

論文99-36S-3-10

칼만 필터를 이용한 다중 차량 추적 알고리즘

(Multiple Vehicle Tracking Algorithm Using Kalman Filters)

李 哲 憲 * , 金 亨 泰 ** , 薛 盛 旭 ** , 南 基 坤 ** , 李 章 明 **

(Chul-Hun Lee, Hyung-Tae Kim, Sung-Wook Seol, Ki-Gon Nam, and Jang-Myung Lee)

요 약

본 논문에서는 빠른 수행 속도를 가지고 여러 대의 차량을 동시에 추적할 수 있는 다중 차량 추적 알고리즘을 제안한다. 이러한 작업은 연속 영상으로부터 움직이는 물체의 동작 정보를 구하는 동작 분할(motion segmentation)단계와 칼만 필터(Kalman filter)를 이용해서 물체의 위치를 예측하는 동작 예측(motion estimation)단계로 나누어진다. 제안된 알고리즘은 아핀 동작 모델(Affine motion model)을 적용하여 동작 정보를 근사화함으로써 두 개의 선형 칼만 필터를 사용하고, 칼만 필터에서 예측된 위치 정보를 동작 분할 과정에 사용하여 빠른 추적이 이루어지도록 하였다. 또한, 다중 물체 추적 시 중요한 데이터 연결 문제(data association problem)를 해결하기 위해서 패턴 인식 방법을 도입하였다. 제안된 알고리즘을 고속 도로 영상에 대해 적용했을 때, 빠르고 정확한 다중 차량 추적이 이루어짐을 실험 결과를 통해 보였다.

Abstract

This paper presents a fast multiple vehicle tracking algorithm. This work is composed of a motion segmentation stage which gets motion informations of moving objects from sequential images, and a motion estimation stage which estimates the position and the motion of moving objects using Kalman filter. For a fast tracking, the proposed algorithm employs two linear Kalman filters by approximating motion informations based on Affine motion model and uses the predicted position information in motion segmentation. In addition, a pattern recognition method is applied to solve data association problem which is important in multi-target tracking. The proposed algorithm has been applied to highway traffic scenes, and simulation results show that the accuracy and computation time of the algorithm are good enough for a multiple vehicle tracking.

I. 서 론

컴퓨터 비전(computer vision)기술은 교통 통제 시스템(traffic surveillance system)을 구현하는 데

용될 수 있다. 비전 시스템을 통해서 얻어진 도로 상황의 혼잡 정도, 사고의 발생, 차선의 위반 등의 정보를 중앙의 통제 시스템에 보내어서 적절한 대응을 할 수 있다면 효율적인 차량 통제가 이루어질 수 있을 것이다.^[1]

도로와 차량의 상태에 대한 판단을 가능하게 하는 정보는 영상 데이터로부터 동작 정보를 가지는 차량을 추출하고, 추출되어진 차량을 추적(tracking)하여, 그 차량의 궤적, 속도, 가속도 등의 정보를 구함으로써 얻

* 正會員, 梁山大學 事務自動化科
(Dept. of Office Automation, Yongsan College)

** 正會員, 釜山大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics, Pusan National Univ.)

接受日: 1999年1月5日, 수정완료일: 1999年3월2일

을 수 있게 된다.

움직이는 물체의 추적을 위해서 지금까지 연구된 가장 대표적인 방법은 3차원 모델기반 추적(3D-model-based tracking) 알고리즘이다.^[2,3,4] 3차원 모델 기반 추적 알고리즘은 차량의 정확한 3차원 위치를 추정할 수 있지만, 수행 시간이 많이 걸리고, 모든 차량 모델에 대한 사전 지식이 있어야 한다. 또한, 차량 통제 시스템을 구현하기 위해서 정확한 3차원 위치가 꼭 필요한 것은 아니다. 이러한 문제점 때문에 3차원 모델 기반 추적 알고리즘은 실시간으로 처리되는 다중 차량 추적 시스템을 구현하기에는 부적합하다.

다중 물체 추적(multi-target tracking)^[5,6,7] 시에는 데이터 연결 문제^[8,9]를 해결해야한다. 데이터 연결 문제란 측정된 데이터 값을 어느 물체의 상태 벡터(state vector)를 업데이트하는 데 사용할 지를 결정하는 문제이다. 특히, 차량 통제 시스템을 구현하기 위해서는 매 시간마다 추적해야할 차량의 수가 달라지고, 여러 대의 차량을 동시에 처리해야 하기 때문에 데이터 연결 문제는 더욱 어려운 문제로 주어지게 된다.

본 논문에서는 어떤 동작 모델(Affine motion model)을 사용하여 움직이는 물체의 동작을 근사화해서 나타내고, 위치와 속도의 상태 벡터를 가지는 두 개의 칼만 필터를 사용해서 물체의 동작을 예측함으로써 빠른 수행 속도를 가지며, 차량에 대한 사전 지식이 필요 없는 다중 차량 추적 알고리즘을 제안하였다. 또한, 데이터 연결 문제를 해결하고, 수행 속도를 높이기 위해서 제한된 탐색 창(searching window)안에서만 동작 분할 과정이 이루어지게 하였고, 영상 분할된 차량의 간단한 특징을 도입하여 패턴 인식 기법을 사용하였다.

II장에서는 동작 분할 과정을 알아보고, III장에서는 칼만 필터를 이용한 동작 예측 과정에 대해 기술한다. IV장에서는 데이터 연결 문제를 해결하기 위해서 도입된 패턴 인식 기법에 대해 설명한다. V장에서는 제안된 다중 차량 추적 알고리즘의 모의 실험 결과를 보이고, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 동작 분할

동작 분할은 입력 영상으로부터 움직이는 물체들을 추출(motion detection)해내고 분할(segmentation)해서 각 물체들의 위치 정보, 동작 정보, 특징들을 얻어

내는 과정을 말한다. 그림 1은 동작 분할 과정의 블록도이다.

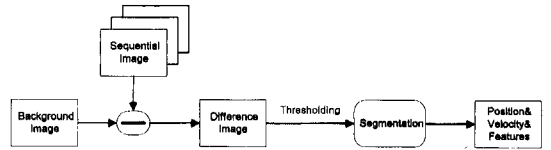


그림 1. 동작 분할 과정의 블록도
Fig. 1. Block diagram of motion segmentation.

연속 영상에서 고정된 배경으로부터 움직이는 물체만을 뽑아내는 가장 손쉬운 방법은 현재의 입력 영상과 고정된 배경사이의 차 영상을 이용하는 방법이다. 즉, 차 영상을 영상의 히스토그램을 이용하여, 적절한 임계값으로 이진화시켜서 움직임을 가지는 물체부분만 추출하는 것이다. 이 과정을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M_i(x) = \begin{cases} 1 & |D_i(x)| > T_i \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

영상에서의 위치 x 에 대하여 $D_i(x)$ 는 i 번째 프레임(frame)에서의 고정된 배경과 입력 영상의 차이이고, T_i 는 차 영상의 히스토그램에서 동작 추출을 위해 선택된 적절한 임계값, 그리고 $M_i(x)$ 는 동작 추출된 이진 영상을 나타낸다. 이렇게 얻어진 이진 영상으로 분할 과정을 거쳐서 움직이는 물체들을 구분하고, 필요한 특징값들을 구한다.

입력 영상을 받아서, 고정된 배경 영상과의 차 영상을 구하고 움직이는 차량별로 분할하는 과정을 그림 2에서 나타내었다. 그림 2-(d)에서 차량별로 분할된 것을 보이기 위해서 외접하는 사각형으로 분할된 물체를 표시하였다.

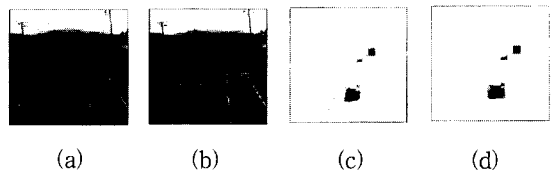


그림 2. 동작 분할 과정
(a) 고정된 배경 영상, (b) 현재 입력 영상, (c) 추출된 움직이는 차량, (d) 분할된 영상 조각

Fig. 2. The process of motion segmentation.
(a) Stationary background, (b) Present input frame, (c) Extracted moving vehicles, (d) Segmented image patch.

동작 예측 과정에서 필요한 칼만 필터 변수의 측정값은 동작 분할 과정에서 얻어진다. 즉, 칼만 필터의 측정 단계(measurement step)가 동작 분할 과정에서 이루어지게 되는데, 측정 벡터(measurement vector)로는 위치 필터와 속도 필터가 동일하게 동작 분할된 차량에 외접하는 직사각형(bounding rectangle)의 좌측 상단과 우측 하단의 꼭지점의 위치를 이용한다. 측정 벡터를 수식으로 표현하면, 다음의 수식 (2)로 주어진다.

$$z_k = (x_k^l, y_k^t, x_k^r, y_k^b)^T \quad (2)$$

k 는 프레임 번호를 나타내고, l, t, r, b 는 각각 좌측(left), 상단(top), 우측(right), 하단(bottom)의 좌표임을 나타내며, T 는 벡터의 전치(transpose)를 나타낸다. (2)식으로 주어지는 측정 벡터를 그림 3에 도시하였다.

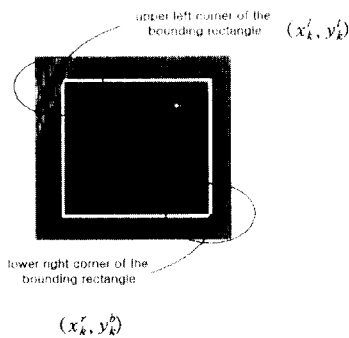


그림 3. 측정 벡터로 사용되어지는 특징 점
Fig. 3. Feature point for measurement vector.

III. 동작 예측

1. 칼만 필터

칼만 필터란 잡음에 의해 간섭받는 선형 동적 시스템(linear dynamic system)에서 상태 벡터 x_k 의 최적의 추정치 \hat{x}_k 를 구하기 위한 순환적인(recursive) 알고리즘이다. 여기서 k 는 시간을 나타낸다. 칼만 필터링은 크게 예측(prediction), 측정(measurement), 수정(update)의 세 가지 단계로 나누어진다.

예측 단계에서는 다음 상태의 상태 벡터 $x_{k+1(-)}$ 과 상태 추정 오차의 공분산 행렬 $P_{k+1(-)}$ 을 예측하는 단계이다. (-)는 아직 측정을 통한 수정 단계가 이루어지지 않았음을 나타낸다. 상태 추정 오차의 공분산 행렬을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_{k+1(-)} = E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T] \quad (3)$$

예측 단계에서 이루어지는 상태 벡터와 상태 추정 오차의 공분산 행렬의 예측을 나타내는 식은 각각 (4)식과 (5)식으로 주어진다.

$$\hat{x}_{k+1(-)} = f(\hat{x}_{k+}) + w_k \quad (4)$$

$$P_{k+1(-)} = P_{k+} + Q_k \quad (5)$$

여기서 f 는 주어진 \hat{x}_{k+} 의 예측함수이고, w_k 는 시스템의 모델 잡음(model noise), Q_k 는 w_k 의 공분산 행렬이다. 측정 단계는 다음의 수식으로 표현된다.

$$z_k = H \cdot \hat{x}_k + v_k \quad (6)$$

z_k 는 측정 벡터, H 는 상태 벡터와 측정 벡터사이의 관계를 나타내는 관측 행렬(observation matrix), v_k 는 측정 오차를 나타내며, 모델 잡음 w_k 와 측정 오차 v_k 는 비상관(uncorrelated)되었다고 가정한다.

마지막으로 수정 단계에서는 측정 단계에서 구해진 측정값을 바탕으로 상태 벡터와 상태 추정 오차를 새로운 값으로 수정한다. 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$K_k = P_{k(-)} H_k^T [H_k P_{k(-)} + R_k]^{-1} \quad (7)$$

$$P_{k+} = [I - K_k H_k] P_{k(-)} \quad (8)$$

$$\hat{x}_{k+} = \hat{x}_{k(-)} + K_k [z_k - (H_k \hat{x}_{k(-)})] \quad (9)$$

여기서 R_k 는 측정 오차 v_k 의 공분산 행렬을 나타내고, K_k 는 칼만 이득(Kalman gain)을 나타낸다. 칼만 이득의 역할은 상태 벡터 x_k 를 수정할 때, 측정값과 추정값사이의 차이에 적절한 가중치를 주는 역할을 한다.

2. 위치 필터와 속도 필터

동작 분할 과정에서 얻어진 한 물체에 대한 특징점의 위치와 속도를 나타내는 상태 벡터는 각각 (10)식, (11)식으로 표현된다.

$$x_k = (x_k^1, y_k^1, x_k^2, y_k^2, \dots, x_k^N, y_k^N)^T \quad (10)$$

$$m_k = (u_k, v_k, s_k)^T \quad (11)$$

N 는 특징 점의 수를 나타내고, u_k, v_k, s_k 는 각각 물체의 x 축 방향의 속도, y 축 방향의 속도, 카메라로부터 접근하는 지 혹은 멀어지는 지를 결정하는 크기

계수(scale factor)를 나타낸다. 실제 본 논문에서 사용되는 위치 벡터는 영상 조각에 외접하는 직사각형의 좌측 상단과 우측 하단의 꼭지점의 위치이므로, (10) 식은 다음의 (12)식으로 표현된다.

$$x_k = (x'_k, y'_k, x''_k, y''_k)^T \tag{12}$$

본 논문에서 측정 벡터 z_k 로 사용되는 값은 (2)식으로 표현되는 위치 좌표의 값이다. 그러므로 위치 필터에서 상태 벡터와 측정 벡터의 관계는 (13)식으로 주어진다.

$$z_k = \hat{x}_k + v_{1k} \tag{13}$$

v_{1k} 는 위치 필터에서의 측정 오차를 나타낸다.

속도 필터의 관측 행렬 H_{2k} 는 (14)식으로 주어지고,

$$H_{2k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \hat{x}'_{k(-)} - x_{ck} \\ 0 & 1 & \hat{y}'_{k(-)} - y_{ck} \\ 1 & 0 & \hat{x}''_{k(-)} - x_{ck} \\ 0 & 1 & \hat{y}''_{k(-)} - y_{ck} \end{bmatrix} \tag{14}$$

속도 필터에서의 상태 벡터와 측정 벡터의 관계는 (15)식으로 주어진다. $x_{ck} = (x_{ck}, y_{ck})^T$ 는 물체 중심의 좌표를 나타낸다.

$$z_k = H_{2k} \cdot \hat{m}_{k(+)} + \hat{x}_{k(+)} + v_{2k} \tag{15}$$

이런 동작 모델을 이용해서 위치 필터의 예측 단계를 수식으로 나타내면,

$$\hat{x}_{k+1(-)} = \hat{x}_{k(+)} + s_k (\hat{x}_{k(+)} - x_{ck}) + (u_k, v_k)^T + w_{1k} \tag{16}$$

(16)식과 같아지고 위치 필터와 속도 필터가 서로 상호적인 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. (16)식에 의해서 구해진 위치 벡터의 예측값으로 다음 프레임에서의 차량의 위치를 추정할 수 있게 된다.

속도 필터의 예측 단계는 다음과 같다.

$$\hat{m}_{k+1(-)} = \alpha \cdot \hat{m}_{k(+)} + w_{2k} \tag{17}$$

α 는 감속 계수(deceleration coefficient)이며, 물체가 영상의 아래쪽에서 출현해서 영상의 위쪽으로 이동해 나가면서 크기가 작아지기 때문에 발생하는 1보다 작은 상수값이다.

마지막으로 수정 단계는 위치 필터에 대해서는 (7), (8), (9) 식에 H 대신 단위 행렬을 대입하면 되고 속도 필터에 대해서는 약간의 수정이 필요한데, 그 수식

들은 다음과 같다.

$$K_k = P_{2k(-)} H_{2k}^T [H_{2k} P_{k(-)} H_{2k}^T + R_k]^{-1} \tag{18}$$

$$P_{2k(+)} = [I - K_k H_{2k}] P_{2k(-)} \tag{19}$$

$$\hat{m}_{k(+)} = \hat{m}_{k(-)} + K_k [z_k - ((H_{2k} \hat{m}_{k(-)}) + \hat{x}_{k(-)})] \tag{20}$$

추적 시스템의 초기화(track formation)과정은 위치 필터와 속도 필터에 필요한 초기 파라미터 값들을 얻어서 두 칼만 필터를 초기화시키는 과정을 말한다. 칼만 필터의 안정성(stability)은 이 초기값에 따라 큰 영향을 받게 된다. 추적 시스템의 초기화 과정은 특정 물체가 처음으로 출현한 프레임과 그 다음 프레임에서 이루어진다. 위치 필터의 초기값은 이 때의 동작 분할 과정에서 바로 얻어지고, 속도 필터의 초기값은 물체가 처음으로 출현한 프레임이 $k-1$ 번째 프레임이라고 할 때, 다음의 (21), (22), (23)식으로 주어진다.

$$u_k = x_{ck} - x_{ck-1} \tag{21}$$

$$v_k = y_{ck} - y_{ck-1} \tag{22}$$

$$s_k = 0 \tag{23}$$

지금까지 기술된 다중 차량 추적 알고리즘의 블록도를 그림 4에 나타내었다.

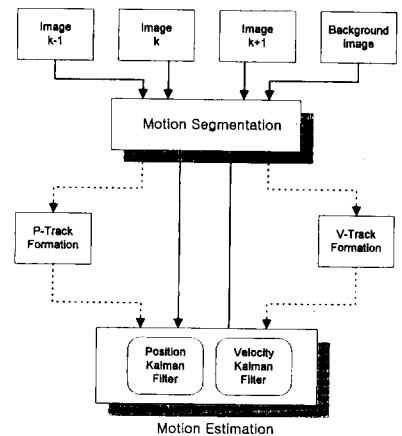


그림 4. 다중 차량 추적 알고리즘의 블록도
Fig. 4. Block diagram of the multiple vehicle tracking algorithm.

IV. 데이터 연결 문제

본 논문에서는 다중 물체 추적 시의 데이터 연결

문제를 해결하기 위해서 측정 과정을 탐색 창 안에서만 이루어지도록 제한하고, 탐색 창 안에서 물체의 특징을 사용하여 추적하고자 하는 물체를 인식하는 방법을 제안한다.

탐색 창은 (16)식으로 주어지는 예측 위치에서 추정 오차를 고려한 여유값을 더해져 만들어지고, 물체를 추적하고 있을 때의 동작 분할 과정은 그 물체에 대한 탐색 창 안에서만 이루어지도록 하였다. 탐색 창을 사용하지 않으면, 탐색 창 내에 2개 이상의 물체가 발견되는 경우를 제외하고는 추적하고자하는 물체가 그 물체를 추적하기 위한 탐색 창 안에서 바로 측정되기 때문에 데이터 연결 문제를 해결할 수 있게 된다.

추적하고자 하는 물체를 인식하기 위해서 본 논문에서 사용된 특징들은 분할된 물체의 화소 수 n , 분할된 물체의 화소들이 가지는 평균 밝기 값 i , 분할된 물체의 가로 세로 비 r 이다. 이 세 가지 특징 값이 라벨(label) l_i 을 가지는 물체에 대한 특징 벡터를 이루게 되는데, 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$f_i = (n_i, i_i, r_i) \quad (24)$$

탐색 창 내에 2개 이상의 물체가 있을 때, 이전 프레임에서 기억된 물체의 특징과 탐색 창 내에서 발견된 물체들의 특징을 비교해서 가장 짧은 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 가지는 물체를 추적하고자 하는 물체로 인식하게 된다. 이전 프레임에서 저장된 추적하고 있는 물체의 특징을 $f = (n, i, r)$ 라하고, 현재 프레임의 탐색 창에서 발견된 물체들 중 계속 추적해야할 가장 적합한 물체로 판단되는 물체의 라벨을 l_m 이라고 하면, 다음과 같이 구해진다.

$$l_m = \arg \min \sqrt{\alpha(n_i - n)^2 + \beta(i_i - i)^2 + \gamma(r_i - r)^2} \quad (25)$$

여기서 α, β, γ 는 가중치를 나타낸다.

두 물체가 탐색 창에 들어온 경우 패턴 인식 기법을 사용해서 물체를 추적하는 과정을 그림 5에 나타내었다. 그림 5-(a)에서 동작 분할 시 탐색 창 내에 두 물체가 나타난 경우를 나타내었고, 그림 5-(b)에서는 이 경우의 동작 분할된 결과를 보였다. 그림 5-(c)부터 5-(e)까지는 한 차량이 추월해서 나갈 때의 추적 과정을 보이고 있다. 그림 5-(d)에서 두 물체가 겹친 상태로 나타나지만, 패턴 인식 방법에 의해서 그림 5-(e)에서는 다시 정상적으로 추적이 이루어짐을 보여 준다.

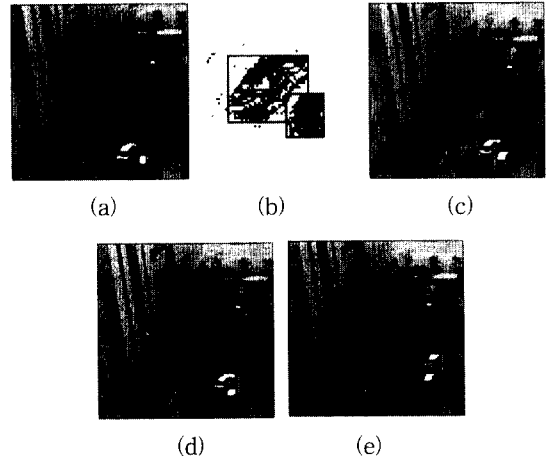


그림 5. 패턴 인식 기법의 사용 결과 (추월하는 경우)
Fig. 5. Results of the pattern recognition method (in outrunning case).

V. 실험 결과

실험에 사용한 영상은 경상 남도 양산 근교에 있는 국도에서 직접 촬영하여 얻었다. 도로 위 쪽에 고정된 비디오 카메라로부터 얻은 영상을 비디오 디지털라이저(video digitizer)를 이용해서 연속 영상으로 저장하였는데, 사용된 비디오 디지털라이저는 CORECO사의 THE OCULUS-F/64 FRAME GRABBER이다.

실험에 사용된 영상은 256×256의 8비트(bit) 그레이 레벨(gray level) 영상으로 본 알고리즘을 수행하였다.

그림 6은 움직이는 3대의 차량을 추적하는 과정을 순차적으로 나타낸 것이다. 새로운 차량이 영상에 나타날 때, 그 차량을 찾아내고 성공적으로 추적하는 과정이 나타나 있다.

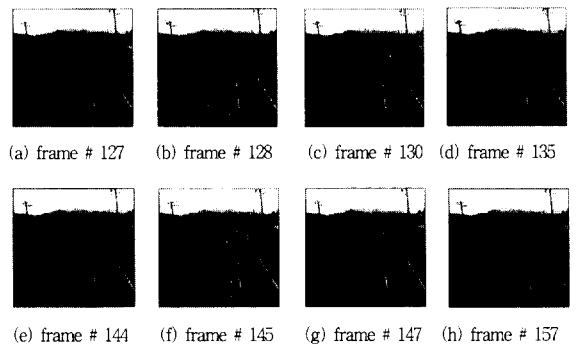


그림 6. 다중 차량 추적 알고리즘 수행 결과
Fig. 6. Results of the multiple vehicle tracking algorithm.

그림 7과 그림 8은 128번째 프레임에서 처음 인식한 차량을 157번째 프레임까지 계속적으로 추적하는 과정에서 나타난 결과이다. 그림 7은 추정된 위치 벡터의 오차를 나타내는데, 오차는 위치 벡터의 추정치 \hat{x}_k 와 실제로 측정되는 측정 벡터 z_k 의 차이값으로 계산하였다. 그림 7에서 보여지듯이, 128번째 프레임에서 추적의 초기화과정이 이루어진 후 칼만 필터가 안정적 상태가 되면서 점차적으로 에러가 줄어들었다. 그림 8은 속도 벡터의 추정치 $\hat{m}_k(+)$ 을 나타내었다. y축 방향의 속도가 음의 값을 가지는 것은 차량이 영상에서 위쪽으로 움직이기 때문이다. 차량이 영상의 위쪽으로 움직여 가면서 크기가 작아지므로, 점차적으로 속도는 0에 가까워진다. 크기 계수 s_k 의 값은 거의 0에 가까운 값을 가진다.

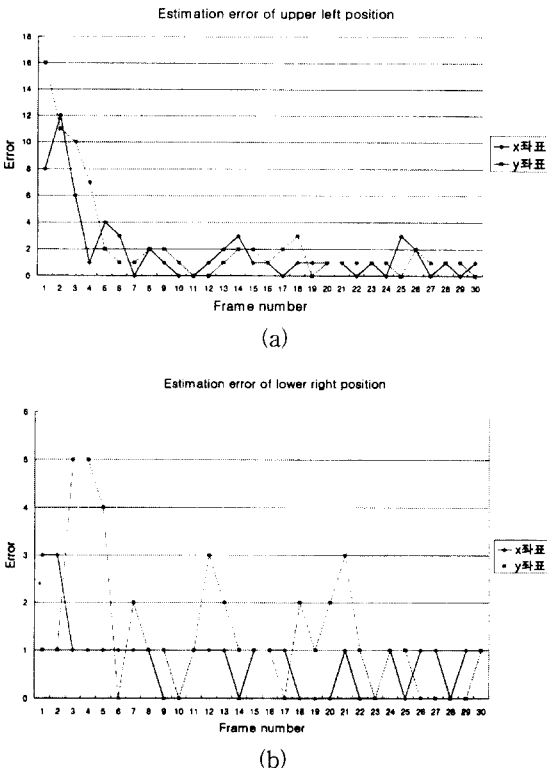


그림 7. 위치 추정 오차 값의 변화 (a) 물체에 외접하는 사각형의 좌측 상단 꼭지점의 위치 추정 오차 (b) 물체에 외접하는 사각형의 우측 하단 꼭지점의 위치 추정 오차

Fig. 7. The evolution of the position estimation error. (a) The position estimation error of the upper left corner of the bounding rectangle (b) The position estimation error of the lower right corner of the bounding rectangle

150MHz의 클럭(clock) 주파수를 가지는 펜티엄 컴퓨터에서 수행 시간을 고려해 보면 3대의 차량을 추적하는데, 프레임 당 0.4초-1초 정도의 시간이 걸렸다. 한 물체를 추적할 때, 보통 프레임당 수초가 걸리는 3-D 모델 기반 추적 알고리즘과 비교해 볼 때 빠른 수행 속도를 가짐을 알 수 있다. 여기서 그래프의 프레임 수 1은 실험 영상 127번째 프레임을 나타낸다.

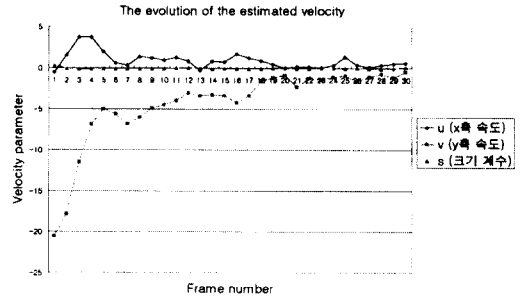


그림 8. 속도 벡터의 추정 값의 변화
Fig. 8. The evolution of the estimated velocity vector.

VI. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 빠른 수행 속도를 가지고 여러 대의 차량을 동시에 추적할 수 있는 다중 차량 추적 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 수행 속도를 빠르게 하기 위해서 다음 프레임에서 물체의 위치를 칼만 필터로 예측해서 동작 분할이 되는 시간을 줄였으며, 다중 물체 추적 시 문제가 되는 데이터 연결 문제를 해결하기 위해서, 추적하고자하는 물체를 제한된 탐색 창 안에서만 탐색하도록 하였고, 또한 패턴 인식 기법을 활용하였다.

제안된 추적 알고리즘을 사용하여 고속 도로 영상에 적용하였을 때 빠른 수행 속도와, 비교적 정확한 추적이 가능함을 보였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘을 바탕으로 DSP칩을 이용해서 하드웨어적으로 시스템을 구현하면, 실시간(real time)처리가 가능한 다중 차량 추적 시스템을 구현할 수 있으리라고 기대된다.

앞으로 연구해야할 과제는 날씨가 조명 등의 주위 환경에 제한을 받지 않는 더 강인한(robust)한 추적 알고리즘을 개발하는 것이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] T. Huang, G. Ogasawara, and S. Russell,

- "Symbolic Traffic Scene Analysis Using Dynamic Belief Networks," in *AAAI Workshop on AI in IVHS*, Washington D.C., 1993.
- [2] D. Koller, K. Daniilidis and H.-H. Nagel, "Model-Based Object Tracking in Monocular Image Sequences of Road Traffic Scenes," *International Journal of Computer Vision* 10:3, 257-281, 1993.
- [3] K. Baker and G. D. Sullivan, "Performance Assessment of Model-based Tracking," *Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 28-35, Palm Springs, CA, 1992.
- [4] R. Deriche and O. D. Faugeras, "Tracking line segments," *Image Vis. Comput.* 8: pp. 261-270, 1990.
- [5] Dieter Koller, Joseph Weber, and Jitendra Malik, "Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning," *Proceedings of the Third European conference on Computer Vision*, vol. 1, pp. 189-199, Stockholm, Sweden, 1994.
- [6] Sylvia Gil, Ruggero Milanese, and Thierry Pun, "Feature selection for object tracking in the traffic scenes," *SPIE International Symposium on Smart Highways*, Boston, Massachusetts, Oct. 31-Nov. 4, 1994.
- [7] Y. Bar-Shalom (ed.), *Multitarget-Multisensor Tracking*, Artech House, Inc, Norwood, MA, 1990.
- [8] Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann, *Tracking and Data Association*, Academic Press: New York.
- [9] B. S. Y. Rao, *Active Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, 1992, chapter6 Data Association Methods for Tracking Systems, pp. 91-105.
- [10] A. Gelb, *Applied Optimal Estimation*, The MIT Press, MA, and London, UK, 1974.
- [11] Michael Kilger, "A Shadow Handler in a Video-based Real-time Traffic Monitoring System," in *IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, Palm Springs, CA, 1992, pp. 1060-1066.
- [12] J. J. Koenderink, "Optic flow," *Visual Research* 26 (1986) 161-180.
- [13] 설성욱, "칼만 필터를 이용한 움직이는 물체의 윤곽선 추적에 관한 연구," 석사학위 논문, 부산대학교, 1998

저 자 소 개



李 哲 憲(正會員)

1989년 2월 부산대학교 전자공학과 학사. 1991년 2월 부산대학교 전자공학과 석사. 1991년 1월 ~ 1998년 2월 대우정밀 기술연구소 선임연구원. 1996년 3월 ~ 현재 부산대학교 박사과정. 1998년 3월 ~ 양산대학 사

무자동화과 전임강사. 주관심분야는 영상처리 및 컴퓨터 비전, 물체추적, 멀티미디어



金 亨 泰(正會員)

1997년 2월 부산대학교 전자공학과 학사. 1999년 2월 부산대학교 전자공학과 석사. 주관심분야는 영상처리 및 컴퓨터 비전, 물체추적



薛 盛 旭(正會員)

1995년 2월 경성대학교 컴퓨터공학과 학사. 1998년 2월 부산대학교 대학원 전자공학과 석사. 1998년 9월 ~ 현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 영상처리 및 컴퓨터 비전, 얼굴 인식, 멀티미디어

어

南 基 坤(正會員) 第 35卷 C編 第 2號 參照

현재 부산대학교 전자공학과 부교수. 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 연구원



李 章 明(正會員)

第 36卷 S編 第 1號 參照

현재 부산대학교 전자공학과 부교수. 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 전자기술 부장