

스테레오 영상에서의 그래프 컷에 의한 객체 기반 윤곽 추출

강대훈¹, 오장석¹, 이연석², 하승한², 김민기¹
¹고려대학교 전자정보 공학과 3차원정보처리연구소
²고려대학교 의과대학 영상의학연구소

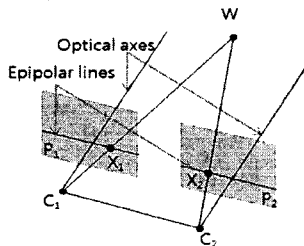
Object based contour detection by using Graph-cut on Stereo Images

Taehoon Kang¹, Jangseok Oh¹, Onseok Lee², Seunghan Ha², Mingi Kim¹
¹Department of Electronics and Information Engineering, Korea University, Seoul, Korea
²Research Institute for Skin Image, Korea University School of Medicine, Seoul, Korea

Abstract - 오래 전 부터 영상처리와 컴퓨터 비전은 많은 분야에 응용되고 발전 되어 왔다. 그러한 기술 중에 최근 각광 받고 있는 그래프 컷(Graph cut) 알고리즘은 에너지함수를 최소화 하는 가장 강력한 최적화 기법중 하나이다. 그리고 일반적으로 Sobel, Prewitt, Roberts, Canny 에지(edge) 검출기 등은 영상처리에서 영상상의 에지를 검출하기 위해 이미 널리 사용되고 발전되어 온 기술이다. 물체에서의 윤곽만 검출하기 위해서는 우리가 원하지 않는 영상 위의 에지도 검출되기 때문에 에지 검출기만으로는 물체의 윤곽만을 검출하는 것은 불가능하다. 우리는 물체의 윤곽만 검출하기를 원하기 때문에 그래프 컷과 에지 검출기의 알고리즘을 결합하면 이러한 문제를 해결 할 수 있다는 것을 제안한다. 이 논문에서는 그래프 컷 알고리즘과 에지 검출기에 대해 간략하게 기술하고 그 결과를 보일 것이다.

1. 서 론

영상 처리에서 가장 중요한 기술 중 하나가 객체의 윤곽을 추출해 내어 사물의 정보를 획득하는 것이다. 최근 그래프 컷 기반의 에너지 함수 최소화 기법은 영상 분할, 영상 복원, 물체 인식 등 그 밖의 많은 분야 [1][2][3][4][5]에 응용되어 왔다. 이 알고리즘은 우리에게 강력한 실험 결과를 보여 준다. 우선, 우리가 제안한 문제를 풀기 위해 <그림 1>에서 좌, 우 영상에서 대응점이라고 불리는 점 $X_1 \leftrightarrow X_2$ 을 갖는 비 수렴형 카메라 모델에서의 스테레오 영상을 획득 한다는 제한 조건이 필요하다.



<그림 1> 비 수렴형 스테레오 모델: 이 모델에서는 한 쌍의 영상에서의 광학 축(optical axes)이 평행하고 에피폴라 선들이 각각 평행하게 정렬되어진 영상을 얻는다

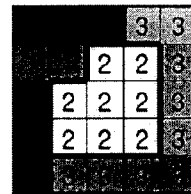
이러한 비 수렴형 모델을 기반으로 변이 맵(disparity map)이라고 불리는 새로운 영상을 얻을 수 있다. 이 논문의 주 아이디어는 이러한 변이 맵을 물체에 대한 분할 영상이라고 생각함으로써 객체의 윤곽을 추출 한다는 것이다. 여기서 우리는 에너지 함수를 정의 하고, 그 함수를 최소화 하는 그래프 컷을 이용함으로써 변이 맵을 얻을 수 있다. 변이 맵, 곧 분할 영상은 객체를 인식하기 위한 최소한의 정보를 가지고 있다.

그리고 기본적인 영상 처리 기법[5][6][7]중 하나인 에지 검출기는 실제 이미지 상의 특징을 강화하여 에지를 검출해 냄으로써 영상 분할 및 분리, 인식 등에 전처리 단계로 널리 응용 되어 왔다. 이러한 에지는 영상에서의 intensity 값의 갑작스런 변화를 의미 하지만 이것이 물체의 윤곽을 반드시 보장 하는 것은 아니다. 여러 에지 검출기 중에 우리는 사용한 Canny 검출기를 사용 한다. 검출기의 원리는 영상에서 픽셀의 기울기 크기가 최대 intensity 변화의 방향 쪽으로 양쪽의 픽셀의 기울기 크기보다 크다면 에지 로써 픽셀을 분리해 낸다. 이러한 원리로 일반영상에서 에지 검출기는 우리가 원하지 않는 모든 에지를 검출해 낸다. 이러한 이유 때문에 우리는 사물의 윤곽만을 검출하기 위하여 그래프 컷[1][2][3][4]과 에지 검출기[5][6][7]를 결합 할 것이다. 윤곽검출에 있어서 가장 중요한 것은 정확한 영상 분할이기 때문에 우리의 초점은 그래프 컷 알고리즘을 기본으로 한다. 그러나 에너지 함수를 최소화 하기위한 global minimum을 계산하는 문제는 상당히 어려운 문제 중 하나이다. 효율적인 local minimum을 계산하기 위해 swap moves와 expansion moves라 불리는 알고리즘이 있다[1][2][3]. 이중 우리는 에너지 함수를 최소화 하기위한 expansion moves를 사용한다.

2. 본 론

2.1.1 에너지 함수

컴퓨터 비전에서 에너지 함수를 최소화 하기위한 많은 임무중 하나는 모든 픽셀에 label을 할당 하는 방법이다. 우리는 이러한 문제를 픽셀 라벨링 문제(pixel labeling problem)라고 정의 한다. 이러한 label은 모션 혹은 스테레오의 응용 분야에서는 변이(disparity)를 의미하고 영상 복원에서는 intensity를 의미 한다. 픽셀 라벨링 문제에서 목표는 각각의 픽셀에 라벨 $p \in P$ 을 $f_p \in L$ 로 할당하는 라벨링 f 를 찾아내는 것이다 여기서 P 는 픽셀의 집합 이고, L 역시 라벨의 집합 이다. 우리는 영상에서 픽셀의 라벨링 이 해를 돕기 위해 <그림 2>를 제공 한다[1][2].



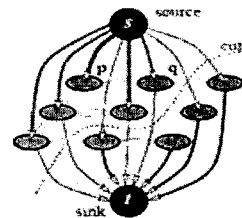
<그림 2> 컬러 이미지 라벨링의 예: 컬러는 픽셀 P 의 집합이고 L 은 $L_p \in \{1, 2, 3\}$ 을 할당하는 라벨이다.

우리는 이 픽셀 라벨링 문제를 풀기위해 에너지 함수를 공식화 할 수 있다. 에너지 함수의 형태는 다음과 같다[1][2][3][4].

$$E(f) = \sum_{p \in P} D_p(f_p) + \sum_{p, q \in N} V_{p, q}(f_p, f_q) \quad (식. 1)$$

이 식에서 data term이라고 하는 D_p 는 영상에서 주어진 관찰된 데이터에서 픽셀 p 에 라벨 f_p 를 얼마나 잘 할당하느냐를 의미 한다. 이웃하는 픽셀 p, q 사이의 변이 변화를 나타내어주는 함수 $V_{p, q}$ 는 smoothness term 이라고 한다.

2.1.2 그래프 컷



<그림 3> 그래프 g 의 cut: 붉은색과 파란색 선은 $n-link$ 이고 노란색 라인은 $t-link$ 이다. 선의 두께는 에지 cost를 의미한다.

위에서 언급했듯이 그래프 컷은 에너지 함수를 최소화 하는 f 를 찾기 위해 사용된다. 그래프 $g = \langle V, E \rangle$ 는 터미널이라고 불리는 두 개의 특별한 node를 갖는다. V 는 node들의 집합이고 E 는 에지의 집합이다. 또한 터미널은 source와 sink를 의미하는 (s, t) 이다. 이 논문에서 node들은 픽셀을 의미 한다. <그림 3>에서 두 개의 터미널 (s, t) 를 갖는 그래프 컷의 예를 보여준다. 그래프에서 에지는 $n-link$ 와 $t-link$ 라고 불리는 두 타입을 구성 한다. 그러한 모든 에지들은 음이 아닌 weight와 cost들로 이루어져 있다 [1][2].

그래프에서 $n-link$ 들은 이웃하는 픽셀들의 짝으로 연결되어 있다. 그래서

n -link의 cost는 픽셀간의 불연속의 penalty를 의미하고 이것은 위의 식(1)에서 smoothness term V 로 유도될 수 있다. 또한 터미널 혹은 라벨과 연결된 t -link는 픽셀에 라벨을 할당하는 penalty이고 이것은 위의 식(1)에서 data term D 로 유도 될 수 있다[1][4].

우리는 그래프 g 에서 발생 할 수 있는 모든 cut들 사이에서 최소의 cost를 갖는 minimum cut을 찾아야 한다. <그림 3>에서 녹색선이 최소의 cost를 나타내는 cut이라고 할 때, cut $C=(S, T)$ 를 중심으로 $s \in S$ 이고 $t \in T$ 인 분별된 두 개의 S 와 T 로 node들은 분리되어 진다. 이러한 minimum cut을 발견 하는 문제는 source s 로 부터 sink t 까지의 maximum flow를 찾는 문제와 같다. 이것을 min-cut/max-flow라고 부른다[1].

간략하게 그래프 컷에 의한 에너지 함수를 최소화 하는 방법에 대해 소개 하였다. 이 알고리즘은 분할 이미지 혹은 변이맵을 찾기 위한 강력한 기법으로 이 논문에서 객체의 윤곽을 검출해 내기 위해 사용되었다.

2.2 Canny 에지 검출기

에지 검출은 intensity 값의 변화라는 의미 있는 불연속을 나타내는 공통의 접근방법이다. 기울기를 나타내는 1차 혹은 2차 도함수는 이미지의 에지를 검출하는데 유용하다. 에지 검출기는 이미지 intensity의 2-D 기울기의 벡터 함수를 사용함으로써 간단한 2-D 공간 기울기 측정을 수행한다[5].

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

기울기 크기(G)와 방향(θ)을 다음의 간단한 식으로 표현할 수 있다.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

Sobel, Prewitt, Robert 검출기들은 이러한 간단한 식을 바탕으로 동작한다[7].

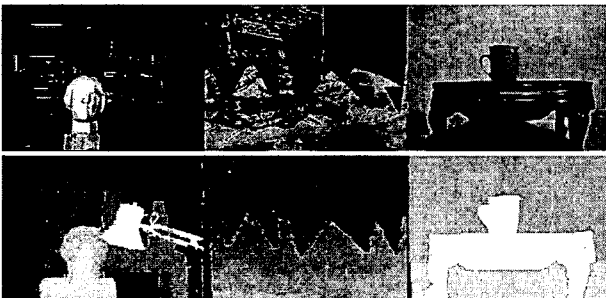
John Canny[6]에 의해 개발된 Canny 검출기는 전 세계적으로 사용되는 최적의 에지검출기이다. 이 검출기는 smoothed 영상의 2차 편미분에 의한 검출을 기반으로 한다. Canny 에지 검출기의 절차는 다음과 같다[5].

1. smoothed 영상을 만들기 위해 적절한 2-D 가우시안 필터를 사용한다.
2. smoothed 영상에서 각 픽셀에 기울기 크기와 방향을 계산 한다. 에지 point는 기울기의 방향으로 point의 strength가 최대인 점이다.
3. 정해진 기울기 방향에 따라 non-maximal suppression을 수행한다. 결과 이미지의 가는 선을 만들기 위해 정해진 기울기 방향에 존재하는 equalized 픽셀 값 중 maximum을 제외 하고 모든 픽셀을 0으로 지정한 후 최소한의 에지를 구한다.
4. 에지의 결정은 hysteresis 기법으로 정해진다. 이 방법은 에지를 이루는 픽셀 값의 편차가 클 경우 단일한 threshold 값을 적용시켜 에지의 일부가 제거되는 것을 방지한다. $T1, T2$ 에서 $T1 < T2$ 인 두 개의 threshold가 사용되어지며, $T2$ 보다 큰 값은 에지로 간주되고, $T1$ 보다 작은 값은 에지가 아닌 것으로 간주된다. $T1$ 과 $T2$ 사이의 값은 주변에 $T2$ 이상의 값이 있을 경우 에지로 간주된다.

위의 절차대로 smoothed 영상에 threshold로 결정되는 Canny 에지 검출기는 무의미한 에지를 제거한다. 즉, intensity의 불연속을 추적함으로써 결과영상을 얻을 수 있다. 우리는 그래프 컷에 의해서 얻어진 변이 맵 혹은 분할영상을 $f(x, y)$ 라고 생각할 수 있다. 이 영상위에 Canny 에지 검출기를 적용함으로써 우리가 원하는 객체 윤곽 추출을 수행하게 된다.

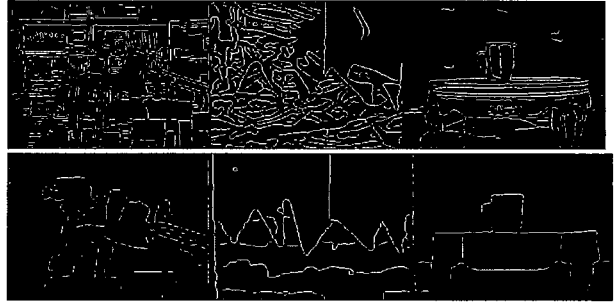
3. 결 론

비 수렴형 카메라 모델로부터 얻은 스테레오 좌, 우 영상에 그래프 컷을 적용한 후 획득한 변이 맵은 다음과 같다.



<그림 4> 그래프 컷에 의한 분할영상: 위 영상들은 스테레오 영상의 좌 영상, 아래 영상들은 그래프 컷에 의한 분할영상

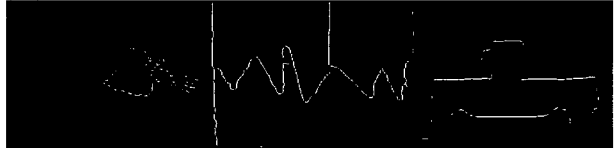
<그림 4>의 첫 번째 영상은 384X288 사이즈를 갖는 Tsukuba 대학에서 만들어진 영상이고, 두 번째 217X190 사이즈를 갖는 톨니 영상은 Middlebury Stereo Vision에서 제공하는 'synthetic' 영상이다. 세 번째 361X240 사이즈를 갖는 컵 영상은 만들어진 일반 영상이다. <그림 4>의 스테레오 영상의 본래 영상과 분할 영상에 각각 Canny 에지 검출기를 적용 하면 다음과 같은 영상을 얻을 수 있다.



<그림 5> Canny 에지 검출기에 의한 결과 영상: 위의 영상들은 스테레오 좌 영상에 적용하였고 아래 영상은 변이 맵 위에 적용 한 후의 결과 영상

<그림 5>는 스테레오 영상과 분할 영상간의 Canny 에지 검출기를 적용한 차이를 잘 보여주고 있다. 객체 내에서의 불필요한 에지 성분들은 많이 사라졌고, 객체를 인식할 수 있는 최소한의 에지들만이 남아 있는 것을 확인할 수 있다. 이것을 통해 우리가 원하는 객체를 추적 하거나 답지할 수 있는 최소한의 정보를 에지를 통해서 얻을 수 있게 된다.

<그림 5>의 결과 영상에서 2.2에서 언급했던 $T1$ 과 $T2$ 의 적절한 재조정을 통해서 다음과 같은 특정 객체의 윤곽 추출이 가능하다.



<그림 6> Canny 에지 검출기의 개선된 결과

우리 실험의 주요 결과는 <그림 6>에서 보여준다. Canny 에지 검출기는 분할 영상의 각 픽셀의 기울기 크기와 방향을 계산한다. 우리는 이러한 객체 윤곽 검출의 실험 결과를 얻기 위해 반복적인 실험을 통해서 $T1$ 과 $T2$ 의 parameter 값을 조절 하였다. 그 결과 <그림 5>와 <그림 6>의 결과 영상이 보여 주듯 적절한 $T1, T2$ 를 찾는다면 더 나은 수행 결과를 보여준다. 하지만 이러한 과정은 자동적으로 이루어지는 것이 아니기에 개선점이 필요하다. 하지만 parameter 값을 조절함으로써 얻은 영상의 결과는 객체의 윤곽에 아주 정확하게 일치 하는 것은 아니다. 이러한 단점을 보강하기 위해 실험의 결과를 Snake 알고리즘[8]의 초기 윤곽선으로 설정해 줌으로써 좀 더 정확한 객체 윤곽 검출을 위한 앞으로의 성능효과를 기대할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Boykov, Y., Kolmogorov, V., "An Experimental Comparison of Min-Cut/Max-Flow Algorithms for Energy Minimization in Vision" In IEEE Transactions on PAMI, 26(9):1124-1137, 2004.
- [2] Boykov, Y., Veksler, O.Zabih, R., "Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts" Proc. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 23(11):1222-123, 2001.
- [3] Olga Veksler. "Efficient Graph-based Energy Minimization Methods in Computer Vision." PhD thesis, Cornell University, July 1999.
- [4] V. Kolmogorov and R. Zabih. "What energy functions can be minimized via graph cuts?" IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 26(2):147-59, Feb. 2004.
- [5] Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, "Digital Image Processing, second edition" Prentice Hall, 2002, chapter 10.
- [6] J.Canny, "Computational approach to edge detection," IEEE Trans. PAMI, 8(6):679-98, 1986.
- [7] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of Edge Detection" Proc. of the Royal Society of London B, 207:187-217, 1980.
- [8] C. Xu and J. Prince. "Snakes, shapes, and gradient vector flow" IEEE Transactions on Images Processing, 7(3):359-369, 1988.