

# 낮은 프레임률 영상에서 파티클 필터의 추적 성능 개선

송종관\*

## Improvement of Tracking Performance of Particle Filter in Low Frame Rate Video

Jong-Kwan Song\*

요 약

파티클 필터는 비선형 비가우시안 추정 문제에 매우 효과적인 수단으로 비디오 영상에서 객체를 추적하는 경우에 널리 이용되어왔다. 하지만 객체의 이동이 심한 경우 객체의 추적을 위해서는 매우 많은 개수의 파티클이 있어야 하므로 계산량이 크게 증가하게 된다.

본 논문에서는 프레임간의 객체 이동이 상당히 크게 이루어지는 low frame rate(LPR) 비디오에서 차량의 추적을 위하여 모션 벡터를 이용한 개선된 파티클 필터 추적 방법을 제안하고 실험을 통하여 성능을 평가하였다. 제안한 파티클 필터에서는 selection 단계와 observe 단계의 두 단계에서 모션 벡터를 적용하였다. 실험 결과 제안한 방법은 LPR 영상에서 기존의 파티클 필터가 객체의 추적에 실패하는 경우에도 성공적 추적이 가능하며, 추적의 정확도 또한 향상되었음을 보여주었다.

### ABSTRACT

Particle filter algorithm has been proven very successful for non-linear and non-Gaussian estimation problem and thus it has been widely used for object tracking for video signals. If the object moves significantly, particle filter needs very large number of particles to track object and this results high computational cost.

In this paper, modified particle filter by adopting motion vector is proposed for tracking vehicle in low frame rate(LPR) video input, which the object moving significantly and randomly between consecutive frames. In the proposed algorithm, motion vector is applied in selection and observe step. The experimental result shows that the proposed particle filter can track vehicle successfully in the case when previous one fails. And it also shows the propose method increases the precision of tracking.

### 키워드

객체 추적, 차량 추적, 파티클 필터, 지능형 영상 시스템  
Object Tracking, Vehicle Tracking, Particle Filter, Intelligent Video System

### 1. 서 론

비디오 영상에서의 객체 추적은 컴퓨터 비전 영역에서 최근 각광을 받고 있는 영상 감시(video sur-

veillance)[1-3], HCI(Human computer interface)[4, 5] 등의 분야에서 매우 중요한 기술이다. 또한 응용 분야가 보안 감시 장치[6], 의료 영상 분석과 같은 전문분야부터 비디오 게임장치, 증강 현실, 디지털 카메라,

\* 교신저자(corresponding author) : 경성대학교 전자공학과(jsong@ks.ac.kr)

접수일자 : 2013. 11. 11

심사(수정)일자 : 2014. 01. 21

게재확정일자 : 2014. 02. 11

스마트폰 응용 등 광범위한 분야로 확대되고 있다. 비디오 영상에서 객체 추적 시스템에 적용되는 기법은 Mean Shift, 파티클 필터(Particle filter)[7-10], 칼만 필터(Kalman filter) 등이 있는데, 비전 기반의 추적 시스템에는 유사한 물체가 있는 상황에서도 확률 분포를 비교적 잘 추적할 수 있는 파티클 필터가 성공적으로 적용되어왔다[9].

낮은 프레임율(LFR: low frame rate) 비디오에서 추적 문제는 임베디드 시스템 구현, 온라인 실시간 시스템 등의 최근의 실시간 응용분야에서 필요한 현실적 요구사항이다[10]. 이러한 LPR 환경에서는 객체의 급격한 이동이 발생하기도 하며 배경의 변화 또한 상대적으로 크게 발생하므로 객체를 안정적으로 추적하는 것이 매우 어렵게 된다.

본 논문에서는 LPR 영상에서 차량 추적을 위하여 모션벡터를 적용한 파티클 필터를 제안하고 그 추적 성능을 실험을 통하여 관찰하였다. 2장에서는 기존의 파티클 필터를 이용한 객체 추적 방법에 대하여 살펴보고 파티클 필터에 모션 벡터를 적용하는 방법을 설명하였다. 3장에서는 제안된 방법을 사용하여 LPR 영상에서 차량 추적 성능을 평가하였다.

## II. 차량 추적 방법

### 2.1 파티클 필터

파티클 필터는 베이지 필터에 기반한 비선형 기법으로 객체의 움직임을 추적하여 파티클의 분포로 나타낸다[11-14]. 그림 1은 파티클 필터 방식의 순서를 나타낸 것으로 4단계로 이루어져 있으며 일반적으로 한 프레임의 영상에서 그림 1의 4단계가 한번씩 수행된다. 파티클 필터의 핵심은 확률분포를 관측으로부터 주어지는 가중치를 가지는  $N$  개의 샘플  $S = \{(\mathbf{s}^{(n)}, \pi_c^{(n)}) | n = 1, \dots, N\}$ 로 근사화 하는데 있다. 여기서 이산 확률  $\pi_c^{(n)}$ 은 각 샘플의 확률을 의미하며,  $\mathbf{s}^{(n)}$ 은 각 샘플의 상태를 나타내는 벡터로 샘플의 위치와 크기 정보를 갖는다.

이와 같은 확률로 선택되어진 각 샘플들은 전파(propagate)과정을 통하여 변화된다. 이렇게 구해진 샘플들에 대하여 관측  $\pi_c^{(n)}$ 을 구하고 이를 이용하여 아래의 식으로 주어지는 추정(estimate)단계에서 결정

된다[13].

$$E[S] = \sum_{n=1}^N \pi_c^{(n)} \mathbf{s}^{(n)} \quad (1)$$

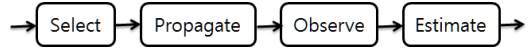


그림 1. 파티클 필터 추적 과정  
Fig. 1 Four stage of particle filter tracking

Observe 단계에서는 각 샘플에서 타겟과 유사한 정도를 구하는 관측 확률을 측정하고, 그에 따른 가중치를 부여한다. 각 샘플에 대한 가중치 산출에는 수식 (2)과 같은 가우시안 형태의 함수를 사용한다.

$$\pi_c^{(n)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-d_c^2/2\sigma^2}, n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 샘플수이고  $\sigma_c$ 는 가우시안의 표준편차이며,  $d_c$ 는 Bhattacharyya distance[15, 16]로 다음과 같이 주어진다.

$$d_c = \sqrt{1 - \rho(p, q)} \quad (3)$$

여기서  $\rho(p, q)$ 는 Bhattacharyya 계수로 샘플과 타겟의 특징함수인  $p(u)$ 와  $q(u)$ 로부터 다음과 같이 주어진다.

$$\rho(p, q) = \sum_u \sqrt{p(u)q(u)} \quad (4)$$

본 논문에서는 특징함수로 컬러 히스토그램을 사용하였다. 영상에서 컬러 정보는 조도변화와 자세의 변화에 매우 강건(robust)한 특성을 가지므로 광범위하게 이용되어왔다. 본 논문에서는 파티클 필터에 일반적으로 사용하는 RGB 히스토그램을 대신하여 HSV 컬러 히스토그램을 적용하였다. 또한 조도변화에 대한 강건한 특성을 갖도록 하기 위하여 각 컬러 값에 대하여  $8 \times 8 \times 4$  bin을 할당하여 V 값 변화가 H와 S 값의 변화보다 덜 민감하도록 하였다.

컬러 히스토그램은 각 샘플과 타겟의 중심에서 장단축이  $2H_x$ 와  $2H_y$ 로 주어지는 타원에 대하여 구한다. 중심에서 멀어질수록 타겟의 테이더가 아니라 배

경의 데이터일 확률이 높으므로 컬러 히스토그램의 신뢰도 향상을 위하여 중심에서 멀어질수록 아래의 식에서와 같이 가중치를 낮게 적용한다.

$$k(r) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2, & r < a \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $r$ 은 타겟 또는 샘플의 중심으로 부터의 거리이며, 이 때  $a = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ 이다. 따라서 중심에서 가까운 영역의 정보가 보다 중요하게 영향을 미치게 된다. 식 (4)의  $p(u)$ 와  $q(u)$ 는 이와 같은 과정을 통하여 구해지게 되며 다음과 같이 정규화 과정을 거친다.

$$\sum_u p(u) = 1, \quad \sum_u q(u) = 1 \quad (6)$$

본 논문에서 각 샘플의 상태를 나타내기 위하여  $\mathbf{s}^{(n)}$ 을 다음과 같이 정의하였다.

$$\mathbf{s}^{(n)} = \{x, y, H_x, H_y\} \quad (7)$$

여기서  $x$ 와  $y$ 는 샘플의 위치를 나타내며,  $H_x$ 와  $H_y$ 는 샘플의 크기를 나타낸다.

## 2.2. 모션 벡터를 이용한 파티클 필터

각 프레임에서 모션 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{\mathbf{v}} = \{\bar{v}_x, \bar{v}_y\} = \{x - x', y - y'\} \quad (8)$$

여기서  $x, y$ 는 현재 프레임에서 추정된 객체의 위치이며  $x', y'$ 은 앞 프레임에서 추정된 객체의 위치이다. 식 (8)로 주어지는 모션 벡터의 정확도는 객체 추적의 정확도에 따라 달라진다. LPR 영상이나 가려짐이 발생하는 영상 등에서는 적어도 일시적으로 객체 위치의 부정확성이 나타나고 이는 바로 모션 벡터의 부정확성으로 이어지게 된다. 따라서 차량 추적과 같이 객체의 이동이 비교적 연속성이 큰 경우에는 다음의 방법을 이용하여 모션 벡터의 부정확성을 줄이는 것이 필요하다.

$$\mathbf{v}^t = \{v_x^t, v_y^t\} = \alpha \mathbf{v}^{t-1} + (1 - \alpha) \bar{\mathbf{v}}^t \quad (9)$$

여기서  $\bar{\mathbf{v}}^t$ 는  $t$  프레임에서 식(8)로부터 주어지는 관측 모션벡터(observed motion vector)이며,  $\mathbf{v}^t$ 과  $\mathbf{v}^{t-1}$ 는 각각 관측된 모션벡터로부터 추정된  $t$ 번째 프레임과  $t-1$ 번째 프레임의 추정 모션벡터(estimated motion vector)이다.

추정된 모션벡터를 이용하여 LPR 영상에서 효과적으로 객체추적을 위한 파티클 필터를 구성할 수 있다. 모션 벡터는 selection 단계와 observe 단계에서 적용된다. 첫 번째 selection 단계에서 모션 벡터의 적용은 식 (2)로 주어지는 pdf를 가지는  $N$ 개의 랜덤 샘플을 선택하는 기존의 파티클 필터의 결과에서 추정된 모션 벡터  $\mathbf{v}$ 를 적용하여 이루어진다. 따라서 모션 벡터를 적용한 각 샘플은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{s} = \{x + v_x, y + v_y, H_x, H_y\} \quad (10)$$

두 번째 observe 단계에서 모션 벡터의 적용은 추정된 모션 벡터와 각 샘플의 모션 벡터의 차이를 이용하여 이루어진다.

$$d_v = \sqrt{(v_x - v'_x)^2 + (v_y - v'_y)^2} \quad (11)$$

여기서  $v'_x$ 와  $v'_y$ 는 각 샘플의 모션벡터이다. 모션 벡터에 대한 우도 모델(likelihood model)은 다음과 같다.

$$\pi_v = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v^2}} e^{-d_v^2/2\sigma_v^2} \quad (12)$$

여기서  $\sigma_v$ 는 모션벡터에 대한 가우시안 우도 모델의 표준편차이다.

최종 우도 모델은 (2)와 (12)를 결합하여 다음과 같이 주어진다[17].

$$\pi_t = \pi_c \pi_v \quad (13)$$

## III. 실험 및 결과검토

실험에 사용된 영상은 크기가 720x240픽셀이며 10 frame/sec의 규격을 가지는 부산에 위치한 광안대교

에서의 영상이다. 이 영상은 조도의 변화가 상당히 있으며, 다리 위라는 위치의 특성으로 영상의 흔들림이 있고 가로등에 의하여 객체의 가려짐 또한 발생되고 있어 객체의 추적이 쉽지 않은 예의 하나로 볼 수 있다. 제안된 방법과 기존의 방법을 PC 상에서 OpenCV API를 이용하여 구현하고 그 결과를 비교하였다. 실험에서는 샘플수  $N=100$ 을 사용 하였으며 컬러 히스토그램은 HSV 색공간에서 256 bin(8x8x4)을 사용하였다. 그림 2에 그 결과를 보였다. 그림에서 보듯이 기존의 방법은 40프레임에서 50프레임 사이에서 겹침이 발생하며 이로 인하여 객체 추적이 실패하고 있음을 볼 수 있다. 반면 제안한 방법은 객체가 영상의 끝에 도달하는 70프레임까지 추적이 되고 있어 보다 강건한 특성을 가짐을 알 수 있다.



10th frame



20th frame



30th frame



40th frame



50th frame



60th frame



70th frame

그림 2. 차량 추적 결과 영상  
Fig. 2 Vehicle tracking results

그림 3에서는 추적된 차량의 좌표를 보였다. 점선으로 표시된 결과는 기존의 파티클 필터의 결과이며, 실선으로 표시된 결과는 제안된 방식을 적용한 결과이다. 이 결과에서 제안된 방식의 추적 궤도가 기존방식에 비하여 완만하게 변하고 있어 보다 실제 상황을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

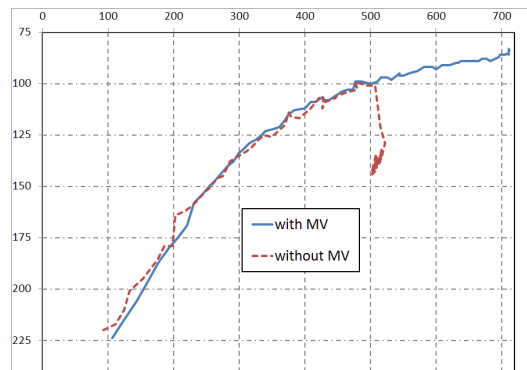


그림 3. 차량 추적 위치 변화  
Fig. 3 Tracked position of a vehicle

#### IV. 결론

본 논문에서는 기존의 파티클 필터에 모션벡터를 제안하고, 실험을 통하여 LFR 영상에서 제안된 추적 방식의 성능을 살펴보았다. 실험의 결과는 기존의 파티클 필터가 추적이 실패하는 경우에도 성공적으로 차량의 추적이 가능할 수 있으며, 추적의 정확성 또한 향상됨을 보여 주었다.

제안된 방식이 모든 응용 영역에서 효율적으로 적용되지 않는 것으로 보이지만 LPR 환경의 차량 추적과 같은 운동의 연속성이 큰 영상의 객체 추적에는 효율적으로 적용될 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### 참고 문헌

- [1] M. Greiffenhagen, V. Ramesh, D. Comaniciu, and H. Niemann, "Statistical Modeling and Performance Characterization of a Real-Time Dual Camera Surveillance System," In *Proc. of IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 2000, pp. 335-342.
- [2] B. Menser and M. Brünig, "Face Detection and Tracking for Video Coding Applications," *Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers*, 2000, pp. 49-53.
- [3] J. Segen and S. Pingali, "A Camera-Based System for Tracking People in Real Time," In *Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition*, 1996, pp. 63-67.
- [4] M. Black and A. Jepson, "A Probabilistic Framework for Matching Temporal Trajectories: Condensation-Based Recognition of Gestures and Expressions," In *Proc. of European Conf. on Computer Vision*, 1998, pp. 909-924.
- [5] I.-S. Kim and H. Shin, "A Study on Development of Intelligent CCTV Security System Based on BIM," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, 2011, pp. 789-795.
- [6] P. M. Djuric, J. H. Kotecha, J. Zhang, Y. Huang, T. Ghirmai, M.F. Bugallo, and J. Miguez, "Particle Filtering," *IEEE Signal Processing Mag.*, 2003, pp. 1053-5888.
- [7] M. Z. Islam, C. M. Oh, and C. W. Lee, "Video Based Moving Object Tracking by Particle Filter," *Int. J. of Signal Processing, Image Processing and Pattern*, vol. 2, no. 1, Mar. 2009.
- [8] S. Noh, T. Kim, N. Ko, and Y. Bae, "Particle filter for correction of GPS location data of a mobile robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 381-389.
- [9] Z. Zhu, X. Lu, and Y. Xiong, "Vehicle tracking by integrating motion vector estimation with particle filter," In *Proc. of the 2012 5th Int. Conf. on Image and Signal Processing*, Oct. 2012, pp. 133-137.
- [10] Z. Tao, F. Shumin, and W. Lili, "Particle filter tracking in low frame rate video," In *Proc. of the 30th Chinese Control Conf.*, July 2011, pp. 3254-3259.
- [11] M. Isard and A. Blake, "Contour Tracking by Stochastic Propagation of Conditional Density," In *Proc. of European Conf. on Computer Vision*, 1996, pp. 343-356.
- [12] M. Isard and A. Blake, "CONDENSATION - Conditional Density Propagation for Visual Tracking," *Int. J. on Computer Vision* vol. 29, no. 1, 1998, pp. 5-28.
- [13] K. Nummiaro, E. Koller-Meier, and L.V. Gool, "A color-based particle filter," In *Proc. of 1st Int. workshop on generative-model-based vision*, 2002, pp. 53-60.
- [14] N. Bouaynaya, W. Qu, and D. Schonfeld, "An Online Motion-Based Particle Filter For Head Tracking Applications," *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Mar. 2005, pp. 18-23.
- [15] F. Aherne, N. Thacker, and P. Rockett, "The Bhattacharyya Metric as an Absolute Similarity Measure for Frequency Coded Data," *Kybernetika*, vol. 34, no. 4, 1998, pp. 363-368.
- [16] T. Kailath, "The Divergence and Bhattacharyya Distance Measures in Signal Sele-

ction," *IEEE Trans. Communication Technology*, vol. 15, no. 1, 1967, pp. 52-60.

- [17] Y. Jia and W. Qu, "Real-Time Integrated Multi-Object Detection and Tracking in Video Sequences Using Detection and Mean Shift Based Particle Filters," In *Proc. of IEEE 2nd Symp. on Web Society(SWS)*, Aug. 2010, pp. 738-743.

### 저자 소개



#### **송종관(Jong-Kwan Song)**

1989년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학 석사)

1995년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학 박사)

1995년~1997년 한국이동통신 중앙연구소 선임연구원으로 근무

1997년~현재 경성대학교 전자공학과 교수로 재직

※ 관심분야 : 통신, 영상처리 등