

인간의 시각 기능에 기반을 둔 경계선 추출 모델링

최경주, 이일병
연세대학교 컴퓨터과학과
e-mail:kjcheoi@csai.yonsei.ac.kr

Edge Detection Modeling Based on Human Visual Function

Kyungjoo Cheoi, Yillbyung Lee
Dept of Computer Science, Yonsei University

요약

경계선 추출(edge detection)은 영상처리 및 인식 분야의 여러 응용분야에서 쓰이는 중요한 전처리 과정 중 하나이다. 경계선이란 두 영역 사이의 경계에 위치한 점들[12]을 말하며, 경계선 추출은 영상 상속에 위치한 이런 경계점들을 찾는 작업을 말한다. 경계선 추출 방법에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔지만, 사물의 실제 경계선을 정확히 추출해내는 것은 여전히 어려운 문제로 남아있다. 이에 본 논문에서는 인간의 시각 정보처리 방법을 기존 문헌을 통해 분석하고 이를 기반으로 한 경계선 추출 모형을 제안한다. 제안된 모형은 기존의 수학적인 시각 모형에서 불가피하게 제외되는 시각 특징 및 인간의 시각기관의 특징을 포함할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

영상처리 및 인식 분야에 있어서 주요 문제 중의 하나는 적절한 경계선을 추출해 내는 일이다. 흔히 인간이 묘사하는 영상의 많은 부분들은 대상물의 경계선을 주제로 한 선으로 구성되는 그림으로 표현될 수 있는데, 이 단순한 경계선에 의하여 무엇을 묘사하는가를 충분히 이해할 수 있다는 사실 하나만으로도 경계선은 물건을 보고 이해한다는 것 이상의 능력이 요구된다는 것을 알 수 있다. 또한 영상을 경계선만으로 표현하게 되면 영상 속의 물체의 형태에 관한 정보를 그대로 유지하면서 영상인식의 상위단계에서 처리하여야 할 데이터의 양을 크게 줄일 수 있다[11]. 그러므로 영상처리 및 인식에 있어서도 경계선을 추출한다는 것은 중요한 개념 중 하나가 되고 있다. 기본적으로 경계선이란 배경과 개체 사이의 경계, 또는 겹쳐진 개체들 사이의 경계가 경계선이기 때문에 영상의 명암과 색의 급격한 변화가 있

는 부분을 경계선이라고 말할 수 있는데, 경계선은 물리적으로는 존재하지 않지만 시각적으로 경계선으로 인식되는 많은 시각적 오류가 있기 때문에[13], 영상에서 경계선을 구성하고 있는 것이 무엇인지를 정확히 정의하고 이를 추출해내는 것은 매우 어려운 일이다. 이런 이유로 지금까지 경계선 추출에 관련된 많은 연구[3][7][8][10]가 진행되어 왔지만, 물체의 실제 경계선을 정확히 추출해내는 것은 여전히 어려운 문제로 남아있다. 이에 본 논문에서는 인간의 시각 기능을 기반으로 하여 기존의 시각 모형에서 불가피하게 제외될 수밖에 없었던 시각 특징을 포함할 수 있는 경계선 추출 모형을 제안하고자 한다. 다음 2장에서는 인간의 경계선 추출 방법을, 3장에서는 이에 기반을 둔 경계선 추출 모형을 설명하고, 4장에서 결론을 내린다.

2. 인간의 경계선 추출 방법

2.1 망막에서의 정보처리

외부 시각 세계로부터 안구로 입력되는 정보는 망막 안에서 여러 세포를 거쳐 궁극적으로 뇌로 전달된

본 연구는 '99 과학기술부 뇌연구개발사업의 지원으로 수행하였습니다.

다. 망막의 광수용기로부터 빛 에너지를 받아서 신경절 세포의 활동으로 바꾸어 주는 기제는 아주 복잡미묘한 문제이기도 하지만, 우리 뇌가 보는 것은 단지 신경절 세포(ganglion cell)의 활동이다. 신경회로에 따라 신경절 세포는 흥분할 수도 있고 억제될 수도 있는데, 이러한 신경절 세포의 반응률에 영향을 줄 수 있는 망막 표면의 영역을 그 세포의 수용야(receptive field)라고 한다. 신경절 세포의 수용야는 "중심흥분, 주변억제(on-center, off-surround)"와 "중심억제, 주변흥분(off-center, on-surround)"의 두가지 형태만 존재하며[9], 중심과 주변사이의 대비에 민감하다는 공통점이 있다. 포유동물의 경우 신경절 세포의 수용야는 원형 또는 타원형의 형태를 지니는데, 만일 "중심흥분, 주변억제" 형태의 수용야인 경우 광점이 수용야의 중심부를 비치게 되면 그 신경절 세포는 흥분되어 반응률이 증가하고, "주변억제" 영역으로 옮겨지게 되면 반응률이 감소하게 된다. 신경절 세포가 이런 수용야를 갖는다는 것은 수용야 중앙에 있는 세포가 흥분을 하면 그 주변세포의 흥분이 양극세포에서 신경절 세포로 전달되지 못하도록 수평세포가 억제성 시냅스 결합을 하고 있기 때문인 것으로 보며, 이를 측면억제(lateral inhibition)이라 한다. 이러한 측면 억제에 의해 어두운 부분과 밝은 부분을 더 분명히 구분하는 경계선이 형성된다.

망막에서 입력되는 정보의 경계선 추출에 관련된 것으로는 Campbell과 Robson, Wilson과 Giese, 그리고 Wilson과 Bergen의 실험을 통해 $\nabla^2 G$ 필터가 가장 적합한 필터라는 결과임을 보였다[2][9][13]. 신경절 세포의 수용야는 대략 DOG(difference of two Gaussians) 함수의 형태를 가진다. 정신 물리학적으로 결정되는 채널에 대해 수학적 근거가 되는 것이 $\nabla^2 G$ 필터이다. $\nabla^2 G$ 는 band-pass 필터로써, 1:1.16의 공간 상수(space constants)를 가지는 DOG 함수와 유사하다는 것이 밝혀졌다.

인간의 망막에는 외부의 완전한 상이 투사되는 것이므로, 우리가 망막에 분포하는 수백만개 가량의 신경절 세포의 활동을 모두 기록한다면 외부의 상과 거의 완전하게 같은 상이 기록될 수 있을 것이지만, 각각의 신경절 세포는 단지 그 수용야에 제시된 빛의 양이 많은지 적은지만을 나타낼 뿐 그 이상의 어떤 일도 하지 않는다.

2.3 대뇌 시각 영역에서의 정보처리

육식동물이나 영장류와 같은 고등 포유동물은 가

장 단순한 "흥분-억제" 형태의 수용야만 가지고 있으며, 경험이나 학습이 필요한 매우 복잡한 시각적 정보 처리는 망막보다는 뇌에서 이루어진다.

대뇌 시각 영역의 시각피질을 잇는 대부분의 뉴런은 기본적인 "중심흥분-주변억제" 수용야로부터 보다 복잡한 수용야를 구성해 나가며, "세부 특징 탐지기(feature detector)"라는 세포가 구성될 수 있다. 대뇌 시각 영역에서는 여러 종류의 특징에 반응하는 신경세포가 계층적으로 존재하고 있다는 연구결과가 많이 발표되어 있다[1][4][5]. 예를 들어 우리가 책상 위의 흰색 A4용지를 볼 때, 흰색 A4용지는 빛을 반사하여 우리 망막의 상당히 넓은 영역에 투사될 것이고, 빛을 받은 망막부위에 수용야를 가지고 있는 일차피질세포들은 전혀 아무런 활동도 하지 않을 것이다. 왜냐하면 중심부와 주변부가 서로 균형을 맞추고 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 우리는 분명히 흰 종이를 볼 수 있는 것은 바로 경계선 때문이라고 할 수 있다.

3. 경계선 추출 모형

기존의 시각 모형은 정형화된 모형이 많았다. 이러한 수학적 모형의 경우 불가피하게 제외되는 시각적 특징들이 있었는데, 제안하는 모형은 심리학적 실험의 결과로 구한 데이터를 사용하여 신경망으로 구현한다. 이렇게 함으로써 정형화된 모형으로서 설명하지 못하는 시각적 특징들을 포함시킬 수 있다.

3.1 모형의 기본 구조

경계선 추출을 위한 모형은 기본적으로 인간의 시각 경로가 행하는 방향성 탐지와 위치 탐지의 기능을 수행할 수 있어야 한다. 단순한 경계선 추출은 DOG(Difference Of two Gaussians) 함수 형태를 반응 보이는 신경절 세포들의 작용에 의해 쉽게 구현할 수 있으며, 이러한 신경절 세포의 반응을 적용한 신경망을 사용하여 경계선 추출을 위한 모델을 정립할 수 있다.

경계선 추출을 위한 기본 모형은 그림 1과 같으며, 다음과 같은 구조와 특징을 갖는다.

- 1) 광수용기 기능에 해당하는 입력 층을 갖는다.
- 2) 신경절 세포의 기능에 해당하는 신경절 층을 갖는다. 신경절 층은 입력 층에서 입력을 받아들인다.
- 3) 입력 층의 노드와 신경절 층의 노드는 각기 위치 관계에 있으며 한개의 신경절 층 노드는 일정 범

위의 입력 층 노드에서만 입력을 받으며, 그 입력 비중은 DOG 함수의 형태를 갖는다.

- 4) 입력 층 노드의 수는 실험 환경(실험에 사용될 이미지의 크기)에 적당하도록 결정한다. 하지만 입력 층 노드의 수와 신경절 층 노드의 수의 비는 인간의 중심와에 존재하는 광수용기의 수와 신경절 세포의 수의 비에 해당하는 6:1이다.
- 5) 시각 피질의 단순형 세포와 복잡형 세포의 기능을 하는 경계선 추출 층을 갖는다. 경계선 추출 층은 신경절 층에서 입력을 받는다.
- 6) 인간의 전체 시야 중 중심와 부분만을 모형으로 정립한다.

▶ 신경절 층

일정범위의 입력층에서 입력을 받으며, DOG 함수 형태와 반응을 보인다.

▶ 경계선 추출 층

일정범위의 신경절 층에서 입력을 받으며, 신경절 층의 반응으로 입력된 영상의 경계선 유무를 추출한다. 내부에 별도의 은닉 층을 포함하고 있다.

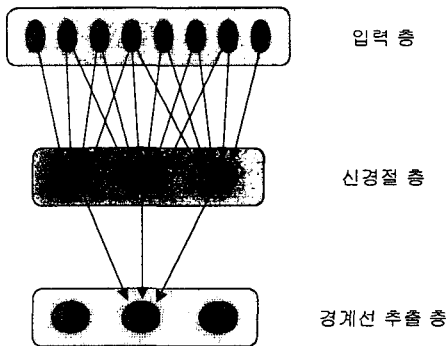


그림 1 모형의 기본 구조

3.2 수정된 모형

위와 같은 기본적인 모형은 정지영상이 아닌 동영상의 경우 한계를 보인다. 인간의 시각은 연속된 영상 입력에 대하여 잔상 효과가 있고, 초점이 맞지 않은 경우 방향과 초점거리를 조절하여 최적의 경계선을 추출한다. 또한 명암의 대비가 있는 경우 지각되는 명암의 차이는 입력된 명암의 차이보다 크게 지각된다. 그리고 전체적인 밝기가 변경된 경우 광수용기의 감도를 조절한다. 정지영상이 아닌 동영상에서도 경계선 추출과, 추출된 경계선의 추적을 위해서는 이러한

기능이 반영되어 모형이 정립되어야 할 것이다.

이를 위하여 기본 모형을 다음과 같이 수정하여 실험을 한다. 수정된 모형은 그림 2와 같다.

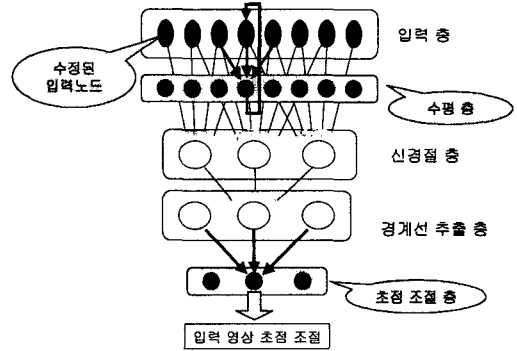


그림 2 수정된 모형

1) 잔상효과, 명암 대비 증가

잔상효과는 광수용기 세포가 발화한 후 일정시간동안 발화하지 못하는 것을 포함한 다른 원인으로 발생한다. 명암의 급격한 변동이 있는 경계선 주위에 해당하는 광수용기의 반응은 주변 광수용기의 반응과 관련되어 있다. 이러한 잔상효과는 동영상에서 경계선의 움직임을 추출하는데 중요한 단서로 작용한다. 이러한 효과를 적용하기 위하여 입력 층의 노드 자체를 작은 신경망으로 구성하여 심리학적 실험을 통한 데이터에 부합하는 구성한다. 또한 주변 입력 층 노드와의 관계로 인한 명암 대비 효과를 주기 위해 수평 층을 추가한다. 수평 층은 입력 층에서 입력을 받으며 그 출력을 다시 입력 층으로 입력에 포함한다. 수평 층은 자체적으로 은닉 층을 가질 수 있다.

2) 초점 조절

인간의 시각 기관은 초점을 맞추기 위해 수정체의 두께를 조절하여 초점거리를 변경한다. 이는 경계선이 추출되었을 때 그 추출된 강도와 그 신호에 의한 안구의 운동신경간의 상호 작용으로 작동한다. 변경된 초점 거리와 다시 추출된 경계선의 강도를 이전의 강도와 비교하여 최적의 경계선이 추출되도록 다시 초점거리를 조절한다. 이러한 식으로 최적의 경계선을 구할 수 있으며 또한 깊이 지각에도 이용될 수 있다.

3) 감도 조절

광수용기는 전체 밝기에 의해 그 감도를 조절한다. 이러한 기능 역시 위에서 언급한 하나의 신경망으로 구성된 입력 층의 입력 노드와 수평 층에서 심리학적 실험을 통한 데이터를 사용하여 실험되어야 할 것이

다.

▶ 수정된 입력 노드

단순한 광수용기 기능 이외에 과거의 출력과 현재의 입력 등에 의해 입력된 값을 조절할 수 있다. 입력 노드는 별도의 신경망으로 구성되며, 출력된 결과를 저장하는 경로가 있다. 저장된 과거의 출력값은 다음의 입력으로 사용된다. 별도의 신경망으로 학습된 입력 노드는 심리학적 실험으로 구한 광수용기의 입력에 대한 반응과 같은 기능을 한다. 인간의 시간에 따른 광수용기의 반응을 신경망으로 구현하며, 잔상 효과를 기대할 수 있다. 입력된 영상의 밝기에 따라 점차 감도가 조절된다. 별도의 신경망으로 구성된 입력 노드의 반응이 심리학적 실험으로 구한 데이터와 부합하도록 학습시킨다.

▶ 수평 층

각 광수용기의 반응은 주변의 광수용기의 입력에 의해 영향을 받는다. 수평층은 이러한 기능을 담당한다. 수평 층은 입력 노드의 출력을 입력으로 하고 그 출력은 다시 입력 노드의 입력으로 사용된다. 이러한 수평 층은 명암을 대비시키는 기능을 갖는다. 인간의 광수용기가 주변 광수용기의 현재 상태에 따른 반응을 신경망으로 구현한다. 수평 층 내부에 별도의 은닉 층을 가진다.

▶ 초점 조절 층

경계선 추출 층에서 입력을 받아 영상 입력 기기로 출력값을 출력하게 되며, 초점 조절 층에서 출력한 값으로 입력 영상의 초점거리를 조절한다. 경계선 추출의 강도가 가장 클 때 초점 거리가 적당하다.

4. 결론

우리는 본 논문을 통하여 인간이 외부 시각세계로부터 받아들인 시각 정보가 신경 전달 경로를 통해 축약되고 대뇌에서 인식되기까지의 신호 전달 메커니즘을 간략적으로 이해할 수 있다. 또한 이에 기반하여 제안된 경계선 추출 모형은 기존의 수학적인 시각모델에서 불가피하게 제외되는 시각적인 특징들을 포함할 수 있으며, 인간의 시각기관의 특징인 잔상 효과, 경계면에서의 명암 대비 증가, 초점 조절을 통한 최적의 경계선 추출, 전체 밝기 변화에 따른 감도조절 능력 등을 반영할 수 있다.

앞으로 이 모형의 실질적인 실험을 통하여 제안한

방법의 가능성과 효용성을 검증해야 할 것이며, 본 방법을 여러 분야에 존재하는 시각 데이터에 확대 적용함으로써 그 응용분야를 실질적인 분야로 확대해 나가야 할 것이다.

참고문헌

[1] Bruce and Desimone and Gross, "Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque," *Neurophysiology*, 46, pp. 369-384, 1981.

[2] Campbell and Robson, "Application of Fourier analysis to the visibility of gratings." *J. Physiol. (Lond.)* 197, 551-566. 1968.

[3] Davis, "A Survey of Edge Detection Techniques," *Computer Graphics and Image Processing*, pp.248-270, 1975.

[4] Hubel, "Eye, Brain, and Vision." New York: Scientific American Library, 1988.

[5] Hubel and Wiesel, "Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint." *Journal of Neurophysiology*, 28, pp. 1041-1059, 1965.

[6] Marr, *Vision*, New York: W.H.Freemann and Company, pp.51, 1982. pp.753-763, May 1979.

[7] Marr and Hildreth, "Theory of edge Detection," *Proc. Roy. Soc. London*. vol. 207, 1980.

[8] Peli and Malah, "Survey of Edge Detection Algorithm," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol 20, pp.1-21, 1982.

[9] Robson, "Oculomotor control signals. In *Basic Mechanisms of Ocular Motility and Their Clinical Implications*," ed. G. Lennerstrand and P. Bach-y-Rita, pp. 337-74. Oxford: Pergamon, 1975.

[10] Rosenfeld and Kak, *digital Picture Processing*, New York:Academic Press, 1982, 1&2.

[11] Sarker and Boyer, "On Optimal Infinite Response Edge Detection Filters," *IEEE Transac. on PAMI*, Vol, 13, No. 11, pp.699-714, November 1986.

[12] Vallard and Brown, *computer Vision*, Prentice-Hall, 1982.

[13] Wilson and Giese, "Threshold visibility of frequency gradient patterns," *Vision Res.* 17, 1177-1190, 1977.