

움직임 보상한 방사상 표현 기반 실시간 객체 추적

라정중, 서경석, 최흥문
경북대학교 전자공학과
e-mail: jjra@pdplab.knu.ac.kr

Motion-compensated Radial Representation-based Real-Time Object Tracking

Jeong-Jung Ra, Kyung-Seok Seo, Heung-Moon Choi
Dept. of Electronics, Kyungpook National University

요 약

객체 중심점에서 움직임을 추정하고 보상하여 빠르게 움직이는 객체의 윤곽선을 실시간으로 추적 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 방사상 표현 (radial representation) 방식을 적용하여 객체 중심점에서만 블록정합 (block matching) 알고리즘으로 움직임을 추정하고 보상하여 적은 계산량으로 객체 움직임을 추정하고 보상함으로써 객체 윤곽선을 실시간으로 추적하였다. 에너지 수렴 과정에서 기울기 영상과 차영상 (differential image)을 에너지 함수로 함께 사용함으로써 배경 잡영 등에도 강건하도록 하였다. 실험 결과 움직임이 빠른 객체와 배경 잡영 속의 객체도 실시간으로 강건하게 추적함을 확인하였다.

1. 서론

실시간 객체 추적은 최근 HCI (human computer interaction), 감시 시스템, 무인 자동차 시스템, 서비스 로봇 등의 시각 시스템에서 활발히 연구되고 있다 [1]. 기존의 객체 추적 방법은 움직임 기반법 (motion-based method)과 모델 기반법 (model-based method)으로 대분할 수 있다. 움직임 기반법은 상대적으로 연산 속도가 빠르지만 비강성 (non-rigid) 객체의 추적에는 어려움이 있다. 비강성 객체 추적에 용이한 모델 기반법은 다시 그 모델을 설정하는 방식에 따라 영역 기반법 (region-based method) [2]과 윤곽선 기반법 (contour-based method) [3-6]으로 나눌 수 있다.

영역 기반법은 배경 영상과 입력 영상의 차영상으로부터 객체를 검출하는 방법으로서 객체의 형태가 프레임 간에 유지되어야 한다는 제약성이 있다. 한편, 윤곽선 기반법은 물체의 윤곽선을 추출하고, 그것을 동적으로 갱신하면서 추적하는 방법으로 영역 기반법에 비해 계산 복잡도가 낮고 객체의 모양 및

움직임에 관계없이 객체를 추적할 수 있어서 최근 널리 연구되고 있다.

국부 최적화 방식의 그리디 스네이크 (greedy snakes) [7]를 윤곽선 추출에 적용하여 객체를 추적하는 방법의 경우 [4]는 객체의 윤곽선 부근의 적은 영역의 정보만 처리하기 때문에 처리할 정보의 양이 적고, 객체와 배경을 구분해 줄 필요가 없어서 추적 하고자 하는 객체 외에 다른 객체의 움직임에 영향을 받지 않는 장점이 있다. 그러나 객체의 윤곽선이 약할 경우에는, 윤곽선을 놓쳐 능동 윤곽이 수축하는 경향이 있고, 또한 스네이크의 정의에 있어서 외부 에너지로 기울기 영상만을 사용하기 때문에 복잡한 배경 하에서는 배경으로 인한 영상의 기울기 변화로 객체의 윤곽선을 놓치는 경우가 있다.

Denzler 등 [5]은 그리디 스네이크의 연산 속도를 개선하기 위해 능동 윤곽의 2차원 면 탐색 영역을 1차원 선으로 줄인 능동 방사선 (active rays)으로 움직이는 객체를 추적하는 제안하였다. 그러나 이 방식은 프레임 간에 객체의 움직임을 추정 및 보상하

지 않기 때문에 움직임이 빠른 객체를 추적하는데 어려움이 있다.

Pardàs 등 [6]은 움직임 추정을 기반으로 한 객체 추적 알고리즘을 제안하였다. 객체의 움직임을 추정하여 스네이크의 에너지 함수에 적용하였으나 스네이크 윤곽점들 모두에서 움직임을 추정해야 하므로 계산량이 많아지는 단점이 있다.

따라서 윤곽선 기반 객체 추적으로 객체의 움직임을 빠르게 추정하여, 움직임이 큰 객체를 강건하게 추적하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 객체 중심점에서만 블록 정합 알고리즘으로 움직임을 추정하고 보상하여 실시간으로 빠르게 움직이는 객체의 추적을 가능하도록 하였고, 객체의 윤곽선 수렴 과정에서 기울기 영상뿐만 아니라 현재 프레임과 이전 프레임 간의 차영상을 사용함으로써 배경 잡음의 영향을 감소시켰다. 제안한 알고리즘을 평가하기 위해서 배경에 잡영이 있는 영상과 움직임이 빠른 객체에 대해 각각 실험한 결과 실시간으로 객체의 윤곽을 추적할 수 있음을 확인하였다.

2. 실시간 객체 추적 알고리즘

제안한 알고리즘에서는 그림 1과 같이 먼저 이전 프레임부터 현재 프레임의 객체의 움직임을 추정하고 이를 방사상 표현 방식에서 보정한 후 에너지 수렴을 통해 객체의 윤곽선을 추적한다.

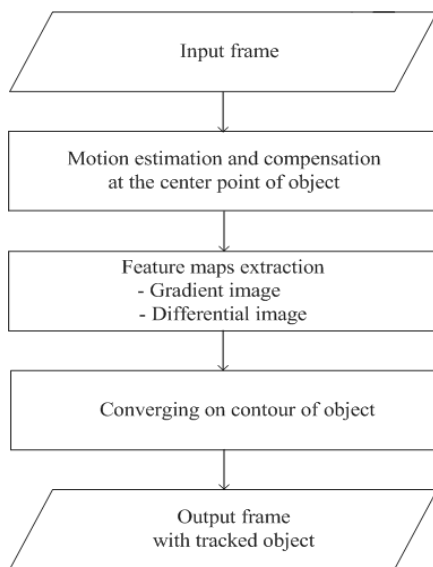


그림 1. 제안한 실시간 객체 추적 흐름도
Fig. 1. Flowchart of the proposed real-time object tracking.

2.1 블록정합 기반 객체 움직임 추정

각 프레임마다 객체의 움직임을 블록정합 알고리즘으로 추정한다. 움직임 추정에 있어서 오차가 크면 객체의 추적을 실패할 수 있으므로 움직임 추정 방법 중 가장 오차가 적은 전역탐색기법을 사용하였다. 전역 탐색 기법은 계산량이 많지만 제안한 방법에서 방사상 표현을 기반으로 하여 객체의 중심점에서만 적용하기 때문에 적은 연산 시간으로 객체의 움직임을 추정할 수 있다. 비교 척도로 사용되는 SAD (sum of absolute differences)는

$$SAD(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |I_t(x, y) - I_{t-1}(x+u, y+v)| \quad (3)$$

로 정의되며, 여기서 $I_t(x, y)$ 와 $I_{t+1}(x, y)$ 는 각각 $t-1, t$ 시간에서의 (x, y) 화소의 명도 값이고, (u, v) 는 움직임을 의미하며 N 은 블록 크기이다.

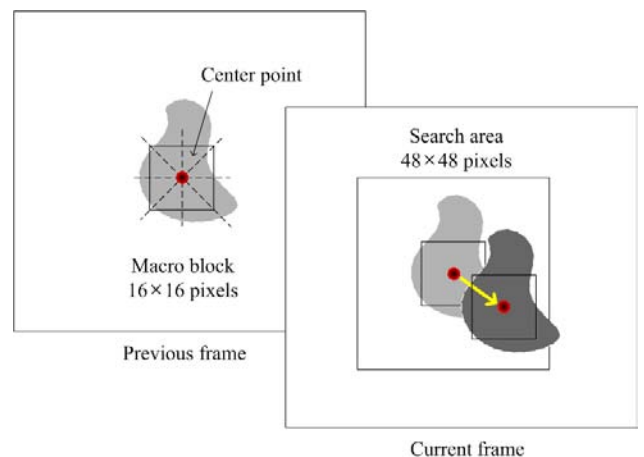


그림 2. 객체 중심점에서의 움직임 추정
Fig. 2. Motion estimation at the center point of object

2.2 객체의 윤곽선으로 수렴

객체의 윤곽선을 추적을 위해 방사상 표현 방식을 사용하였다. 그림 3에서 보는 것과 같이 객체의 중심에서 등각도로 해서 객체의 윤곽까지 길이들로 객체의 윤곽선을 나타낸다. 각 윤곽점들은 등각도를 이루므로 중심까지 거리 r_i 만으로 나타낼 수 있으며 이들의 집합 R_i 를

$$R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} \quad (1)$$

와 같이 정의하였고, 여기서 n 은 윤곽점의 개수이다. 객체의 중심점 (x_c, y_c) 는

$$(x_c, y_c) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right) \quad (2)$$

와 같이 정의되며 여기서 (x_i, y_i) 는 윤곽점의 좌표를 나타낸다.

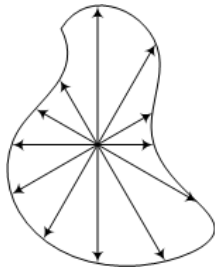


그림 3. 윤곽선의 방사상 표현

Fig. 3. Radial representation of the contour.

방사상 표현 방식에서 윤곽점의 수렴 영역은 그림 4와 같다. 그리디 스네이크에서는 탐색할 이웃 화소가 8개 인데 비해 방사상 표현 방식은 객체의 중심점에서 방사상 방향에 해당되는 영역만을 탐색하므로 탐색할 이웃 화소가 2개로 계산량이 줄어든다.

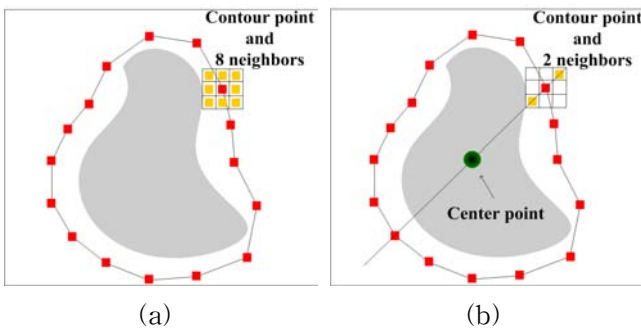


그림 4. 수렴 영역 비교

(a) 그리디 스네이크 (b) 방사상 표현 방식

Fig. 4. Comparison of search area

(a) greedy snake (b) radial representation

한편 객체의 중심에서 방사상 영역으로 움직이는 윤곽 곡선은 $v(s)$ 는

$$v(s) = (x(s), y(s)), s \in [0, 1] \quad (4)$$

와 같이 정의되고, 에너지 함수 E_{radial} 은

$$E_{radial} = \int_0^1 E_i(v(s)) + E_e(v(s)) ds \quad (5)$$

와 같고, 여기서 E_i 는 내부 에너지를 E_e 는 외부에너지 나타내며, 내부 에너지 E_i 는

$$E_i(v(s)) = \frac{1}{2} (\alpha(s) |v'(s)|^2 + \beta(s) |v''(s)|^2) \quad (6)$$

와 같이 정의된다. $\alpha(s), \beta(s)$ 는 상대적인 가중치를 제어하는 계수이며, 내부 에너지의 일차 미분항 $v'(s)$ 는 이웃하는 윤곽점들 간의 거리의 균일성을 제어하고, 이차 미분항 $v''(s)$ 는 윤곽선이 원의 형태와 같이 부드러운 곡선이 되도록 곡률을 제어한다.

영상 힘 (image force)를 나타내는 외부 에너지 E_e 는

$$E_e(v(s)) = - | \nabla f_{gradient}(v(s)) + \nabla f_{differential}(v(s)) | \quad (7)$$

와 같이 정의되며 $\nabla f_{gradient}(v(s))$ 는 기울기 영상의 에너지이고 $\nabla f_{differential}(v(s))$ 는 차영상의 에너지이다. 이들 에너지의 최소화 과정을 반복 수행하여 영상 내에 관심 있는 영역의 특징인 라인, 에지 및 윤곽선 등을 추출한다. 기울기 영상은 소벨 연산자 (Sobel operator)로 구하였고, 차영상은 현재 프레임과 이전 프레임의 명도 차이로 구했다. 이렇게 차영상을 기울기 영상과 함께 에너지 함수로 사용하여 움직이는 객체의 윤곽을 더 강화하여 배경 잡영의 영향을 감소시킬 수 있도록 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험은 1.7GHz Pentium 4 PC 상에서 수행하였으며, 웹캠 (webcam)으로 획득한 352×288 크기의 동영상을 사용하였다. 첫 번째 실험은 배경 잡영이 있는 영상에서의 객체 추적 실험으로 실내에서 이동하는 사람의 머리 윤곽 추적을 실험하였다. 또, 움직임이 빠른 객체 실험을 위해 30 [frames/sec]의 동영상에서 프레임 간 7 화소씩 이동하여 196 [pixels/sec] 속도로 움직이는 손가락 윤곽 추적 실험과 프레임 간 14 화소씩 이동하여 392

[pixels/sec] 로 움직이는 손가락 윤곽을 추적 실험 하였다. 그림 5는 배경 잡영에 영향을 받지 않고 머리 윤곽을 추적함을 보여주고, 그림 6와 7은 움직임이 빠른 객체를 잘 추적함을 보여준다. 윤곽점이 20개일 때 전체 알고리즘 처리 속도는 한 프레임 당 평균 35.7 ms 로 초당 28 프레임을 처리할 수 있으므로 실시간 처리할 수 있음을 확인하였다.



Frame 5 Frame 15
Frame 25 Frame 35

그림 5. 머리 윤곽 추적

Fig. 5. Head-contour tracking.



Frame 20 Frame 26

그림 6. 손가락 윤곽 추적 (196 화소/초)

Fig. 6. Finger-contour tracking (196 pixels/sec).



Frame 12 Frame 13

그림 7. 빠르게 움직이는 손가락 윤곽 추적 (392 화소/초)

Fig. 7. Fast moving finger-contour tracking (392 pixels/sec).

4. 결론

본 논문에서는 방사상 표현 방식을 적용하여 객체의 중심점에서 움직임을 추정하고 객체의 윤곽선을 추적하는 알고리즘을 제안하였다. 적은 계산량으로 객체의 움직임을 보상함으로써 392 [pixels/sec] 속도로 빠르게 움직이는 객체를 실시간 추적 할 수 있었고, 스네이크 외부 에너지 함수로 기울기 영상과 함께 차영상을 사용하여 객체의 윤곽을 강화하여 배경의 영향을 감소시켜 배경의 잡영에도 강건하게 객체를 추적함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] A. L. Gilbert, "A Real-Time Video Tracking System," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 2, pp. 47-56, January 1980.
- [2] P. Salesmbier, L. Torres, F. Meyer and C. Gu, "Region-based Video Coding Using Mathematical Morphology," *Proceedings of the IEEE*, Special Issue on Digital Television, vol. 83, no. 6, pp. 843-857, June 1995.
- [3] M. Isard and A. Blake, "Contour Tracking by Stochastic Propagation of Conditional Density," *In Proc. European Conf. Computer Vision*, Cambridge UK, pp. 343-356, 1996.
- [4] C. L. Lam and S. Y. Yuen, "An Unbiased Active Contour Algorithm for Object Tracking," *Pattern Recognition Letters*, vol. 19, pp. 491-498, April 1998.
- [5] J. Denzler and H. Niemann, "Active Rays: Polar-Transformed Active Contours for Real-Time Contour Tracking," *Real-Time Imaging* 5, pp. 203-213, Singapore, 1999.
- [6] M. Pardàs and E. Sayrol, "Motion Estimation based Tracking of Active Contours," *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, pp. 1447-1456, November 2001.
- [7] D.J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, vol. 55 pp. 14-26, January 1992.