

레터논문-11-16-1-17

배경 컬러와 시간에 대한 필터링을 접목한 컬러 중심 이동 기반 물체 추적 알고리즘

이 석 호^{a)}, 최 은 철^{b)}, 강 문 기^{b)†}

Object Tracking Based on Color Centroids Shifting with Background Color and Temporal filtering

Suk Ho Lee^{a)†}, Euncheol Choi^{b)}, and Moon Gi Kang^{b)}

요 약

최근, 모바일 기기의 발전, 팬/틸트 카메라를 사용한 지능형 감시 시스템 등이 발전하면서 비정적 환경에서의 추적알고리즘에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 비정적 환경에서는 배경에 대한 모델링이 어렵기 때문에 주로 컬러, 텍스처 등의 피처를 이용한 객체 추적이 이루어진다. 이 경우 배경에 나타나는 객체의 컬러와 유사한 컬러들로 인해 추적이 불안정해진다. 본 논문에서는 컬러에 기반한 객체추적 방법들 중에 상대적으로 안정적이고 속도가 빠른 중심 이동 (Centroid Shifting) 기반의 추적 알고리즘을 더욱 안정화하기 위해 배경에 대한 영향을 줄이고, 시간 필터링을 접목하는 방법에 대하여 제안하고자 한다.

Abstract

With the development of mobile devices and intelligent surveillance system loaded with pan/tilt cameras, object tracking with non-stationary cameras has become a topic with increasing importance. Since it is difficult to model a background image in a non-stationary camera environment, colors and texture are the most important features in the tracking algorithm. However, colors in the background similar to those in the target arise instability in the tracking. Recently, we proposed a robust color based tracking algorithm that uses an area weighted centroid shift. In this letter, we update the model such that it becomes more stable against background colors. The proposed algorithm also incorporates time filtering by adding an additional energy term to the energy functional.

Keyword : Object tracking, Centroid shifting, Background colors

a) 동서대학교 컴퓨터정보공학부
computer and information engineering, Dongseo university

b) 연세대학교 TMS 정보기술 사업단
TMS information technology, Yonsei university

† 교신저자 : 강문기 (mkang@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (NIPA-2010-(C1090-1011-0003)) 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2010-0006567)하에 수행되었음.

· 접수일(2010년11월30일), 수정일(2011년1월18일), 게재확정일(2011년1월18일)

1. 서론

컬러정보나 텍스처를 이용한 추적기술은 객체의 회전 및 변형에 의해 모양이 바뀌어도 추적이 가능한 장점이 있다. 평균이동(Meanshift) 추적방법은 컬러 정보를 이용한 대표적인 추적방법으로, 영역검색 없이 추적대상의 위치를 찾기

때문에 속도가 빨라서 널리 쓰이고 있다^{[1][2][3][4]}. 그러나 컬러 정보를 이용한 추적 알고리즘의 전형적인 약점인 배경색으로 인한 불안정성 등이 문제가 되어 이를 안정화하려는 연구가 많이 진행되고 있다^[5-10].

최근에는 평균이동에 기반한 추적 알고리즘의 약점을 근본적으로 분석하여 컬러들의 공간적인 분포에 대한 정보를 효율적으로 이용하고 다수 컬러정보에 보다 가중치를 두는 컬러 중심이동 기반의 추적 알고리즘이 제안되었다^[11]. 본 레터논문에서는 [11]의 중심이동기반 추적기법에서 사용하는 에너지항을 수정하여 배경색의 영향을 줄이고 시간 필터링을 접목하여 알고리즘을 더욱 안정화시키는 방법을 제안한다.

II. 컬러중심이동 기반 객체 추적 알고리즘

컬러중심이동 기반 추적알고리즘에서는 다음과 같은 거리함수를 최소화하는 위치 \hat{y} 를 구함으로써 물체의 현재 위치를 구한다.

$$\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_u^n] \|\hat{y} - M_u^n\|^2 \quad (1)$$

여기서 q_u , p_u^n 는 각각 초기 프레임 및 현재에서 컬러빈 u 의 히스토그램을 의미하며, m 은 컬러빈(color bin)의 갯수이며, $\delta[\cdot]$ 는 $[\]$ 안의 값이 0 일 때 1을 아닐 때는 0을 출력하는 크로네커(Kronecker) 델타 함수를 나타낸다. M_u^n 은 n 번째 프레임에서의 컬러 u 에 해당하는 화소들의 위치를 평균한 벡터이다. 식 (1)은 최소 자승 문제로 이를 최소화 하는 위치 벡터 \hat{y} 은 미분을 수행하여

$$\hat{y} = \frac{\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_u^n] M_u^n}{\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_u^n]} \quad (2)$$

으로 구할 수 있다. 초기프레임에서 표적의 중심위치를 계산한 후 다음 프레임(현재 프레임이 n 번째 프레임이면 $n+1$ 번째 프레임)에서의 표적 위치를 찾기 위해 우선 이

전 중심위치를 중심으로 검색 윈도우를 설정한다. 그런 다음 검색영역 안에서 현재 프레임의 컬러들에 대하여 식 (2)를 이용하여 각 컬러들의 중심을 구하고, 초기 프레임에서 계산한 가중치를 이용하여 현재프레임의 컬러 중심들의 가중평균 \hat{y}_{next} 을 구한다. 그러면 $\hat{y}_{shift} = \hat{y}_{next} - \hat{y}$ 은 다음 프레임에서 추적대상영역에 움직여간 거리에 대한 추정치가 된다. 컬러 중심 이동 기반 추적 알고리즘은 일부 컬러빈의 중심이 배경 컬러에 영향을 받더라도, 나머지 컬러빈들의 중심들이 (1)의 에너지항을 최소화하기 위해 공간적인 제약을 가하기 때문에 추적에 실패하는 경우가 평균이동 기반의 알고리즘들보다 일반적으로 적다. 그러나 이러한 컬러빈들간의 공간적인 제약에도 불구하고, 표적의 주변에 표적을 구성하고 있는 컬러중 주된 컬러와 유사한 컬러가 배경에 존재할 경우, 추적에 실패할 수 있다.

III. 제안한 알고리즘

추적알고리즘이 유사한 배경색에 대해 강인해지도록 다음과 같은 새로운 거리함수를 제안한다.

$$\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_s}^n] s_u \|\hat{y} - M_u^n\|^2 + k \|\hat{y} - \tilde{y}\|^2 \quad (3)$$

이 함수를 최소화하는 \hat{y} 가 현재 프레임에서 추적대상의 위치값이 된다. 이 함수에서 첫번째 항은 식 (1)의 함수와 같으나 추적대상과 유사한 컬러를 갖는 배경에 대하여 강인해지도록 유사한 컬러빈들을 제거하는 특성함수(characteristic function) s_u 가 추가되었다. 여기서 s_u 는 다음과 같이 정의된다.

$$s_u = \text{step} \left(\max \left\{ \frac{p_{u,n_B}}{p_{u,n_S}} - T, 0 \right\} \right) \quad (4)$$

함수 $\text{step}(\cdot)$ 는 인수가 0보다 클때 1이라는 값을 그 외의 경우에는 0이라는 값을 갖는 스텝함수(step function)이고 여기서는 특성함수의 역할을 하며, $\max(\cdot)$ 는 두 개의 인수 중에서 큰 인수의 값을 함수값으로 갖는 함수이다. n_S

는 표적검색영역, n_B 는 배경검색영역을 의미하며, p_{u,n_B} 와 p_{u,n_S} 는 각각 n_S 와 n_B 에서 계산한 컬러빈 u 의 확률밀도(probability density)값이며 T 는 문턱값(threshold)이다. 영역 n_S 와 n_B 는 모두 이전 프레임의 표적 중심을 그 중심으로 가지며, n_S 를 다음 프레임에서의 추적객체를 포함할 수 있도록 충분한 크기로 설정한다. 그리고 n_B 는 n_S 를 포함하면서 배경영역도 어느 정도 포함하도록, 즉 $n_B > n_S$ 가 되도록 설정된다. 만약 배경검색영역 내에 컬러빈 u 를 갖는 물체가 존재하지 않을 경우 $p_{u,n_B} = p_{u,n_S}$ 가 되고, 컬러빈 u 를 갖는 물체가 배경에 존재할 경우 $p_{u,n_B} > p_{u,n_S}$ 가 된다. 그러므로 $T=1$ 로 놓을 경우 컬러빈 u 가 배경에 나타날 경우 $s_u = 0$ 이 되어 해당 컬러빈은 표적의 중심을 계산할 때 제외가 된다. 실제 영상 시퀀스에 적용할 경우 표적의 이동속도가 클 때도 있고, 카메라의 줌인(zoom in)등의 상황이 있을 때가 있어서 T 의 값을 1보다 약간 크게 잡는다. 배경에 대한 색상의 영향을 특성함수 s_u 를 통해 줄일 때 추적성이 성공적으로 수행되더라도 추적 윈도우가 급하게 흔들리는 현상이 발생할 때가 많다. 이러한 현상을 방지하기 위해 식 (4)의 두번째 항을 통해 시간에 따른 추적위치의 변화량을 줄인다. 두번째 항에서 k 는 양의 상수값이며, \tilde{y} 는 다음과 같이 시간필터링(temporal filtering)에 의해 구해지는 현재 추적위치에 대한 예측치이다.

$$\tilde{y} = \hat{y}^{n-1} + \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^K (\hat{y}^{n-k} - \hat{y}^{n-(k-1)}) \quad (6)$$

여기서 \hat{y}^{n-1} , \hat{y}^{n-k} , $\hat{y}^{n-(k-1)}$ 는 각각 현재 프레임보다 1, k , $k-1$ 프레임 이전의 프레임에서 구한 추적위치벡터들이다. 그러므로 \tilde{y} 는 이전 프레임에서 구한 추적위치에 다 이전까지의 추적대상의 평균속도를 더한 값이 된다. 상수 K 가 클수록 추적위치의 변화량에 대한 평활화(smoothing)가 많이 수행되어 추적윈도우의 흔들림은 줄어들게 된다.

식 (4)의 거리함수를 위치 \hat{y} 에 대하여 미분한 값을 0으로 놓으면 \hat{y} 에 대한 해는 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{y} = \left[\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_S}^n] s_u M_u^n + k \tilde{y} \right] / \left[\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_S}^n] s_u + k \right] \quad (7)$$

또는 식 (7)을 약간 다르게 전개하면 다음과 같이 된다.

$$\hat{y} = \left[\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_S}^n] s_u M_u^n \right] / \left[\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_S}^n] s_u \right] + k [\hat{y} - \tilde{y}] / \left[\sum_{u=1}^m q_u \delta[p_{u,n_S}^n] s_u \right] \quad (8)$$

우변의 두번째 항은 계수가 다른 것을 제외하고는 칼만 필터(Kalman Filter)에서 측정치를 보정하는데 사용되는 측정치에서 예측치를 빼 항과 유사한 모습을 하고 있음을 볼 수 있다. 그러므로 이 항은 시간에 대한 위치값의 변화를 줄이는(smoothing) 역할을 수행함을 알 수 있다. 첫번째 항이 현재 추적위치에 대한 측정치이므로 식 (8)이다. 전체적으로도 칼만 필터. 프레임워크와 유사하다. 즉 제안한 식 (4)의 거리함수는 직접 칼만 필터. 프레임워크와 연결이 됨을 볼 수 있다. 상수 k 를 바꾸어 추적위치에 대한 분산값을 인수로 하는 함수로 놓으면 더욱 칼만 필터. 프레임워크에 유사해지게 되나 이때는 추가로 매. 프레임마다 분산에 대한 측정이 이루어져야 한다.

IV. 실험 결과

실험은 $256 \times 256 \times 256$ 의 컬러를 $8 \times 8 \times 8$ 로 균일하게 양자화한 시퀀스들에 대해 수행되었다. 그림 1은 배경이 복잡하고 배경에 추적대상의 컬러와 유사한 컬러가 존재하는 경우에 대한 실험결과이다. 추적대상을 대표하는 윈도우의 크기는 40×40 이며 식 (5)의 문턱값을 $T=1$ 로 놓았다. 평균이동 기반의 추적 알고리즘은 이 경우 추적에 실패한다. 기존의 중심이동 추적알고리즘은 추적에 성공하나 배경의 유사한 컬러들로 인해 표적의 영역이 흔들리며 표적윈도우의 중심이 실제 표적의 중심에서 간혹 벗어나게 된다. 제안한 알고리즘의 경우 가중평균 연산 시 표적과 유사한 컬러를 제외시키고, 시간 필터링을 수행하므로 안정적인 추적 결과를 보인다. 그림 2는 그림 1에서 쓰인 시퀀스중 일부 프레임들에 대하여 눈대중으로 구한 중심위치의 ground truth값과 각 추적 알고리즘들로부터 구한 중심위치간의 오

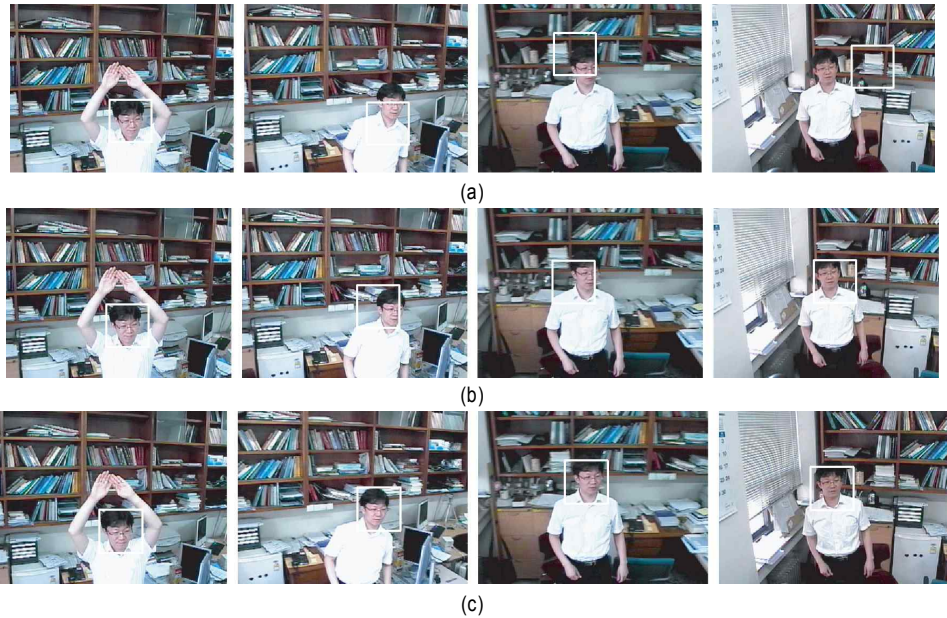


그림 1. 각 추적 알고리즘의 추적결과 (a) 평균이동기반 추적 방법 (b) 기존 중심이동 추적 방법 (c) 제안한 알고리즘
 Fig. 1 Tracking results (a) Meanshift based tracking (b) Centroid shifting tracking (c) Proposed algorithm

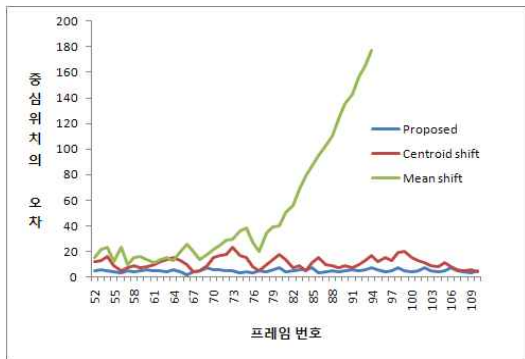


그림 2 추적 객체의 중심위치의 ground truth에 대한 오차
 Fig. 2 Error in the location of the target's center

차를 픽셀단위로 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 제안한 알고리즘이 가장 오차가 적으면서 진동도 적음을 볼 수 있다. Meanshift의 오차가 급격하게 커지는 부분은 추적에 실패한 경우를 보여주고 있다. 제안한 알고리즘은 거의 모든 시퀀스에서 Meanshift보다 안정적으로 동작하며 속도도 빠르다. 속도가 빠른 이유는 이전 프레임과 현재 프레임에서의 가중평균의 차에 의해서 한번의 계산으로 추적대상의 위치를 추정하기 때문이다. 속도면에서는 검색영역안에서

추적대상의 위치를 추정해야 하는 기존의 template에 기반한 방법들보다도 빠르다. 배경에 복잡한 컬러가 나타나거나 부분적인 폐색이 나타나는 경우, 조명의 변화에 의해 부분적으로 추적대상의 색상이 변하는 경우에 대해서도 안정적인 결과를 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] D. Comaniciu, v. Ramesh, and P. Meer, "Kernel-based object tracking," IEEE Trans. on PAMI, vol. 25, pp. 564 - 75, 2003.
- [2] G. R. Bradski, "Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface," Intel Technology Journal, 2nd Quarter, 1998.
- [3] A. Yilmaz. "Object tracking by asymmetric kernel mean shift with automatic scale and orientation selection," In IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.
- [4] A. Babaeian, S. Rastegar, M. Bandarabadi, and M. Rezaei, "Mean shift-based object tracking with multiple features," Southeastern Symposium on System Theory, pp. 68 - 72, 2009
- [5] P. Li, "An Adaptive Binning Color Model for Mean Shift Tracking," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, pp. 1293 - 1299, Vol. 18, 2008
- [6] Suk-Ho Lee, Euncheol Choi and Moon Gi Kang, "Object tracking based on area weighted centroids shifting with spatiality constraints", IEEE ICIP2008, San Diego, USA, Oct. 12-15, 2008