

이중 능동보 모델을 이용한 영상 추적 알고리즘

Visual Tracking Algorithm using the Double Active Bar Models

°고국원*, 김재선**, 조형석*

Kuk Won Ko, Jae Sun Kim, Hyung Suck Cho

*한국과학기술원 기계공학과 제어 및 자동화 실험실

Tel : 042-869-3253; Fax : 042-869-3210; E-mail : kkw@lca.kaist.ac.kr

** 삼성전자주식회사 생산기술센터 비전 연구팀

Tel : 0331-200-2444 ; Fax : 0331-200-2467 ; E-mail : jskim0@srtf.sec.samsung.co.kr

Abstracts In this paper, we developed visual tracking algorithm using double active bar. The active bar model to represent the object can reduce the search space of energy surface and better performance than those of snake model. However, the contour will not find global equilibrium when driving force caused by image may be weak. To overcome this problem, Double active bar is proposed for finding the global minimum point without any dependence on initialization. To achieve the goal, an deformable model with two initial contours is attempted to search for a global minimum within two specific initial contours. This approach improve the performance of finding the contour of target. To evaluate the performance, some experiments are executed. We can achieved the good result for tracking a object on noisy image.

Key words : Double active bar, Snake algorithm, Visual tracking

1. 서론

본 연구에서는 시각 정보를 이용하여 영상상의 물체를 실시간으로 추적하는 영상 처리 알고리즘을 개발하고자 한다. 시각 정보를 이용한 물체의 추적 기법은 생산 라인상에서 움직이는 물체를 식별하여 위치를 인식하여 잡는 작업, 불량 검사 및 여러 산업 분야에 응용되고 있으며 그 중요성이 점차 증가되고 있다.

영상 정보를 이용한 추적 기법은 예전부터 많은 연구가 지속되어 차영상법, 시공간 경사법, 특징 값 추출법, 형판 정합법 등을 사용한 많은 추적 기법들이 제안되었다. 그러나, 현재까지의 추적 기법들은 처리 시간이 오래 걸려 실제 문제 적용에 많은 어려움을 안고 있다.

본 연구에서는 기존에 제시되었던 여러 가지 추적 방법과는 달리 deformable contour 모델을 영상상의 물체 추적에 이용하고자 한다. Deformable contour는 영상상의 물체의 경계 및 물체의 연속 조건 등을 에너지로 정량화 하여 이를 최적화함으로써 물체의 경계를 찾는 방법이다.

에너지 최적화에 의한 물체의 경계 추출 방법의 효시는 1978년 Kass, Witkin 과 Terzopoulos[1]등에 의하여 개발된 snake algorithm 이다. 이 방법은 물체의 경계 추출을 위하여 일명 snake 라고 불리는 active contour 를 구성하고, 이를 에너지로 정량화 하여 최적화 함으로써 물체의 경계를 추출하는 것이다. Snake algorithm 은 에너지 최적화 과정에서 생기는 model 의 불안정한 거동과 수축 현상이 문제점으로 지적되어 왔다[7,8]. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 snake model 에 구속 조건을 부가하거나, 다른 종류의 최적화 방법을 사용하였다.[5-8]

본 논문에서는 기존에 제안된 Snake 알고리즘을 개선하여

강제 운동을 하는 물체의 추적에 적합하도록 변형한 이중 능동보 알고리즘을 제안하였다. 이중 능동보 알고리즘은 다수의 능동보로 이루어진 능동보 모델을 찾고자 하는 물체의 안쪽과 바깥쪽에 초기에 위치시키고 초기 위치 사이의 물체의 경계를 찾도록 한다. 두개의 능동보 모델의 에너지를 비교하여서 영상 에너지의 변화가 작거나, 부분 극소(local minimum)에 빠져 에너지의 변화가 없을 경우 두 모델의 에너지의 차이에 의해 변화 가능한 새로운 외부 힘을 제공하여 부분 극소에서 탈출하도록 유도하였다. 본 연구에서 제안한 이중 능동보를 사용한 영상 추적 방법은 snake 모델에서 발생하는 불안정성 및 수축 현상과 에너지 최적화 시에 발생하는 국부 극소(local minimum)의 문제를 해결하였다. 따라서 노이즈한 배경에서의 영상 추적에 뛰어난 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 에너지 함수를 간략화 하여 빠른 계산 능력을 가지므로 실시간으로 처리가 가능하였다.

본 논문의 구성으로는 2 장에서는 능동보에 의한 물체의 모델링 및 에너지 함수와 에너지 최적화 기법인 이중 능동보 모델에 대하여 설명하였고, 3 장에서는 이중 능동보를 이용한 영상 추적 기법에 대해 설명하였다. 4 장에서는 실험을 통하여 얻은 결과를 설명하고, 마지막으로 5 장에서는 결론과 추후 과제에 대하여 서술하였다.

2. 이중 능동보 모델

2.1 능동보 모델

기존의 능동보 모델은 그림 1 과 같이 변형 가능한 막대의 형태로 표현된다[1]. 능동보는 에너지 범함수로 정의 되는 변형

가능한 에너지 최적 막대로 에너지 차이에 의해서 초기 형태로 부터 변형하여 최소 에너지를 갖는 형태로 유지하게 된다. 그림 2는 능동보에 의해 물체를 표시한 결과를 나타내었다.

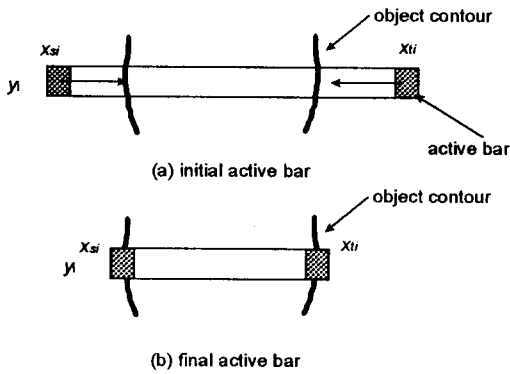


그림 1. 능동보 모델(An active bar model)

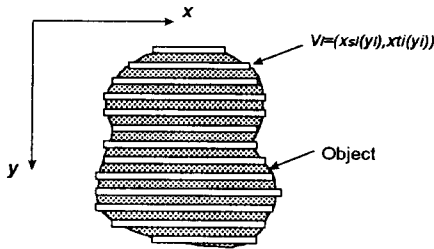


그림 3. 능동보를 이용한 물체의 모델

본 연구에서 사용되는 이중 능동보는 그림 3과 같이 두개의 능동보 모델로 이루어져 있다. 하나의 능동보 모델은 찾고자 하는 물체의 외곽에 위치시켜 수축을 하여 물체의 형상을 구하며, 다른 하나는 찾고자 하는 물체의 내부에서 팽창에 의해서 물체의 형상을 구하게 된다. 두개의 능동보 모델을 사용하여 각각의 능동보 모델이 갖는 에너지를 서로 비교하여 서로의 움직임을 도와서 최적의 해를 구함으로써 보다 강인하고 안정된 결과를 얻을 수 있다.

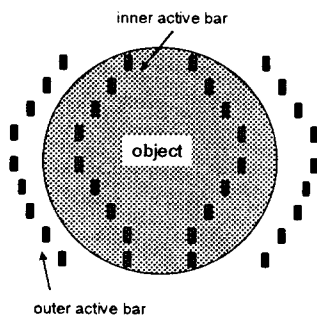


그림 3. 이중 능동 보

각각 능동보는 식(1)과 같이 벡터의 형태로 표현되며, x_s 와 x_t 는 각각의 영상 좌표계의 x 축에서 능동보의 시작 좌표와 끝 좌표를 나타내며 y는 y 축 좌표를 나타낸다. 첨자 i는 안쪽의 능동보의 좌표이며 o는 바깥쪽의 능동보의 좌표를 나타낸다.

$$V_i(y) = (x_{si}(y), x_{ti}(y)), \quad V_o(y) = (x_{so}(y), x_{to}(y)) \quad (1)$$

2.2 능동보의 에너지 모델

1987는 Kass 에 의해 제안된 Snake algorithm 에서는 경계 추출 과정을 에너지 최적화 과정으로 물체의 외각 경계를 추출하였으며[1], 이때 사용된 에너지 함수는 내부 에너지, 구속 에너지 및 외부 에너지의 합으로 구성되어 있다. 그러나 연속 에너지의 이산화에 따른 snake 의 수축 현상과 미분에 기인하는 불안정성에 관한 문제점이 지적되었고 이를 개선한 알고리즘이 제안되었다.

본 연구에서는 Kass 에 의해 제안된 에너지 함수를 이중 능동보 모델에 적합하도록 적용하였다. 이중 능동보에서는 Kass 의 snake 모델에서와 같이 구속 에너지, 내부 에너지, 외부 에너지로 구성된 전체 에너지를 가지며 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_{\text{bar}} = \int_y [E_{\text{int}}(v(y)) + E_{\text{image}}(v(y)) + E_{\text{ext}}(v(y))] dy \quad (2)$$

여기서 $E_{\text{int}}(v(y))$ 는 내부 에너지이며 $E_{\text{ext}}(v(y))$ 는 외부 에너지이고 $E_{\text{image}}(v(y))$ 은 영상 이미지이다. 각 에너지에 대한 세부 설명은 다음 절에서 하겠다.

이렇게 정의된 에너지를 실제 적용하기 위해서는 이산화 과정이 필요하다. 이산화 과정은 크게 시간 축과 공간 축의 이산화로 나뉘어 진다. 공간축과 시간축 상의 이산화 된 능동보는 다음과 같이 벡터로 표현된다.

$$V^i = \{v_1^i, v_2^i, v_3^i, v_4^i, \dots, v_n^i\} \\ v_1^i = (x_{s_i}(y_i), x_{t_i}(y_i)) \quad (3)$$

이산화 과정을 통한 이산화 된 능동보의 최종 에너지 모델은 식(4)와 같이 표현된다.

$$E_{\text{bar}}(V^i) = \sum_1^n [E_{\text{int}}(v_1^i(y_i)) + E_{\text{image}}(v_1^i(y_i)) + E_{\text{ext}}(v_1^i(y_i))] \quad (4)$$

2.2.1 내부 에너지

내부에너지는 크게 경계 구속 에너지인 연속 에너지와 곡률 에너지로 구성되어 있으며 식(5)와 같이 표현된다.

$$E_{\text{int}}(v(y)) = (\alpha \times E_{\text{cont}}(v(y)) + \beta \times E_{\text{curv}}(v(y))) \quad (5)$$

여기서 $E_{\text{cont}}(v(y))$ 은 연속 에너지항이며, $E_{\text{curv}}(v(y))$ 은 곡률 에너지항이다.

연속 에너지는 능동보의 일차 미분의 형태로 표현되는 에너지로써 능동보의 불연속을 나타내게 된다. 이웃하는 능동보 사이의 불연속 부분이 크면 에너지가 증가하도록 구성되어 있다. 곡률 에너지는 능동보의 이차 미분의 형태로 표현되는 에너지로써 능동보의 굽임을 나타낸다. 곡률이 큰 곳은 급격한 굽임이 있는 곳에서는 곡률 에너지가 증가된다. 내부 에너지를 최소화하는 과정에서 능동보는 불연속과 굽임을 최소화하여 완만하고 부드러운 형태를 유지하게 된다. 식 (5)에서 α 와 β 는 가중 계수이며 각 에너지의 상대적인 크기를 조절하여 능동보 모

델의 특성을 결정한다.

2.2.2. 외부 에너지

외부 에너지는 능동보 모델을 인위적인 힘을 가하여 변형을 시키는 역할을 한다. 본 연구에서는 두개의 능동보의 에너지 차에 의해서 생성되는 에너지이다. 이러한 에너지는 능동보에 부분 극소에 빠져 있거나, 영상 에너지의 변화가 작아서 능동보가 더 이상 변화하지 않거나 진동하게 될 때 인장력과 압축력을 가하여 새로운 평형 점을 찾도록 도와 준다.

2.2.3 영상 에너지

영상 에너지는 영상의 특징을 추출하기 위하여 사용되며 추적하고자 하는 물체의 경계를 추출하기 위하여 식(6)와 같이 영상 밝기의 변화율을 사용하였다.

$$E_{image}(v_i) = -[|\nabla I(x_n, y_i)|^2 + |\nabla I(x_{n+1}, y_i)|^2] \quad (6)$$

식(6)에서 I 는 주어진 위치 (x, y) 에서의 영상의 밝기 값을 나타내며, 영상 에너지를 최소화하는 과정으로 인하여 능동보는 영상의 밝기의 변화가 급한 에지(edge)를 찾아서 움직이게 된다.

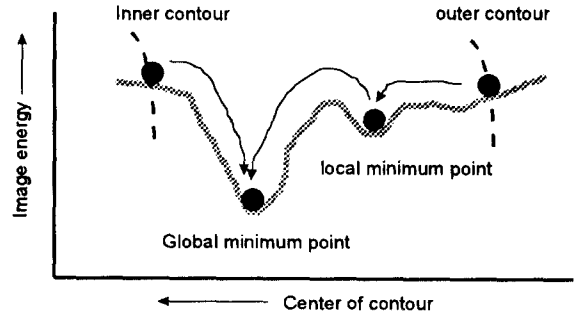
2.3 에너지 최적화

능동보의 움직임은 길이 방향으로 제한되어 있으므로 능동보의 수축과 팽창에 의해 물체의 경계를 찾는다. 따라서 에너지를 최소화 하기 위한 탐색 방향은 1 차원으로 제한되어 있으므로 기존의 알고리즘의 2 차원에 탐색에 비하여 계산 시간을 증대할 수 있다. 본 연구에서는 능동보의 에너지 최적화에 steepest descent method 를 사용하여 물체의 경계를 구하였다.

2.4 이중 능동보 알고리즘

최적의 에너지 해를 구하기 위한 방법으로 이중 능동보 기법을 제안하고자 한다. 에너지 최적화에 의한 물체의 경계 추출 방법은 능동보의 초기 위치 설정이 중요한 문제이다. 본 방법의 두개의 능동보를 사용하여 능동보의 초기 위치에 따른 에너지 최적화 영향을 줄이도록 하였다. 만일 능동보가 약한 에지(edge)의 영향으로 부분 극소(local minimum)에 빠져 더 이상 움직이지 않을 경우 두개의 능동보의 에너지를 비교하여 에너지가 높은 쪽의 능동보에 외부 힘을 가하여 두개의 능동보의 에너지가 일치하도록 유도한다. 이러한 방법은 능동보가 약한 에지(edge)로부터 탈출하는 힘을 제공하여 강한 에지로 찾아가도록 하여 최적 경계를 찾도록 한다.

이러한 과정은 그림 4로 설명된다. 물체의 경계 바깥의 능동보가 약한 에지에 위치되어 부분 극소에 수렴을 하게 되고 물체의 경계 안쪽에 위치한 능동보는 에너지가 더 낮은 물체의 에너지를 가질 경우 바깥쪽의 능동보에는 외부의 힘이 가해져서 부분 극소를 빠져 나오게 된다.



3. 영상 추적

3.1 추적 알고리즘

능동보를 사용한 영상 추적 방법은 다음과 같이 설명된다. 먼저 능동보의 초기 위치에서 에너지를 최적화 하여 물체의 경계를 추출하고 추출된 경계로부터 물체의 중심을 구한 뒤 경계를 추출한다. 다음 단계는 새로운 영상을 입력하여 물체의 외각 경계를 찾고 중심을 구한다. 이런 과정을 반복하면서 이동하는 물체를 추적하게 된다. 전체 알고리즘의 자세한 구성은 다음과 같다.

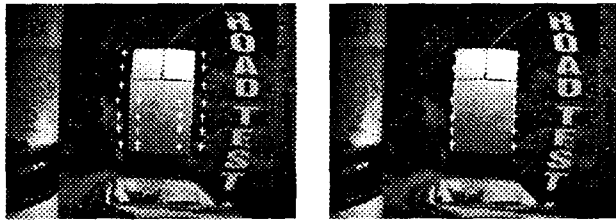
- Step 1: 첫 영상을 획득한 후 각 능동보의 에너지 계수 항에 대한 변수를 설정한다.
- Step 2: 현재 영상에 대하여 각 능동보의 에너지 항의 미분 항을 구한 뒤 에너지가 최소가 될 때까지 능동보를 이동시킨다.
- Step 3: 각 능동보의 움직임을 계산하여 움직임이 없거나 진동을 할 경우 두개의 능동보의 에너지를 비교한다. 이때 에너지를 계속 감소시키면서 능동보가 움직일 경우 step 2의 과정을 계속 반복한다.
- Step 4: 두개의 능동보의 에너지 차를 비교한 후 에너지가 차이가 크면 외부 힘을 가하여 에너지의 차가 큰 능동보에 에너지가 작은 능동보쪽으로 움직인다.
- Step 5: 두개의 능동보의 위치가 같아질 때까지 step 2에서 step 4의 과정을 반복한다.
- Step 6: 두개의 능동보의 위치가 같아지면 무게중심을 구하고 새로운 영상을 입력한 뒤 step 2로 되돌아 간다.

4. 결과

이중 능동보 모델을 사용하여 실제로 이동하는 모형 표적을 대상으로 영상 추적 실험을 하였다. 추적 결과는 그림 5, 그림 6, 그림 7에 나타내었다. 각 실험 결과는 삼성 MVB-02와 586 PC를 사용하여 8개의 능동보를 사용하여 실험한 결과이며 계산 속도는 9 frame/sec의 성능을 가진다.

그림 5의 (a)는 이중 능동보의 초기 위치를 보여주고 있으며, 그림 5의 (b)는 수렴 결과를 나타내고 있다. 배경에 의해

복잡한 영상에서도 뛰어난 물체의 경계 추출 능력을 가짐을 알 수 있다.



(a) 초기 위치 (b) 경계 추출
그림 5. 물체의 경계 추출 결과

그림 6은 물체를 이동시키고 추적된 물체의 중심의 궤적을 나타낸 것이다. 이 경우 물체가 영상 입력 사이에 탐색 능력을 벗어나지 않는다면 지속적인 물체의 추적이 가능하다.

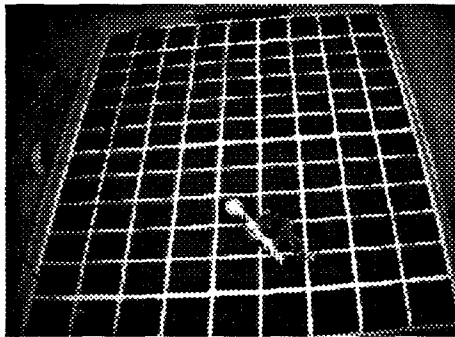
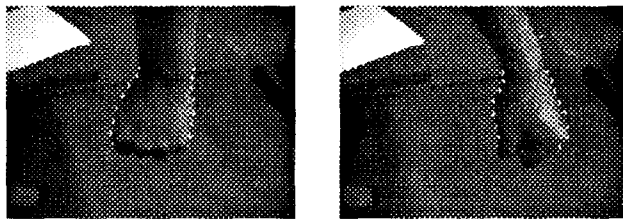


그림 6. 이동하는 공의 추적 결과

그림 7은 형태가 일정하지 않은 물체에 대하여 경계 추출의 결과이다. 이 결과 형태가 변형과 이동을 하는 표적에 대해서도 경계 추출과 추종이 잘 이루어 짐을 알 수 있다.



(a) 경계 추출(10th frame) (b) 경계 추출(30th frame)

그림 7. 변형하는 물체의 외각 추출

5. 결론

본 논문에서는 능동보 모델의 에너지 최적화 성능 및 모델의 초기 위치에 따른 성능 변화의 영향을 개선하고자 이중 능동보 모델을 사용하였으며 이를 이용하여 실시간 영상 추적을 하였다. 능동보의 움직임이 1차원으로 제한되어 있어 에너지 함수의 탐색 방향이 줄어들어 빠른 수렴 결과를 얻을 수 있었다. 기존의 능동보를 이용한 물체의 경계 추출 성능을 높이고자 두개의 능동보 모델을 사용하여 실험한 결과 복잡한 배경

에 대해서도 뛰어난 외각 경계 추출 능력을 가져 우수한 영상 추적 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 능동보 모델은 능동보의 방향으로 생성된 에지의 경계를 찾을 수 없다는 단점이 있다. 이러한 문제점은 능동보를 직교로 배치하여 능동 교차(active grid) 개념으로 확장하여 물체의 외각 경계를 추출 한다면 해결 될 것으로 생각된다. 이러한 능동 교차 법을 이용한 물체의 외각 경계 추출 방법 및 영상 추적 방법은 향후에 계속 연구될 계획이다.

참고 문헌

- [1] Kass, M. Witkin, A. and Terzopoulos, D. 1988, "Snakes ; Active Contour Models", *International Journal of Computer Vision*, pp 321-331.
- [2] Terzopoulos, D., Andrew Witkin and Kass, M. 1987, " Symmetry-Seeking Models for 3D Object Reconstruction", *International Journal of Computer Vision*,1.00. 211-221.
- [3] Andrew Witkin, Terzopoulos, D. and Michael Kass, 1987, "Signal Matching Through Scale Space", *International Journal of Computer Vision*,pp.133-144.
- [4] Terzopoulos, D., Andrew Witkin and Kass, M. 1988, "Constraints on Deformable Models: Recovering 3D shape and Nonrigid Motion", *Artificial Intelligence* 36, pp. 91-123.
- [5] Laurent D. Cohen, 1991, "Note: On Active Contour Model and Balloons", *CVTGP*, Vol. 53, No.2,pp 211-218, March.
- [6] Donna J. Williams and Mubarak Shah, 1992, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation", *CVTGP*, Vol. 55, No. 1, pp. 14-26, January
- [7] Amir A. Amini, Saeid Tehrani and Terry E. Weymouth, 1988, "Using Dynamic Programming for Minimizing the Energy of Active Contours in the Presence of Hard Constraints", in *Proc. Second Int. Conf. Computer Vision*, Tarpon, Springs, FL, Dec.
- [8] Amir A. Amini, Terry E. Weymouth, and Ramesh C. Jain, 1990, "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision", *IEEE PAMI*, Vol. 12, No. 9, September.
- [9] 이진우, 이재욱, 박광일, 오준호,1995, "능동보를 이용한 영상 추적 알고리즘", *대한기계학회*, 19 호, pp 1220-1229.
- [10] 김재선, 조형석, 1996, " 다잡음 영상에서 공간 상호 작용을 이용한 연속 경계의 복원 및 응용", *한국과학 기술원 박사학위 논문*
- [11] Frederic Leymarie and Martin D. Levine, 1993, "Tracking Deformable Objects in the Plane Using an Active Contour Model", *IEEE PAMI*, Vol.15, No. 6, June, pp. 617-634.
- [12] John Canny, 1986, " A Computer Approach to Edge Detection", *IEEE PAMI*, Vol. 8, No. 6, November.
- [13] Berthold Klaus, Paul Horn, 1987, *Robot vision*, MIT press
- [14] William H. Press, Brain P. Flannery, Saul A. Teukolsky, and William T. Vetterling, 1988, *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, pp. 299-302.