하였으며, 예측기로 입력되는 과거의 관측치와, 예측기의 출력인 예측치

로써 각 프레임에서 얻어진 동체의 중심좌표간의 차를 이용하였다. 즉, 이들은

$$x(t) = x_c(t) - x_c(t-1) \quad (16-a)$$

$$y(t) = y_c(t) - y_c(t-1) \quad (16-b)$$

으로 나타내며, 여기서 $x_c(t), y_c(t)$ 은 시간 t에서의 동체의 추적중심 좌표를 의미한다.

일반적으로 비행물체의 감시나 레이더 시스템에서 동체의 추적을 위해 주로 이용하는 상태 예측 방법으로 칼만 필터(Kalman Filter)를 들 수 있다^{16) 17)}. 본 논문에서는 이동물체에 대한 선형적 확률분포(a priori probability distribution)의 정확한 모델링이 어려울 뿐만 아니라 에러의 누적면에서 칼만 필터에서 사용하는 상태 예측에 비해 우수한 성능을 가지는 적응적 격자구조 선형 예측기(adaptive lattice predictor)를 이용하여 과거의 관측 값들로부터 동체의 방향을 예측하였다. 격자구조를 가지는 선형 예측기의 구조는 아래의 그림 4와 같이 현재 얻어진 데이터를 입력으로 하고 과거의 값들로부터 현재의 값을 전/후방으로 예측한 값들과 실제 현재의 데이터와의 차를 출력한다¹³⁾. 예측기의 전체적인 동작은, 매 순간 실제의 관측치 $y(t)$ 가 입력되면 이로부터 격자구조의 출력인 전/후방 오차가 계산되는 과정에서 얻어지는 각 단(stage)내의 계수들로부터 선형 조합 필터의 계수를 계산하고 이로부터 미래의 값 $y(t+1)$ 을 예측함으로써 한 주기의 실행이 종료되며, 이의 반복을 통해 전방오차가 0에 수렴하는 과정에서 정확한 추적을 수행할 수 있다. 이때, $f_m(t), b_m(t)$ 를 각각 m번째 단의 전방 예측 에러(forward prediction error), 후방 예측 에러(backward prediction error)라 하면, 각 단의 에러 출력들은 다음의 식과 같이 계산할 수 있다.

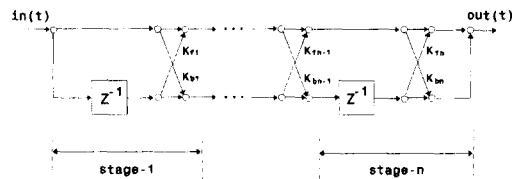


그림 4. 격자구조 선형 예측기
Fig. 4. A Diagram of Lattice structured Linear Predictor.

$$f_{m+1}(t) = f_m(t) - k_{bm} b_m(t-1) \quad (17-a)$$

$$b_{m+1}(t) = b_m(t-1) - k_{jm} f_m(t) \quad (17-b)$$

영상 시퀀스내의 각 프레임에서 중심좌표가 판단되고 이들이 입력될 때마다 격자 구조 예측기 내의 각 단을 진행하면서 최소 제곱오차 기준에 의하여 모든 계수들이 계산되고 그 결과를 이용하여 FIR 필터의 형태로 변환하면, M차 선형 예측기의 계수벡터를 다음과 같이 구할 수 있다¹¹³⁾.

$$A_M' = [a_{M1} \ a_{M2} \ \dots \ a_{MM}]$$

위의 계수 벡터를 이용하면 각 좌표의 변화량을 예측할 수 있으며, 따라서, 이전의 좌표와 예측된 변화량을 이용하여 추적중심점의 좌표 $(x_c(t), y_c(t))$ 는 각각 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$x_c(t) = x_c(t-1) + \sum_{k=1}^M a_{Mk} x(t-k) \quad (18-a)$$

$$y_c(t) = y_c(t-1) + \sum_{k=1}^M a_{Mk} y(t-k) \quad (18-b)$$

위와 같은 격자구조 선형 예측기는 선형 조합 예측기와 비교할 때 다음과 같은 장점을 가진다. 먼저, 새로운 입력이 발생할 때마다 예측기 내부의 모든 계수들이 과거의 데이터들로부터 얻어지는 과정에 있어 계산량이 선형 예측기의 경우 차수의 제곱에 비례하는 반면, 격자구조 예측기의 경우 차수에 비례한다는 것이다. 둘째는, 예측기의 계수를 계산하는 과정이 각 차수에 대해 순환적(order recursive)으로 수행되므로, 다른 단 내의 계수들에 영향을 주지 않고 차수의 조정이 가능하다는 점이다¹¹²⁾.

앞에서도 기술한 바와 같이 본 논문에서는 일반적인 추적 시스템과는 달리 달리 갑작스런 방향전환과 같은 예측기의 성능에 영향을 줄 수 있는 이동물체 즉, 보행 중인 사람 혹은 자동차로 제한하였기 때문에, 이러한 경우 기존의 고정된 차수를 가지는 적응적 선형 예측기로는 빠른 속도의 수렴이 어렵게 된다. 따라서, 입력되는 데이터들의 자기상관 분산을 이용하여 예측기의 차수를 적응적으로 조정함으로써 빠른 속도로 이동방향에 수렴할 수 있도록 하였다. 즉, $t = t_1$ 과 t_2 사이의 입력 $x(n)$ 의 자기상관 분산은

$$\mu(t_1, t_2) = \mu(t_1 - t_2) = \mu(\tau) = (x(t_2) - m_\tau)^2 \quad (19)$$

로 표현된다¹¹³⁾. 여기서 m_τ 는 시간 τ 동안의 평균을 의미하며, 이는 $t = t_2$ 에서 입력이 과거의 값들로부터

벗어나는 정도를 반영하며, 따라서 이는 입력되는 데이터의 안정성의 척도로 사용될 수 있다. 즉, 시간 t 에서 데이터의 안정도를 S_t 라 할 때 이는

$$S_t = S_{t-1} \mu \left[\frac{\mu_{th}}{\mu(\tau)} - 1 \right] + 1 \quad (20)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 위 식에서 데이터의 안정도는 상호상관 계수에 피크치가 발생되지 않는 한 계속 증가되며, 갑작스런 변화가 발생하는 경우 그 값이 1로 떨어지게 된다. 여기서 임계치 μ_{th} 는 자기상관 분산과의 비교 대상이 되며 자기상관 분산은 식(19)와 같이 과거 데이터들의 평균으로 표현될 수 있으므로 임계치는 이전 데이터의 평균 m_{t-1} 에 비례하는 값으로 다음과 같이 결정한다.

$$\mu_{th} = k m_{t-1} \quad (21)$$

따라서, 자기상관 분산값이 커지는 경우 데이터의 안정도가 감소되는 결과를 가져올 수 있다. 위에서 얻어진 데이터의 안정도를 기본으로 격자구조 선형 예측기의 차수 m 을 다음과 같이 결정한다.

$$\begin{cases} m_t = S_t, & S_t < M_{\max} \\ m_t = M_{\max}, & S_t \geq M_{\max} \end{cases} \quad (22)$$

여기서, M_{\max} 는 정해진 최대의 차수를 의미한다.

이상에 기술된 바와 같이 입력의 갑작스런 변화에 대해 격자구조 선형 예측기의 차수 m 을 조정함으로써, 빠른 속도의 수렴을 나타낼 수 있다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 이동물체의 추출

이동물체가 존재하는 영상 시퀀스를 기본으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 다음과 같이 적용하였다. 그림 5는 옥외 환경에서의 이동물체 추출 과정이고, 그림 6에는 옥외 환경에서 감시지역 내에서 움직이는 자동차를 추출하는 과정을 나타내었다. 그림 7은 실내 환경에서의 추출과정이다.

그림 5, 6, 7에서 (a)와 (b)는 시간 δt 구간에서 취득한 연속영상이다. (c)는 영상 $I(x, y, t)$ 에 대한 경계 영상이며, (d)는 영상 $I(t)$ 와 $I(t - \delta t)$ 의 시간미분을 행한 후 독립영역제거를 위하여 열기연산을 거친 것이다. (d)에 나타난 대로 이동에너지가 이전 위치와 현 위치

에 걸쳐 분포함을 알 수 있으며, 이 결과만으로 이동물체의 현 위치를 정확하게 추출해 내기 어렵다. 그러므로, 영상 $I(x, y, t)$ 의 경계영상 $I_c(t)$ 와 열기연산을 거친 영상 I_m 의 논리곱을 취하여 이동물체의 현재 위치에서 최대의 이동에너지를 갖는 영상 (e)를 얻었다.

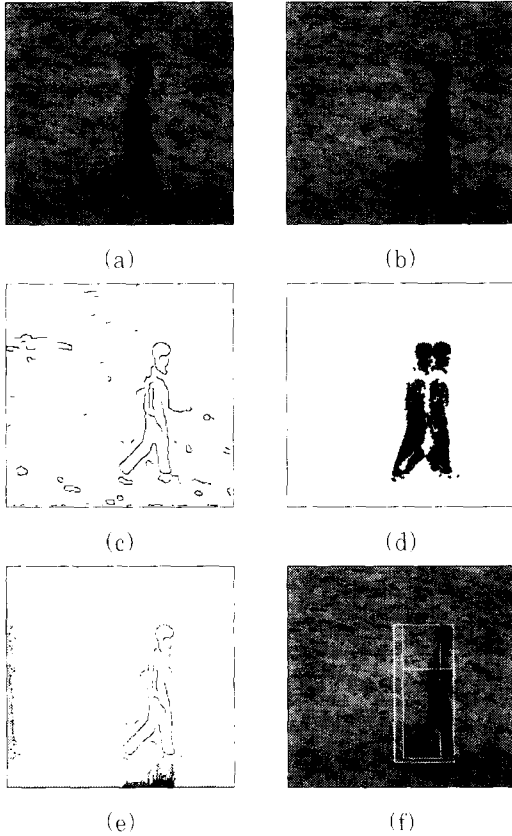


그림 5. 옥외환경에서의 이동물체(사람) 추출과정
(a) 영상 $I(t-\delta t)$ (b) 영상 $I(t)$ (c) 경계영상 $I_c(t)$ (d) 영상 $I(t)$ 의 열기영상 I_m (e) 영상 I_m 및 투영프로필 (f) 투영프로필을 이용한 이동중심

Fig. 5. Procedure of moving object(man) extraction in outdoor.
(a) Image $I(t-\delta t)$ (b) Image $I(t)$ (c) Edge image $I_c(t)$ (d) Image I_m after opening $I(t)$ (e) Image I_m and Projection profiles (f) Centroid of moving object using projection profiles

(e)는 이동물체의 현재 위치가 가장 강조된 영상이며, 이 영상에 대한 이동중심을 계산하기 위하여 수평, 수직 방향의 투영프로필을 구하였다. (e)에서 보는 바와 같이 이동에너지 분포가 고르지 않으므로 투영프로

필 분포의 누적분포를 활용하여 (f)와 같이 이동중심을 구하였다.

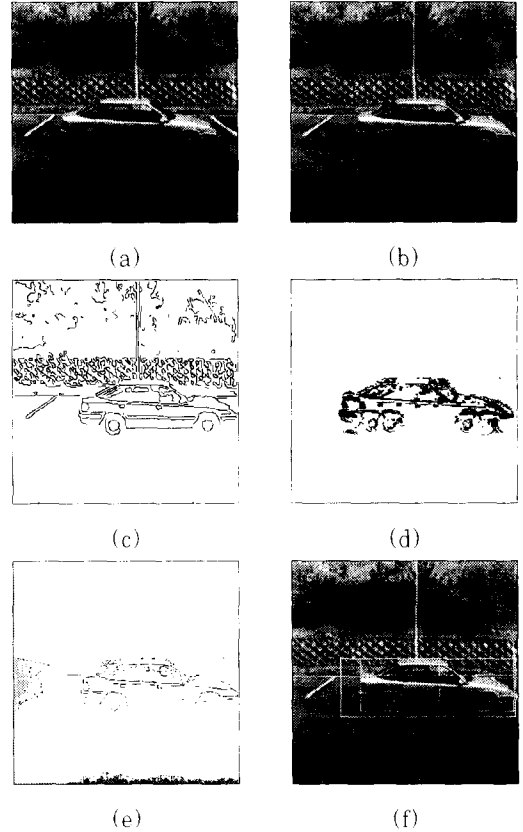


그림 6. 옥외환경에서의 이동물체(자동차) 추출과정
(a) 영상 $I(t-\delta t)$ (b) 영상 $I(t)$ (c) 경계영상 $I_c(t)$ (d) 영상 $I(t)$ 의 열기영상 I_m (e) 영상 I_m 및 투영프로필 (f) 투영프로필을 이용한 이동중심

Fig. 6. Procedure of moving object(car) extraction in outdoor.
(a) Image $I(t-\delta t)$ (b) Image $I(t)$ (c) Edge image $I_c(t)$ (d) Image I_m after opening $I(t)$ (e) Image I_m and Projection profiles (f) Centroid of moving object using projection profiles

그림 8에 Canny 경계 검출시 적용한 σ 값에 따른 경계영상을 나타내었다. 그림에 나타난 대로 σ 가 클수록 미세한 경계성분은 억제되고 외곽경계에 충실한 경계영상이 얻어짐을 알 수 있다. 미세한 경계성분들이 많이 나타날수록 배경영역과 이동물체영역의 겹침이 많이 발생하게 되어 추출된 '이동물체의 현재위치'에 대한 신뢰도가 떨어진다. 본 연구에서는 이러한 점을 감

안하여 σ 를 2.0으로 선택하여 적용하였다.

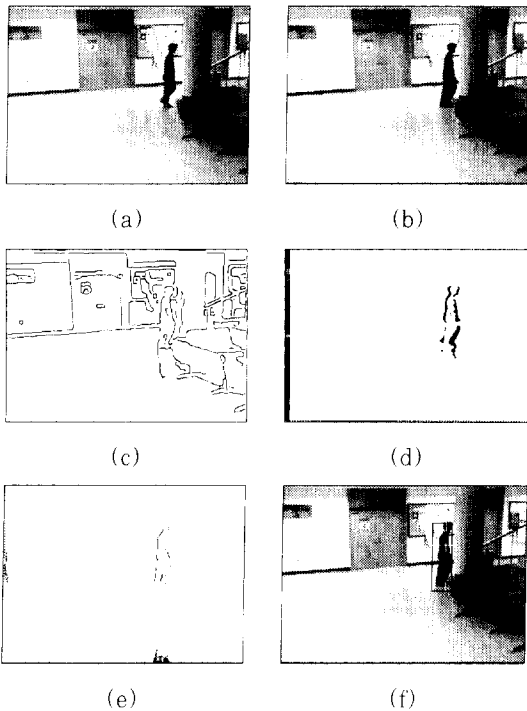


그림 7. 옥외환경에서의 이동물체(사람) 추출과정
 (a) 영상 $I(t-\delta t)$ (b) 영상 $I(t)$ (c) 경계영상 $I_e(t)$ (d) 영상 $I(t)$ 의 열기영상 I_m (e) 영상 I_m 및 투영프로필 (f) 투영프로필을 이용한 이동중심

Fig. 7. Procedure of moving object(man) extraction in indoor.

(a) Image $I(t-\delta t)$ (b) Image $I(t)$ (c) Edge image $I_e(t)$ (d) Image I_m after opening $I(t)$ (e) Image I_m and Projection profiles (f) Centroid of moving object using projection profiles

2. 이동물체의 방향 예측 결과

앞에서 기술한 바와 같이, 본 논문에서 사용한 이동물체는 보행중인 사람 혹은 자동차로 그 동작특성이 매우 불규칙적일 가능성이 많을 뿐 아니라, 동작이 단순한 경우 기존의 선형 예측기로도 좋은 결과를 얻을 수 있다¹³¹. 따라서, 실험에서는 동체의 이동궤적으로서 비교적 복잡한 경로를 가지는 두 가지에 대하여 기존의 선형 예측기를 이용한 결과와 제안한 가변차수 예측기를 이용한 결과를 비교하였다. 결과는 그림 9와 같다.

그림 9에서 (a), (b)는 이동궤적 1에 대하여 기존의

5단 선형 예측 필터를 이용한 결과와 제안한 예측기를 이용한 결과를 각각 이동물체의 궤적과 비교한 것이며, (c)는 가변차수 예측기에서 차수의 변화과정을 그림으로 나타낸 것이다. 또한, (d), (e), (f)는 이동궤적 2에 대한 결과이다. 그림(c)와 (f)에서 볼 수 있듯이 이동방향이 급변할 때 예측기의 차수가 감소함에 따라 방향이 급변하기 전의 정보를 무시함으로써 보다 빠른 방향 전환을 가져올 수 있었다. 특히, 그림 (f)에서 y좌표가 x좌표보다 차수의 변화가 더 큰 이유는 각 좌표에 대해 독립적으로 예측을 시도했기 때문이다. 또한, 위의 두 가지 동작에 대하여 예측한 각 좌표의 변화량, $x(t), y(t)$ 에 대한 자승평균 오차, $\epsilon(\cdot)$ 는 아래의 표 1과 같다.

표 1. 자승평균 예측 오차
 Table 1. MSE of prediction.

	고정 차수 예측기	가변 차수 예측기
이동궤적 1	$\epsilon(x(t)) = 47.9$	$\epsilon(x(t)) = 34.5$
	$\epsilon(y(t)) = 12.4$	$\epsilon(y(t)) = 12.4$
이동궤적 2	$\epsilon(x(t)) = 15.0$	$\epsilon(x(t)) = 12.4$
	$\epsilon(y(t)) = 44.9$	$\epsilon(y(t)) = 24.2$

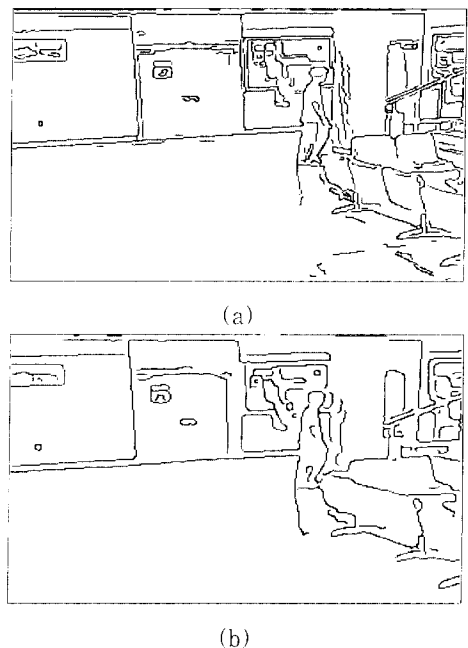
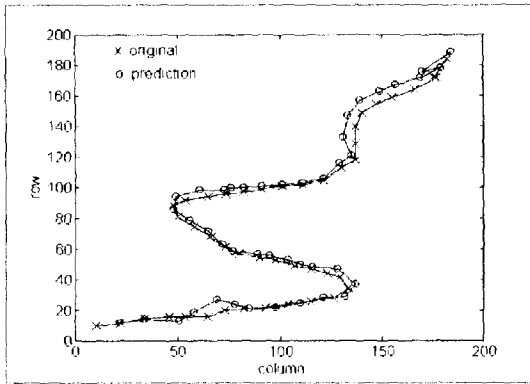
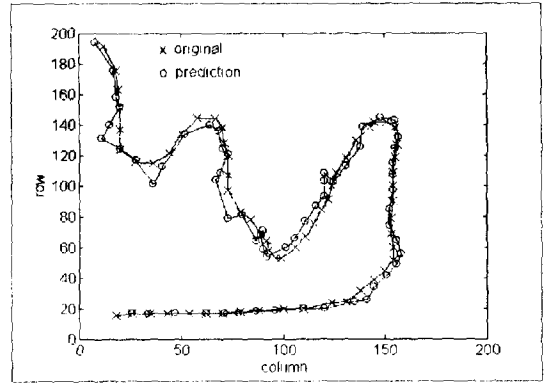


그림 8. σ 값에 따른 Canny 경계영상
 (a) $\sigma : 1.0$ (b) $\sigma : 2.0$

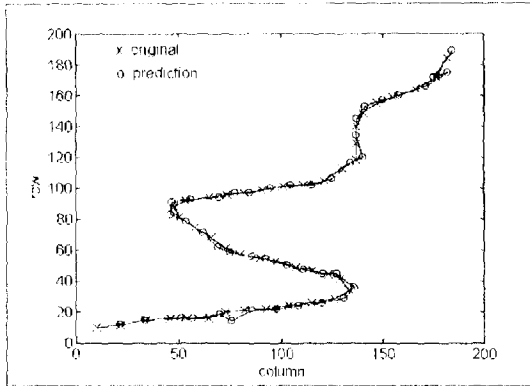
Fig. 8. Canny Edge map.
 (a) at $\sigma : 1.0$ (b) at $\sigma : 2.0$



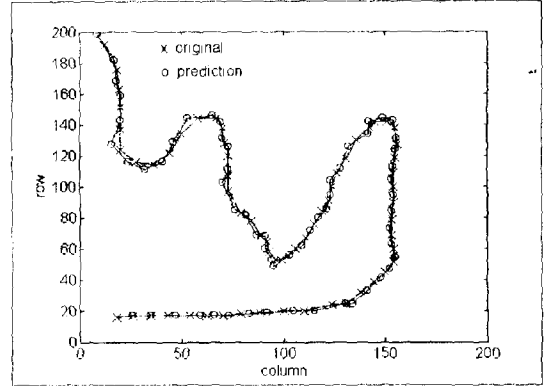
(a)



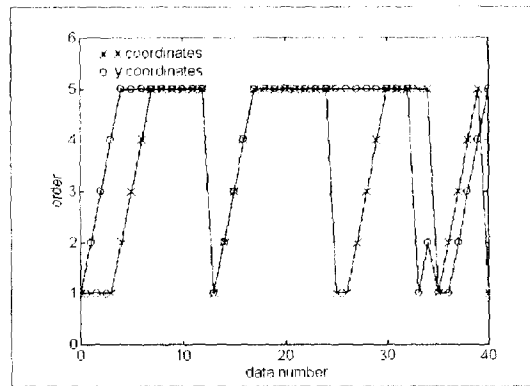
(d)



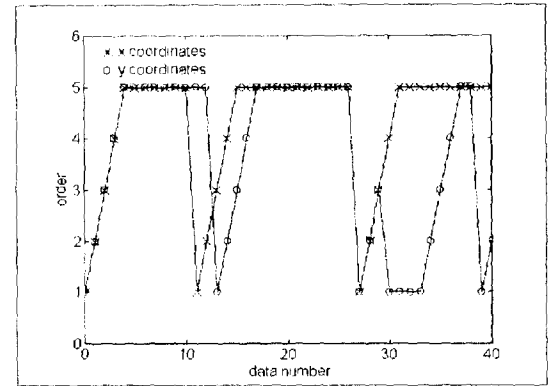
(b)



(e)



(c)



(f)

그림 9. 이동궤적 예측성능 비교

- (a) 이동궤적 1 : 고정차수 예측
- (b) 이동궤적 1 : 가변차수 예측
- (c) 이동궤적 1 : 차수변화 과정

- (d) 이동궤적 2 : 고정차수 예측
- (e) 이동궤적 2 : 가변차수 예측
- (f) 이동궤적 2 : 차수변화 과정

Fig. 9. Comparison of predicted motion trajectory.

- (a) Trajectory 1 : Fixed order
- (b) Trajectory 1 : Variable order
- (c) Trajectory 1 : Order change

- (d) Trajectory 2 : Fixed order
- (e) Trajectory 2 : Variable order
- (f) Trajectory 2 : Order change

위의 표에서 이동궤적 1은 x축 방향으로의 위치 변화가 불규칙한 반면 y축 방향으로는 단조증가의 형태를 보인다. 따라서, x축 방향으로의 변화량의 자승평균오차 $\varepsilon(x(t))$ 가 비교적 크게 나타난 반면, 이동궤적 2의 경우 그와 반대의 동작특성을 나타내므로 자승평균오차도 그에 따라 반대의 크기로 나타남을 확인할 수 있다. 특히, 이동궤적 1의 경우 y축 방향의 좌표증가가 극히 단순하므로 기존의 선형예측기와 제안한 방법의 차가 거의 나타나지 않음을 보이고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무인 감시 시스템(Automatic Surveillance System)의 하드웨어 구현을 목적으로, CCD 카메라를 통해 포착되는 영상 시퀀스를 대상으로 움직이는 물체의 형태를 식별하고 이의 이동방향을 판단하여 실시간으로 추적하기 위한 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 영상데이터의 시간적 미분 결과에 하나 이 영상데이터 내부에서 얻은 경계영상을 함께 적용함으로써 동체 부분만을 정확히 추출하고, 또한 동체의 형태 판별 및 정확한 이동중심 계산을 위하여 이동영역 내부에서의 투영법을 이용함으로써 미리 정의된 동체의 형태(사람, 또는 자동차)에 따라 선택적으로 추적이 가능함을 확인하였다. 즉, 움직임 영상의 투영필요를 이용함으로써 이동물체가 사람인 경우, 이동간 신체적 국부적인 움직임에는 반응하지 않도록 하였고, 나뭇잎의 흔들림과 같이 배경영역의 전반적인 움직임을 실제 이동물체의 움직임과 구별할 수 있었다. 실시간 추적시스템 구현을 위해 동체의 이동방향을 적응적으로 예측할 수 있는 변형된 적응적 선형 예측기를 이용함으로써 갑작스런 동작의 변화를 수반하는 이동물체에 대해서도, 예측한 이동벡터가 빠른 속도로 원래의 이동궤적에 수렴함을 확인하였다.

제안한 알고리즘은 주로 감시지역 내의 단일 이동물체를 추출 및 추적하도록 설계되었으나, 다중 이동물체에 대하여도 개별적으로 추적이 가능하도록 보완할 예정이며, 추적중인 이동물체의 명확한 식별을 위하여, 필요에 따라 이동물체를 확대하면서 추적하는 알고리즘을 구현할 예정이다. 그 밖의 향후 연구 과제로는 고속의 추적을 위해 해결되어야 할 문제로, 카메라가 구동되고 있는 동안 이동물체를 추출하고 판단할 수 있는 보다 복잡한 영상처리 기법에 관한 연구가 요구된

다.

참 고 문 헌

- [1] Young Ho Kim, Kyu Won Lee and Kyu Tae Park, "A Study on the Implementation of Moving Object Tracking System", Proc. VCIP'95, pp. 1183-1193, Taipei, Taiwan, May 1995.
- [2] Don Murray and Anup Basu, "Motion Tracking with an Active Camera", IEEE Trans. on PAMI, Vol. 16, No. 5, pp. 449-459, May 1994.
- [3] Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Visual Tracking of a Moving Target by a Camera Mounted on a Robot : A Combination of Control and Vision", IEEE Trans. on PAMI., Vol. 9, No. 1, pp. 14-34, Feb. 1993.
- [4] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Trans. on PAMI, Vol. 8, NO.6, pp. 679-698, Nov. 1986.
- [5] Bir Bhanu and Oliver D. Faugeras, "Shape Matching of Two-Dimensional Objects", IEEE Trans. on PAMI, Vol. 6, No. 2, pp. 137-155, Mar. 1984.
- [6] Jeff B. Burl, "A Reduced Order Extended Kalman Filter for Sequential Images Containing a Moving Object", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 2, No. 3, pp. 285-295, July 1993.
- [7] John W. Woods, C. H. Radewan, "Kalman Filtering in Two Dimensions", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-23, No.4, pp. 473-482, July 1977.
- [8] Kashi Rao, "Extracting Salient Contours for Target Recognition: Algorithm and Performance Evaluation", Optical Engineering, Vol.32, No. 11, pp. 2690-2697, Nov. 1993.

- [9] R. C. Nelson and R. Polana, "Qualitative Recognition of Motion using Temporal Texture", CVGIP, Vol. 56, No. 1, pp. 78 - 89, 1992.
- [10] A. Blake and Alan Yuille, "Active Vision", pp 3-20, MIT Press, 1992.
- [11] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer And Robot Vision*, pp 346 - 350, Addison Wesley, 1992.
- [12] John G. Proakis, *Digital Communications*, pp 421 - 431, McGraw-Hill, 1983.
- [13] Alan V. Oppenheim and Ronald W. Schaffer, *Discrete - Time Signal Processing*, pp 317 - 328, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1989.

— 저 자 소 개 —



李撥元(正會員)

1963년생. 1986년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 2월 ~ 1989년 8월 금성산전(주) 연구소 연구원. 1989년 9월 ~ 현재 한국전자통신연구소 연구원. 1993년 9월 ~ 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 영상처리, 컴퓨터 비전 등임.



李宰求(正會員)

1983년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987년 ~ 현재 LG산전(주) 연구소 선임 연구원. 1994년 3월 ~ 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 영상처리, 컴퓨터 비전 등임.



金英虎(正會員)

1967년생. 1990년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 3월 ~ 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 패턴 인식, 인지과학 등임.

朴圭泰(正會員) 第31卷 B編 第2號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수