

# 연속영상에서 이동물체 추적을 위한 적응형 컨투어 제어기법

김도종, 이부환

국방과학 연구소

전화 : 042-821-3198 / 핸드폰 : 011-628-8442

## Adaptive Active Contour Control for the Moving Target Tracking in the Image Sequence

### Abstract

An adaptive active contour algorithm which shows stable object tracking performance under the moving or deformable environments, is proposed. In order to cope with local deformation of the object, an energy map is generated from the difference of the consecutive images and a new energy function based on the energy map is presented. The algorithm is evaluated on a set of artificial and real images to verify the efficiencies and test results show the stable tracking performance for the moving objects.

### I. 서론

영상에서 물체를 추출하는 방법 중의 하나로서 물체의 경계선을 따라 컨투어를 찾는 방법이 있는데, 이를 능동 컨투어(Active Contour)라 한다. 능동 컨투어는 스네이크(Snakes)라고도 알려져 있으며, 물체의 기하학적인 형상과 특징점 주변으로 집중되는 변형 가능한 선의 형태를 사용하여 영상분할, 정합 및 이동물체 추적 등 다양한 분야에 적용을 시도하고 있다.

능동 컨투어에 대한 많은 연구가 진행중이나, 해결되지 않은 몇 가지 문제점들을 포함하고 있는데,

초기의 컨투어 위치가 물체의 형상과 충분히 근접하게 설정되지 않으면 오 동작을 하는 경우가 발생하고, 대체로 알고리즘 자체가 팽창보다 수축하는 경향이 많으며, 오목불룩한 형태를 잘 처리하지 못하는 단점이 있다[1-3]. 능동형 컨투어 기반의 이동물체 추적에 대한 연구도 다양하게 진행이 되었으나, 물체 이동에 따라 필연적으로 수반되는 적응적인 수축팽창 문제는 해결하지 못하고 있다[4-6].

본 연구에서는 물체의 지역적인 변형에 적응하여 이동물체 추적이 가능한 적응형 능동 컨투어기법을 제안한다. 연속 프레임의 차 영상을 기반으로 에너지 분포맵을 만들고, 팽창 수축방향결정을 위한 새로운 에너지 함수를 도입함으로써 컨투어점들의 적응적인 팽창과 수축 문제에 대한 해결방법을 제시 하였다.

### II. Greedy 알고리즘

능동 컨투어를 제안한 Kass[1]는 에너지함수 형태로 정의되는 목적함수를 제시하였으나 불안정성 문제와 강한 경계부위로 컨투어가 집중되는 문제를 나타내었으며, 이러한 문제극복을 위하여 Amini[2]는 Dynamic Programming을 통하여 에너지 함수를 최소화 하는 방법을 제안 하였으나 연산의 복잡성에 의해 계산시간이 많이 걸리는 단점을 나타내었다. 안정성 문제와 연산 시간 문제 해소를 위하여 Williams[3]는 에너지함수의 수정과 국부 최적화 방식을 적용한 Greedy 알고리즘을 제안하였다. Greedy 알고리즘의 에너지 함수는 3개의 항과 각 항들의 상대적인 영향도를 제어하는 계수로서 구성되며 식(1)과 같다.

$$E_i = \alpha E_{con}(v_i) + \beta E_{cur}(v_i) + \gamma E_{img}(v_i) \quad (1)$$

$$E_{con} = d - \|v_j - v_{i-1}\|$$

$$E_{cur} = \|v_{i-1} - 2v_j + v_{i+1}\|^2$$

$$E_{img} = \frac{g_{mn} - g}{g_{mx} - g_{mn}}$$

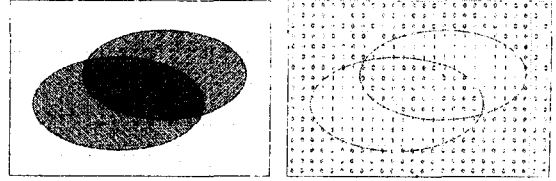


그림 1 물체이동

그림 2 에너지 맵

### III. 적응형 팽창수축 능동 컨투어

본 연구에서는 Greedy 알고리즘을 기반으로 하여 물체의 이동 및 형상 변형 발생 시 안정된 추적이 가능한 알고리즘을 제안한다. 에너지 함수에 연속 프레임의 차 영상 에너지맵을 결합하여 물체의 국부적인 변화부분에서 적응적 수축 팽창이 이루어지게 하고 또한, 수축팽창 방향을 결정하는 새로운 에너지 함수를 추가함으로써 컨투어를 효과적으로 처리할 수 있도록 하였다.

#### 3.1 차 영상의 에너지맵

연속 영상  $f_{k-1}(x, y), f_k(x, y)$ 에서, 영상의 화소대 화소 차 영상을  $d_{k,k-1}(x, y)$  라고하면, 영상내 물체가 이동 시  $|d_{k,k-1}(x, y)|$  는 큰 값을 나타내는 두 부분의 영역으로 구성되는데, 첫 번째 영역은 물체의 이동으로 배경을 덮게 되면서 발생하는 이동물체의 전면부위와 두 번째 영역은 가렸던 배경 부위가 새롭게 나타나면서 형성되는 물체의 후면영역이다. 차 영상을 식 (2)와 같이 역치화 과정을 거치면, 물체의 이동 또는 변형에 의해 발생하는 차 영상의 에너지 분포 맵을 구할 수 있고 그림 1-2와 같다.

$$E_{k,k-1}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |d_{k,k-1}(x, y)| > I_{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $I_{th}$  는 역치값을 나타내며. 에너지 맵  $E_{k,k-1}(x, y)$ 에서 값이 '1' 인 부분은 물체의 이동, 변형에 의해 영상의 밝기 변화가 큰 부분을 나타낸다.

차 영상 에너지 맵에서 임의의 컨투어점  $v_i$  를 중심으로 8개 이웃화소위치에서 에너지 맵의 값을 에너지 레이블로 정의하며 식(3)과 같이 표현한다.

$$e_{i,j} = E_{k,k-1}(x, y), (x, y) \in N(v_i), j = 1, 2, \dots, 9 \quad (3)$$

여기서  $N(v_i)$  는  $i$  번째 컨투어점  $v_i$ 의 이웃화소이며,  $e_{i,j}$  는  $v_i$  의  $j$  번째 이웃에서 에너지 맵의 값이다.

#### 3.2 제안된 에너지함수

에너지 함수는  $E_{con}(i, j), E_{cur}(i, j), E_{img}(i, j), E_{dir}(i, j)$  4개로 구성되며, 각 에너지항은 적응적인 수축팽창을 위하여 에너지 맵과 긴밀하게 결합되었으며 다음과 같이 정의된다.

##### (1) Continuity $E_{con}(i, j)$

$E_{con}(i, j)$  는  $i$  번째 컨투어점  $v_i$  를 중심으로  $j$  번째 이웃화소 위치에서 Continuity 에너지 함수를 나타내는데, 컨투어 점들의 간격이 일정하게 유지되도록 제어하는 함수로서, 갱신될 컨투어점 위치  $v_i$  와 이전위치  $v_{i-1}$  사이의 거리가 컨투어 점들 간의 평균거리  $\bar{d}$  와 같아질 때 에너지가 최소화 되도록 식 (4)와 같이 정의한다.

$$E_{con}(i, j) = \left| \frac{\bar{d} - e_{i,j} \|n_{i,j} - v_{i-1}\|}{\max_j \{\bar{d} - e_{i,j} \|n_{i,j} - v_{i-1}\|\}} \right|, j = 1, 2, \dots, 9 \quad (4)$$

$e_{i,j}$  는 차 영상 에너지 레이블 값이며  $n_{i,j}$ 는  $e_{i,j}$ 의 위치벡터로서, 에너지가 활성화된 화소( $e_{i,j} = 1$ ) 들이 존재하는 방향으로 컨투어의 형상이 팽창 또는 수축이 일어날 때  $E_{con}(i, j)$ 이 작은 값을 가지도록 제어해주는 계수이다. 에너지가 비활성화 된 영역 ( $e_{i,j} = 0$ ) 에서는 분자의 두 번째 항이 0 이되어  $E_{con}(i, j)$ 가 큰 값을 나타내게 된다.

##### (2) Curvature $E_{cur}(i, j)$

$E_{cur}(i, j)$  는 컨투어가 부드러운 곡선이 되도록 제어하는 함수로서 컨투어점  $v_i$  의 이웃화소 위치와 이웃 컨투어 점  $v_{i-1}, v_{i+1}$ 을 사용하여 식 (5)와 같이 정의한다.

$$E_{cur}(i, j) = \frac{\| (v_{i-1} - n_{i,j}) - e_{i,j} (n_{i,j} - v_{i+1}) \|^2}{\max_j \| (v_{i-1} - n_{i,j}) - e_{i,j} (n_{i,j} - v_{i+1}) \|^2} \quad (5)$$

즉,  $e_{i,j}$  가 활성화된 영역에서 현재위치  $v_i$  에서 이전위치  $v_{i-1}$  로 연결되는 직선의 기울기가 다음위치  $v_{i+1}$  로 연결되는 기울기가 같아 질 때  $E_{cur}(i, j)$  가 최소가 되도록 만들어주는 함수이다.

(3) Image Force  $E_{img}(i, j)$

$E_{img}(i, j)$  함수는 영상의 기울기 또는 경계선 강도가 큰 부분을 찾아가기 위한 방법으로서, 기울기 영상에서 Contour 위치  $v_i$  를 포함하는 이웃 화소에서 기울기 값의 최대, 최소값  $g_{mx}(v_i)$ ,  $g_{mn}(v_i)$ 을 찾은 후,  $v_i$  의  $j$  번째 이웃화소에서 기울기 값  $g_{i,j}$ 를 이용하여 식 (6)과 같이 계산한다.

$$E_{img}(i, j) = \frac{g_{mn}(v_i) - g_{i,j}}{g_{mx}(v_i) - g_{mn}(v_i)}, j=1, 2, \dots, 9 \quad (6)$$

(4) 팽창, 수축방향 (Direction)  $E_{dir}(i, j)$

물체가 이동하면, 이동전의 컨투어 점들을 초기값으로 하여, 물체가 이동함에 따라 배경이 새로이 나타나는 후면부위에서는 수축이 이루어져야하고, 물체의 이동으로 배경을 가리게 되는 전면부는 팽창이 이루어져야 하는데,  $E_{dir}(i, j)$ 는 물체가 이동시 팽창 또는 수축의 방향을 결정하는 역할을 하는 함수이다.

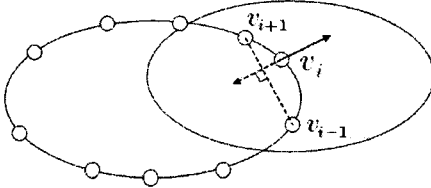


그림 3 컨투어점  $v_i$ 의 팽창방향

컨투어점  $v_i$ 의 수축, 팽창 방향은 그림 3과 같이 이웃한 두 점  $v_{i-1}$ ,  $v_{i+1}$ 를 연결하는 직선과 수직방향의 벡터  $u_i$ 를 사용한다. 벡터  $u_i$ 의 실제 방향은 물체의 오목 또는 볼록 형상에 따라 부호가 반대로 계산될 수 있으므로 차 영상의 에너지 맵을 활용하면, 식(7)과 같이 지역적으로 팽창, 수축이 발생하여야 하는 방향으로만 에너지가 최소화되는 함수를 정의할 수 있다.

$$E_{dir}(i, j) = 1 - e_{i,j} \frac{\| \langle u_i, (n_{i,j} - v_i) \rangle \|}{\| u_i \| \| (n_{i,j} - v_i) \|}, j=1, 2, \dots, 9 \quad (7)$$

(5) 최종 에너지 함수

$E_{i,j}$ 는  $i$  번째 컨투어점  $v_i$ 를 중심으로  $j$  번째 이웃  $n_{i,j}$ 에서 총 에너지를 나타내는 함수로서, 컨투어 점들 간의 거리가 균일하도록 제어해주는  $E_{com}(i, j)$ , 최종 컨투어의 형상이 부드러운 곡선형태가 되도록 제어해주는  $E_{cur}(i, j)$ , 물체의 경계선 위치를 찾아 컨투어가 형성되도록 제어해주는  $E_{img}(i, j)$  및 컨투어가 수축 및 팽창해야하는 방향을 제어하는  $E_{dir}(i, j)$ 의 조합으로 표현되며 식 (8)과 같다.

$$E_{i,j} = \alpha E_{com} + \beta E_{cur} + \gamma E_{img} + \epsilon E_{dir} \quad (8)$$

최종 갱신 될 컨투어점  $v_i'$  위치는  $v_i$  위치의 이웃 화소 중 총 에너지 함수값이 최소인 화소위치가 되며 식 (9)와 같이 지역최적화 기법을 통하여 구한다.

$$v_i' = \{n_{i,j} | E_{i,j} = \min(E_{i,j}), j=1, 2, \dots, 9\} \quad (9)$$

IV. 시험결과

제안된 알고리즘의 타당성 및 성능 검증을 위하여 합성영상과 실영상에서 추적시험을 하였다. 합성영상은 물체의 이동에 따라 컨투어가 적응적으로 수축팽창이 이루어지는지에 대한 검증과 이때 컨투어의 수렴 궤적을 살펴보기 위해 사용되었다. 그림 4-5는 타원형 물체의 형상이 축소되면서 이동할 때 이동전후의 컨투어 변화를 나타내는데, 그림 4는 추적하고자하는 물체를 충분히 포함하도록 수동으로 컨투어를 초기화 및 최적화과정을 통하여 수렴된 결과이고, 그림 5는 그림 4에서 수렴된 컨투어점을 초기값으로 하여 제안된 알고리즘을 적용하여 컨투어가 수렴되는 과정을 보여주는 그림으로서 적응적인 수축팽창이 잘 이루어짐을 볼 수 있다.

두 번째 시험은 야외에서 촬영된 적외선 영상에 적응형 컨투어 알고리즘을 적용하여 추적성능을 살펴본 결과이다. 그림 6은 500m 거리에서 전차가 전방으로 주행하다가 방향을 바꾸면서 형상변화가 많은 영상에 대한 추적결과를 보여주며, 그림 7은 1.5Km의 원거리에서 주행하는 전차에 대한 추적결과를 보여 준다. 컨투어의 초기화는 최초 프레임에 대해서만 수동으로 입력하였고, 이후는 적응적인 수축팽창과정을 통하여 추적이 이루어진다. 전체적으로 안정된 추적성능을 나타냄을 볼 수 있고, 그림 6-7은 시험영상 중 물체의 형상변화가 심한 프레임을 추출하여 나타낸 결과이다.

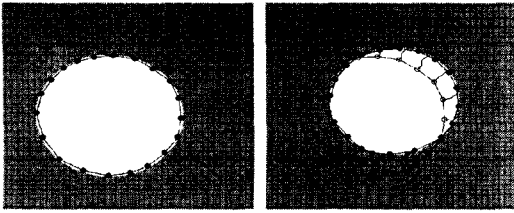


그림 4 이동 전

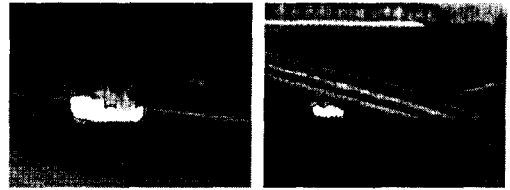
그림 5 축소 이동 후

### V. 결론

본 연구에서는 물체의 움직임에 따라 발생하는 국부적인 형상변화에 대하여 적응적인 수축팽창을 통하여 안정적인 추적이 가능토록 하는 적응형 능동컨투어 제어기법을 제안하였다. 적응적 수축팽창 판단을 위하여 차영상의 에너지맵을 활용하였고, 방향결정을 위한 새로운 에너지함수를 제안하였다. 합성영상과 실제영상에 적용한 결과 적응적인 수축팽창과정을 통하여 안정된 추적 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

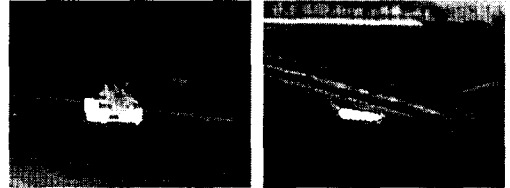
### 참고문헌

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," *International Journal of Computer Vision*, pp. 321-331, 1988.
- [2] A.A. Amini, T.E. Weynouth, and R.C. Jain, "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. 12, No. 9, pp. 855-867, 1990.
- [3] D.J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," *CVGIP: Image Understanding*, Vol. 55, No. 1, pp. 14-26, 1992.
- [4] F. Leymarie and M.D. Levine, "Tracking Deformable Objects in the Plane Using an Active Contour Model," *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 15, No. 6, pp. 617-634, 1993.
- [5] C. Xu, and J.L. Prince, "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 7, No. 3, pp. 359-369, 1998.
- [6] W. Kim, S. Hong, and J. Lee, "An Active Contour Model using Image Flow for Tracking a Moving Object", *Proceedings of the IEEE International conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 216-221, 1999.



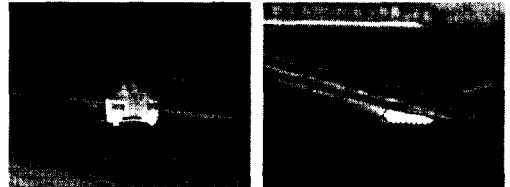
100 frame

270 frame



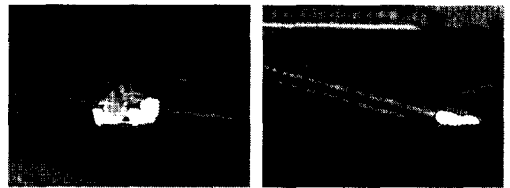
200 frame

300 frame



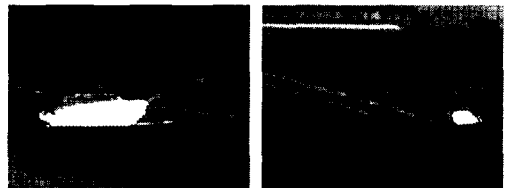
375 frame

330 frame



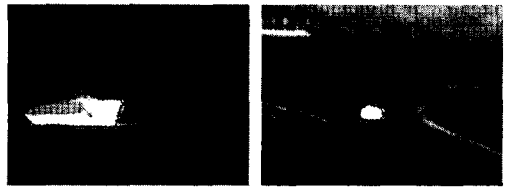
400 frame

360 frame



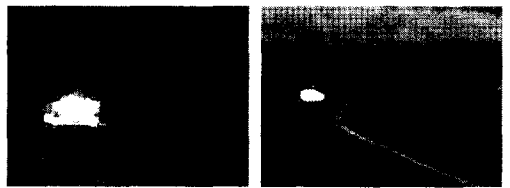
450 frame

390 frame



500 frame

480 frame



510 frame

730 frame

그림 6 근거리 주행

그림 7 원거리 주행