

다중센서 융합과 배경 추정을 이용한 물체 영역 검출

조주현, 최해철, 이진성, 신호철, 김성대
한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공

Object Region Detection using Multi-Sensor Fusion and Background Estimation

J.H. Cho, H.C. Choi, J.S. Lee, H.C. Shin, S.D. Kim
Division of Electrical Engineering & Computer Science, Dept. of Electrical Eng, KAIST
mainkill@sdvision.kaist.ac.kr

요약

본 논문에서는 센서 융합과 배경 추정 기법을 이용하여 연속된 영상에서 물체 영역을 검출하는 기법을 제안하였다. IR/CCD 각각의 카메라로부터 얻은 입력 영상을 정렬하고 융합하는 과정을 거친 후, 각 화소 단위의 배경 모델을 추정하고 시간이 지남에 따라 이를 갱신 함으로써 물체 영역을 효과적으로 검출하는 기법을 제시하고 있다. 실험은 차량을 대상으로 하였고, 카메라가 움직이는 상황과 비교적 복잡한 환경에서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 서론

동영상에서 물체 영역을 검출하는 기법은 화상 감시 시스템등과 같은 특정 응용분야에서 많이 사용되고 있다. 특히 군용 감시 시스템에서는 주간 뿐 아니라 야간에도 감시 활동을 하기 위하여 적외선 카메라가 많이 이용되고 있다. 하지만, 일반 컬러 영상(CCD image)보다 잡음이 심한 적외선 영상(IR image)을 다루기 때문에 물체 영역의 검출과 인식에 대한 성능면에서 매우 나쁜 결과를 보여 준다. 이와 같은 문제점은 적외선 영상과 컬러 영상의 특징을 함께 고려한 영상 융합을 통하여 해결할 수 있다. 융합에는 크게 결정 단계(decision level)에서의 융합과 특징 추출단계(feature level)에서의 융합이 있는데, 많은 연구결과가 후자의 성능이 더 뛰어난 것을 증명해 주고 있다.[1] 따라서 본 논문에서도 후자의 방법을 선택하였다.

물체 영역 검출에 사용되는 많은 기법들 가운데 배경 추정을 통한 기법을 본 논문에서 사용하고 있는 이유는, 이 기법이 다른 기법에 비해 조도 변화에 강인하고 물체의 속도

에 민감하지 않기 때문이다.[3][4][5][6] 또한 검출 성능에 비해 처리 속도도 비교적 빠르고 별도의 영역 분할(segmentation) 기법을 적용하지 않아도 어느 정도의 효과를 볼 수 있다는 것이 장점이다. 하지만, 화소 단위로 처리를 하기 때문에 임의의 잡음에 강인하지 못한 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 이를 극복하기 위하여 잡음 제거 필터를 사용할 뿐만 아니라, 배경 모델을 갱신할 때 두 개의 임계값을 사용하고 각 영역에 서로 다른 적응률(adaptation rate)을 적용하는 방법을 사용하고 있다.

2 장에서는 전체적인 시스템의 개요를 간단히 설명하고 있다. 3 장에서는 두 영상의 합성을 통한 배경 추정 기법을 사용하여 물체 영역을 검출하는 방법을 제시하고 있으며, 4 장에서는 제안한 기법을 이용한 실험 결과를 보여주고 있다. 마지막으로 5 장에서는 결론 및 향후과제에 대해 언급하고 있다.

2. 전체 시스템의 개요

전체 시스템의 동작 원리는 그림 1과 같다. 먼저, IR/CCD 각각의 카메라로부터 적외선 영상과 컬러 영상을 얻는다. 이 때, 시간상의 동기를 맞추기 위하여 쿼드보드(quad board)를 사용하여 영상을 획득한다. 획득한 두 영상을 융합하기 위해서는 영상의 정렬이 선행되어야 하는데, 기존의 논문에 소개되고 있는 기법들이 처리 속도와 정렬 결과에 대해 만족할만한 성과를 내지 못하기 때문에 카메라의 미세 조정과 수작업을 통하여 영상을 정렬하였다.[2] 이렇게 해서 정렬된 두 영상을 융합하고 각 화소 단위의 배경 추정 기법을 거친 후 배경 잡음을 제거하여 최종적으로 물체 영역을 검출하게 된다. 이 때, 그림 2와 같이 하나의 팬/틸트 드라이버(pan/tilt driver) 위에 놓인 두 대의 카메라가 물체

를 추적하기 위하여 움직이게 되면, 전역 움직임을 추정하고 이를 이용하여 배경 모델의 정합을 한다. 즉, 현재 영상에서 이전에도 존재했던 부분에 대해서는 이전에 사용되었던 배경 모델을 그대로 사용하고, 새롭게 나타난 영역에 대해서는 배경 모델을 초기화하여 계속해서 물체 영역을 검출하게 된다. 이와 같이, 본 논문에서는 계산상의 이득을 보기 위하여 카메라의 움직임이 있는 경우에만 전역 움직임을 추정하고 이를 이용하는 방법을 택했다. 여기서, 물체의 활동 영역 주변으로 커다란 배경 모델을 구성하게 되면 반복적인 카메라의 움직임에 대하여 효과적으로 물체 영역을 검출하게 할 수도 있다.

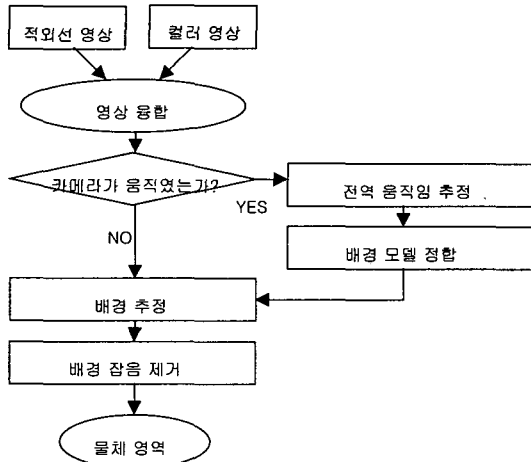


그림 1. 전체 시스템의 동작 원리

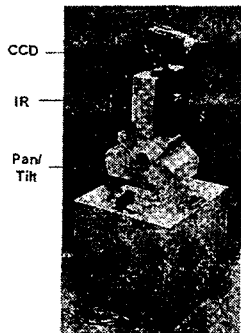


그림 2. IR/CCD 카메라 시스템

3. 배경 추정을 통한 물체 영역 검출 기법

3.1 정합된 영상의 배경 모델

적외선 영상과 컬러 영상을 합성하여 각 화소 단위로 다음과 같은 확률 벡터 (random vector) X 를 구성할 수 있다. 이때 X 는 다변수 정규분포(multivariate normal distribution)를 따른다고 가정한다. X 의 각 성분은 적외선 영상의 밝기 값과 컬러 영상의 각각의 성분의 밝기 값을 나타낸다.

$$\eta(X, \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-1/2(X-\mu)^T \Sigma^{-1} (X-\mu)} \quad (1)$$

$$n = 4$$

$$X = [x_{IR} \quad x_R \quad x_G \quad x_B]^T$$

$$\mu = [\mu_{IR} \quad \mu_R \quad \mu_G \quad \mu_B]^T$$

$$\sigma^2 = \begin{bmatrix} \sigma_{IR}^2 & \sigma_R^2 & \sigma_G^2 & \sigma_B^2 \\ \sigma_{IR}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_R^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_G^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_B^2 \end{bmatrix}$$

위의 식에서 공분산 행렬에 대해서는 X 의 각 성분이 확률적으로 독립이라는 가정을 하여 역행렬을 구하는 데 있어 계산량을 줄였다.

3.2 배경 모델 초기화

배경 모델의 초기화는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째 방법은, 만약 물체가 존재하지 않는 연속된 배경 영상을 가지고 있다면 이를 사용하여 평균 벡터와 분산 벡터를 구할 수 있고 이를 초기값으로 사용할 수 있다. 이렇게 되면 물체가 화면 내에 출현하는 순간부터 물체 영역을 빠르게 찾을 수 있다는 장점이 있다. 다른 방법은 일반적으로 배경 영상을 가지고 있지 않을 때 사용하는 방법으로 평균과 분산에 큰 값을 할당하고 시간이 지남에 따라 분산이 매우 작은 값으로 수렴하는 형태를 취하게 된다. 본 논문에서는 다음과 같이 초기값을 할당하였다.

$$\mu = [128 \quad 128 \quad 128 \quad 128]^T \quad (2)$$

$$\sigma = [128 \quad 128 \quad 128 \quad 128]^T$$

3.3 배경 추정을 통한 물체 영역 검출

앞에서 정의한 확률 모델에서 $[X-\mu]^T \Sigma^{-1} [X-\mu]^T$ 이 χ^2 확률분포를 따른다는 사실에 기인하여, 현재 영상으로부터 얻은 확률 벡터 X 가 배경 영역에 속할 확률은 자유도가 4인 χ^2 확률분포표를 이용하여 추정할 수 있다.[8][9] 본 논문에서는 X 가 배경 영역에 속할 확률이 약 99%가 될 때 즉, 아래의 식에서 $\gamma=13.277$ 일 경우에 이를 배경 영역으로 추정하였다.

$$p(X \in \text{Background}) = p([X-\mu]^T \Sigma^{-1} [X-\mu] \leq \gamma) \quad (3)$$

$$X \in \text{Background if } [X-\mu]^T \Sigma^{-1} [X-\mu] \leq 13.277$$

위의 식을 이용하여 현재 영상 전체에 대해 물체 영역을 검출하게 되면 반점(spot)들이 검출된 영역에 존재하게 된다. 이는 잡음으로 인한 결과와 공간상의 상호 연관성을 고려하지 않은 결과이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 검출된 영역을 중간값 필터(median filter)에 통과시킨다. 그 후 각 영역을 구분(labeling)하여 크기가 작은 영역을 제거하는 방법을 사용하였다.

이렇게 해서 최종적으로 X 가 배경 영역에 속하면 배경 모델의 평균 벡터와 분산 벡터를 갱신하게 되고, 그렇지 않으면 이전의 모델을 그대로 사용하게 된다.

3.4 배경 모델의 갱신

배경 영역에 속하는 화소 X 에 대한 모델을 갱신함에 있어, 각 성분별로 약간 다른 갱신 방법을 선택하였다. 이렇게 하는 이유는 적외선 영상과 컬러 영상의 특징을 충분히 고려하여 이를 X 의 모델 갱신에 반영하기 위함이다. 우선, 각 성분의 배경 모델의 평균과 분산을 갱신하기 위하여 먼저 다음과 같은 가중치를 갖는 누적 함수(weighted accumulation function)를 정의한다.

$$\hat{x}_i = \phi(\hat{x}_{i-1}, x_i, \tau) = x_i(1 - e^{-1/\tau}) + \hat{x}_{i-1}e^{-1/\tau}$$

\hat{x}_i : 현재의 추정값

\hat{x}_{i-1} : 과거의 추정값

x_i : 현재의 입력값

$1/\tau$: 적응률

즉, 현재 추정값은 과거 추정값과 현재 입력값의 가중치를 고려한 합(weighted sum)으로 표현된다. 가중치를 고려할 때, 적응률 $1/\tau$ 를 도입하여 적응률이 작으면 갱신할 때 과거의 경향을 크게 고려하게 되고, 크면 현재 입력값에 더 큰 가중치를 할당하게 된다. 즉, 적응률이 작으면 보다 많은 과거의 정보를 이용하여 정확한 검출을 할 수 있는 반면, 빠른 검출을 할 수 없다. 본 논문에서는 매개변수 조정(parameter tuning)을 통하여 $\tau=5$ 로 결정하였다. 이를 이용하여 다음과 같이 모델의 평균과 분산을 갱신한다.

$$\mu_i = \phi(\mu_{i-1}, x_i, \tau)$$

$$v_i = \phi(v_{i-1}, x_i^2, \tau)$$

$$\sigma_i^2 = v_i - \mu_i^2$$

한편, 배경 모델을 갱신하는 데 있어서 적외선 영상에 대해 하나의 가정을 할 수 있다. 즉, 물체 영역의 밝기값이 배경 영역의 밝기값보다 크다는 가정을 한다면, 초기의 입력 영상에서 물체가 오랫동안 한 곳에 머물러 있을 경우에 대해서도 모델의 분산 값이 수렴한 상태로 머물러 않고 다시 갱신되게 할 수 있다. 즉, 정지된 물체가 있던 화소의 모델 평균이 매우 큰 반면 분산이 작은 상태로 남아 있게 되면 물체가 움직일 경우 배경 영역이 노출(uncovered)됨에 따라 그 화소를 물체 영역이라고 결정하게 되는 오류를 피할 수 있다.

마지막으로, X 의 각 성분의 평균과 분산을 갱신함에 있어 적외선 영상에 대해서는 두 개의 임계값을 사용하여 영역을 세분화 하였고, 각 영역에 다른 적응률을 적용함으로써 효과적인 갱신 방법을 제안하였다.

지금까지 설명한 갱신 방법을 그림 3에서 자세히 나타내었다. 이 때, 앞에서 언급한 것처럼 컬러 영상에는 적용할 수 없는 가정을 적외선 영상에 적용하였다. 즉 그림 4의 우측 모델의 갱신에 있어서 영역 1의 경우 밝기값이 매우 작은 화소는 배경 영역에 속한다고 판단하고 큰 적응률을 적용하여 현재값에 큰 가중치를 주었다. 한편 영역 2와 영역 4의 경우는 잡음의 영향으로 판단되는 화소에 대한 것으로 영역 2는 배경 영역에, 영역 4는 물체 영역에 더 가까우므로 각각 가장 큰 적응률($4/\tau$)과 가장 작은 적응률(0)을 적용하

였다. 이렇게 함으로써 검출 성능에 대한 잡음의 영향을 줄이는 효과를 가져올 수 있었다.

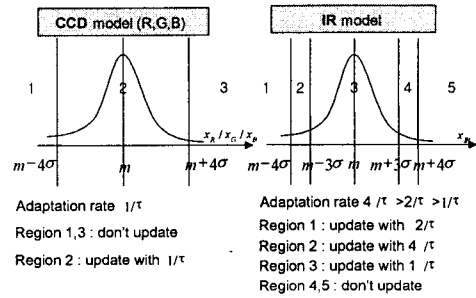
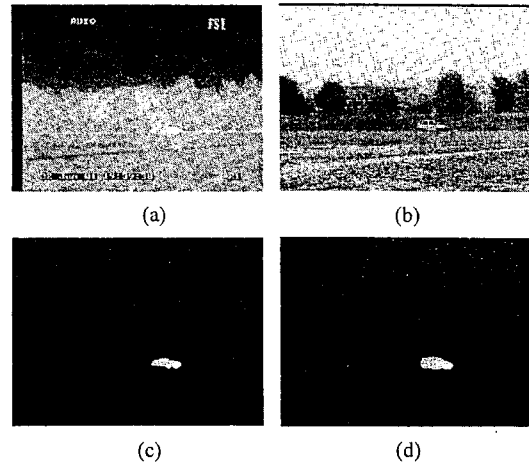


그림 3. 적외선/컬러 성분의 배경 모델 갱신

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 기법을 그림 2와 같은 카메라 시스템으로부터 얻은 영상에 적용한 결과를 그림 4,5,6에 나타내었다.

그림 4는 물체 영역 뿐 아니라 배경 영역의 온도가 꽤 높은 주간 촬영한 영상에 대해 제안한 기법을 적용하여 향상된 검출 결과를 보여주고 있다. 이것은 적외선 영상만을 사용하는 것보다 영상 융합을 통해 컬러정보를 함께 이용함으로써 얻어진 결과이다.



a) 적외선 영상 b) 컬러 영상
c) 적외선 영상만을 사용한 검출 결과
d) 융합을 사용한 검출 결과

그림 4. 영상 융합 여부에 따른 검출 결과

그림 5는 카메라가 움직이는 경우 전역 움직임의 추정을 이용한 검출 결과이다. 카메라가 움직이는 상황에도 제안한 기법을 이용한 검출 결과가 비교적 좋은 것을 확인할 수 있다.

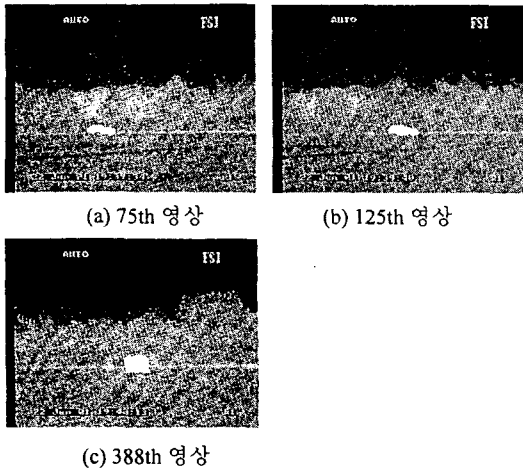


그림 5. 카메라가 움직이는 상황에서의 검출 결과

그림 6은 비교적 복잡한 환경에서 크기가 작은 물체 영역이 많은 야간에 얻은 영상에 제안한 기법을 적용한 검출 결과이다. 이와 같은 경우에도 좋은 검출 결과를 얻을 수 있었다.

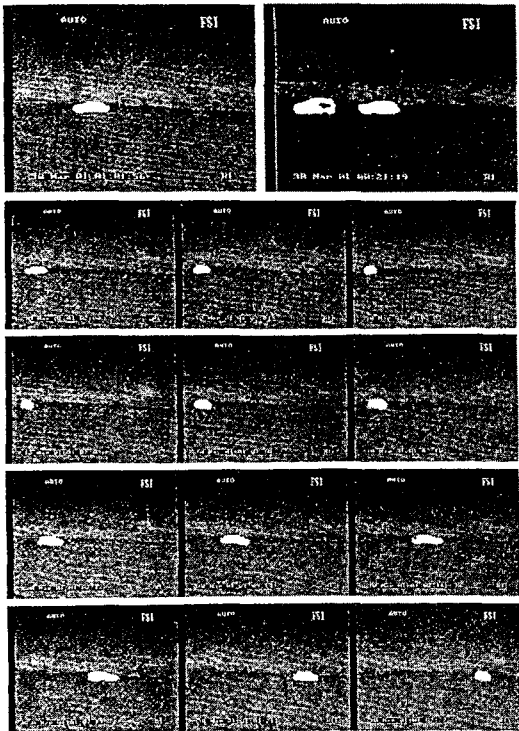


그림 6. 복잡한 환경에서의 검출 결과

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 적외선 영상과 컬러 영상의 융합을 통한 각 화소 단위의 배경 모델을 추정하고, 시간이 지남에 따라

이를 갱신함으로써 물체 영역을 검출하는 기법을 제시하였다. 이 때, 모델의 갱신에 있어 각 영상의 특성에 따른 효과적인 갱신 방법을 제안하여 검출 결과를 향상시켰다.

향후 과제로는 비교적 빠르고 정확한 영상 정렬과 융합에 관한 기법을 개발하여 검출 성능을 높이고 높은 수준의 영역 분할 효과까지 고려한 연구가 필요하다. 한편, 본 논문에서는 물체가 카메라의 시야에서 벗어날 경우 물체를 영상의 중심에 두기 위하여 카메라를 움직이는 기법을 사용하였는데 이에 대한 연구가 더 진행되어야 한다. 즉, 물체 영역의 검출 뿐 아니라 물체의 인식에 따른 중요도 할당에 기반을 둔 물체의 추적 기법에 관한 연구가 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] Ajith H. Gunatilaka, Brian A. Baertlein, " Feature-Level and Decision-Level Fusion of Noncoincidentally Sampled Sensors for Land Mine Detection", IEEE Trans. on PAMI, VOL. 23, NO. 6, JUNE 2001
- [2] Michal Irani, P. Anandan, " Robust Multi-Sensor Image Alignment", Computer Vision 6th International Conference, p.959-966, 1988
- [3] Stefan Huwer, Heinrich Niemann, " Adaptive Change Detection for Real-Time Surveillance Applications", Visual Surveillance Proceedings, p.37-46, 2000
- [4] Chris Stauffer, W.E.L. Grimson, " Adaptive background mixture models for real-time tracking", CVPR, 1999 - 252 VOL. 2
- [5] Kentaro Toyama, John Krumm, Barry Brumitt, Brian Meyers, " Wallflower: Principles and Practice of Background Maintenance", Computer Vision Proceedings, VOL 1, p.255-261, 1999
- [6] M.Boninsegna, A. Bozzoli, " A tunable algorithm to update a reference image", Signal Processing: Image Communication 16 p.353-365, 2000
- [7] J.S. Lee, H.C. Lee, S.D. Kim, " Target Detection and Tracking Algorithm Using Moving Region Detection in FLIR Sequences" The Acoustical Society of KOREA, p.185-189, 1999
- [8] INGEMAR J. COX, " A Review of Statistical Data Association Techniques for Motion Correspondence", IJCV, 10:1, p.53-66, 1993
- [9] Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stork, " PATTERN CLASSIFICATION", A Wiley-Interscience Publication, Second Edition