

기하학적 착시에 특징점 추출을 위한 시각 모델

정은화, 홍경호
천안대학교 정보통신학부

A Visual Model for Extracting the Feature Points from Geometrical Illusions

Eun-Hwa Jeong, Keong-Ho Hong
Dept. of Infomation & Communication, Cheonan University

요 약

불연속선에 의해 생성된 기하학적 착사에서 특징 점들을 추출하는 시각 모델을 제안한다. 기하학적 착시는 선이나 원으로 구성된 것으로서 인간의 정보처리 경로를 통해 발생하는 인지현상 중의 하나이다. 이러한 인지 현상은 외부 세계에 존재하는 동일한 강도의 물리적 에너지를 주변 자극의 영향 때문에 실제와 다르게 해석하는 현상이다. 착시 그림들로부터 착시 윤곽을 이루는 특징 점을 추출하는 시각 모델을 제안한다. 제안된 인식 모델은 윤곽 추출, 시각 특징 추출, 시각 특징 복원, 유도 자극 추출, 이미지 복원 및 이미지 연산 단계로 구성된다. 제안된 모델은 불연속적인 선에 의해 나타나는 착시 윤곽에서 특징 자극들을 추출한다.

1. 서 론

착시란 물리적으로는 윤곽이 없는 곳에, 주변의 패턴의 영향에 의해 윤곽이 있는 것처럼 느끼는 현상인데, 이와 같은 현상은 물체 인식 등에 있어서 일부가 숨어있는 물체를 그 주위의 정보를 이용해서 보충하면서 인식해 가는 능력과 관계가 있다.

기하학적 착시를 보이는 대부분의 패턴들은 항상 착시 윤곽을 기준으로 급격한 만곡(彎曲)이나 분리된 면이 지각된다. 본 연구에서 다루는 기하학적 착시를 일으키는 패턴은 색의 변화와는 무관하게 발생하

는 시지각 현상이기 때문이다. 이러한 인지 현상은 밝기의 차이에 의해 생성되기도 하고, 색의 차이에 의해 생성되기도 한다. 그런데 특이한 것은 완전히 동질(等質)의 시야에서도 윤곽선이 존재하는 것처럼 보이는 기하학적 착시가 존재한다는 것이다.

그림 1은 기하학적 착시의 대표적인 예이다. 그림 1(a)와 (b)에 나타난 그림들은 각각 중앙에 명확한 윤곽을 갖는 사각형의 면이나 물결 모양의 곡선 윤곽이 지각된다.

그림 1에서 윤곽의 개방된 부분을 관찰하면, 명확한 윤곽을 인식할 수 있는 물리적 근거는 아무것도 없다. 다만 직선의 끝점들이 만나 이루는 부분에 실제 경계는 없지만 가상의 경계 윤곽을 가진다. 이러한 현상은 대부분의 착시 윤곽에서 볼 수 있는 바와 같이 윤곽선이 없는 경계의 일부만을 주시한다면 윤곽선은 사라져 버린다. 그러나, 그림 전체를 바라볼 때는 착시를 일으키는 윤곽이 매우 뚜렷하게 보인다. 물리적 자극이 존재하지 않는 곳에서 윤곽이 나타나는 이러한 현상은 실험적인 면뿐만 아니라 이론적인 면에서도 많은 연구자들에게 깊은 흥미를 가져 왔다. 이와 같은 효과를 변형한 것이 여러 가지 발견되었고, 그것



(a)

(b)

그림 1. 기하학적 착시들

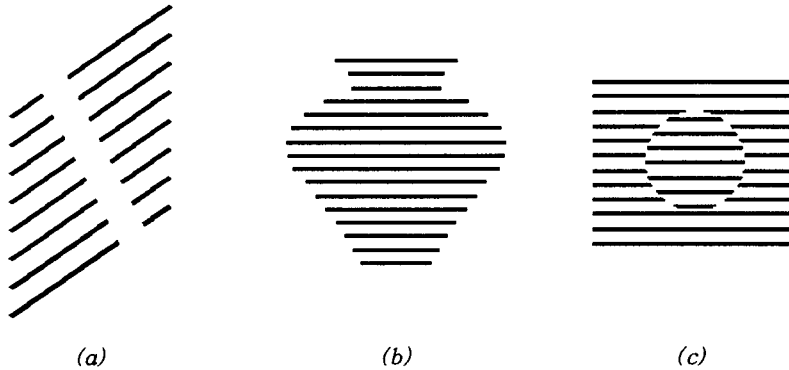


그림 2. 선으로 구성된 기하학적 착시들

에 대한 설명도 여러 가지 존재한다[3].

기하학적 착시를 이루는 그림들은 크게 두 부류로 구분할 수 있다. 그 하나는 그림 1(a)에 나타난 Kanizsa 사각형과 같은 유형의 착시 윤곽들이다. Kanizsa 유형의 착시 윤곽들은 항상 배경이 되는 패턴에 의해 착시 윤곽이 명확하게 보이는 형태이다. 또 다른 하나는 그림 1(b)에서 주어진 착시 윤곽의 예들과 같이, 특정 윤곽을 가진 배경 패턴이 존재하지 않는 형태이다. 전자는 주로 항상 배경이 되는 패턴 위에 착시 윤곽이 주어지는 형태로서 착시 윤곽은 깊이 정보를 포함하는 표면들로 인식되는 경향이 강하다. 반면, 후자는 불연속적인 선들에 의해 생성된 착시 윤곽으로서, 선들의 불연속성에 의해 윤곽의 형태가 지각된다. 이러한 형태의 착시 그림들을 오프셋 격자 착시 윤곽이라고도 한다.

그림 2에서는 본 연구에서 다룬 선의 불연속성에 의해 인지되는 기하학적 착시의 예들을 나타낸다.

기하학적 착시를 가져오는 패턴들을 생물의 시각계가 인식하는 것은 생리심리학적인 실험으로 이미 밝혀졌다. 본 연구에서는 이러한 생리심리학적인 실험 결과들을 근거로 하여 선의 불연속성에 의해 착시 윤곽이 인지되는 기하학적 착시 그림들로부터 특징 점을 추출하는 시각 모델을 제안한다.

2. 관련 연구

가장 기초적인 시각의 처리와 관련된 착시 현상으로서 Caelli와 Umansky[4]가 도트들의 인식에 관해 연구하였다. 일반적으로 일련의 도트 자극들이 일정한 간격으로 연속적으로 배치되어 있을 때, 도트들 각각을 개개의 존재로 인식하기보다는 어떠한 형태를 가

진 선으로 인식된다. 이러한 인식 현상을 Caelli와 Umansky[4]는 수학적 보간 처리에 근거를 둔다고 주장하였다. 그들은 도트들의 인식을 거리와 관련된 공간적 파라미터들의 변화율로 기록하여 구성했다.

대부분의 착시에 관한 연구는 깊이 계층의 정보를 가진 Kanizsa 유형의 착시 윤곽을 다룬 것으로서 생리심리학적인 시각 실험을 연구 대상으로 하고 있다. 착시 윤곽들의 형성을 기술하는 여러 가지 계산적 모델들에 관한 연구에는 Ullman[6], Heitger & Von der Heydt[5], Grossberg[8], Guy & Medioni 등이 있다.

이전의 연구[9]에서는 우리는 Kanizsa 유형의 착시 윤곽으로부터 깊이 계층을 포함하는 정보인 주관적 표면을 인식하는 문제를 시각 정보처리의 개념에서 접근하는 신경회로망 모델을 제안하였다. 본 연구에서는 깊이 정보를 포함하지 않는 불연속적인 선에 의해 생성된 착시 윤곽에 대해 다룬다. 본 연구에서는 시각 신경계의 연구에서 나타난 특징추출 메커니즘을 근거로 한 선의 불연속성에 의해 나타난 기하학적 착시에서 특징 점을 추출하는 시각 모델을 설계한다.

3. 제안된 시각 모델

제안된 기하학적 착시 윤곽의 특징 점을 추출하는 시스템은 시각 신경계의 정보처리 경로상에서 나타난 특징 추출 메커니즘을 참고하여 구성하였다.

시각 정보처리 경로를 살펴보면 빛을 매체로 하여 외부로부터 들어온 정보는 각막, 안방수, 수정체, 초자체를 통과하여 망막(retina)에 2차원 화상으로 투영된다. 외부로부터의 정보는 망막 내 여러 가지 세포를

거쳐 망막의 출력세포인 신경절 세포(ganglion cell)로 전달된다. 좌우 양안의 망막에서 나온 신경절 세포의 출력은 일부의 시신경 교차(optic chiasma)를 거쳐 간뇌의 외측슬상체(lateral geniculate body: LGB)에 도달해 시냅스를 형성한다. 외측슬상체에는 시색섬유와 시냅스 결합해서 대뇌 피질에 전달하는 중계세포가 존재한다.

망막의 신경절 세포의 출력은 시신경을 통해 외측슬상체를 거쳐 시각영역(visual area)에 전달된다. 시각 영역은 대뇌반구의 후부에 위치하고 있다. 또한 수용영역이 동심원형을 갖는 망막이나 외측슬상체의 신경세포와는 달리, 대뇌 피질의 신경세포는 여러가지 형태와 성질을 가진 수용영역이 존재한다.

시각 영역의 신경세포의 수용영역의 성질을 조사하면 이들 수용영역 성질에 근거하여 단순형 세포, 복잡형 세포, 초복잡형 세포으로 분류하였다. 그리고 이들 세포 상호간에는 망막 신경절 세포에서 외측슬상체로, 외측슬상체에서 단순형 세포로, 단순형 세포에서 복잡형 세포로, 그리고 복잡형 세포에서 초복잡형 세포로의 연결성을 갖는 계층적 처리가 존재한다[3].

본 연구는 시각 경로 상에서 나타나는 여러 가지 세포들의 반응 특성을 공간 필터링하여 선의 불연속성으로 구성된 기하학적 착시의 특징 점들을 추출하는 시각 모델을 제안한다.

제안된 모델은 망막 신경절 세포에 의해 추출된 윤곽을 입력으로 하여 시각 피질 영역에 존재하는 단순형 세포에 의해 각 방위별로 반응을 특징을 추출한다. 그 후, 전 단계에서 흐려지거나 손상된 반응을 복원하기 위해 복잡형 세포에 의한 처리를 각 방위별로 수행한다. 그리고 마지막으로 각 방위별로 추출된 반응을 다시 초복잡형 세포에 의한 처리를 함으로 특징 추출에 불필요한 부분을 제거한다. 전 단계의 반응 출력에서 손상된 부분을 복원하기 위해 가우스 함수에 의한 화상 복원을 행한 후 원화상과 이미지 논리연산을 하여 원하는 특징을 추출하도록 구성한다. 각 단계별 처리과정은 윤곽 검출, 시각 특징 추출, 시각 특징 복원, 유도 자극 추출, 이미지 복원 및 이미지 연산 단계로 나눈다.

4. 특징 점 추출

기하학적 착시를 일으키는 특징 점들을 추출하는 과정으로, 시각 신경계의 정보처리 메커니즘을 참고로 한다. 불연속성을 가진 선에 의해 정의된 기하학적 착시는 불연속선들의 끝점이 이루는 특징 점들에

의해 선이나 곡선 혹은 주변의 경계가 인식된다. 그러므로 기하학적 착시에서 착시 윤곽은 불연속적인 선들의 끝점에서 얻어진다.

기하학적 착시를 일으키는 불연속적인 선들로부터 특징 점들을 추출하기 위해, 먼저 원 화상을 이진 화상으로 변환한다(U_0). 본 연구에서 다루는 기하학적 착시를 일으키는 패턴은 색의 변화와는 무관하게 발생하기 때문이다.

윤곽 특징 검출 단계(U_1)에서는 망막에 있어서의 주된 처리로 강도(intensity) 변화를 검출한다. 실험에서 사용할 망막 신경절 세포는 on-중심형 세포로서, 마스크(mask)는 DOG(Difference of two Gaussians) 함수를 사용한다.

시각 특징 추출 단계(U_2)에서 사용되는 단순형 세포의 특징은, 직선형태의 자극에 대해 가장 강하게 반응한다. 이 직선형태의 자극의 방위(직선의 기울기: orientation) 위치가 틀어지면, - 표시 부분에도 자극 광이 주어지게 되어 반응은 억제되어 버린다. 이 때 8방위로 시각 특징을 추출한다.

시각 특징 복원 단계(U_3)에서 사용되는 복잡형 세포의 특징은 동일한 최적 방위를 가진 복수 개의 단순형 세포로부터 흥분성 시냅스 결합을 받고, 이들 단순형 세포 중의 어느 쪽이든 1개라도 반응하면, 복잡형 세포는 발화하게 될 것이다. 이것은 약화된 반응이나 손실된 특징들을 복원하는 기능을 가진다.

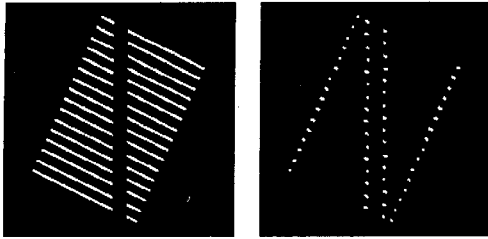
특징 자극 추출 단계(U_4)에서 사용되는 초복잡형 세포의 특징은, 자극의 길이에 무관하게 반응을 보이는 복잡형 세포와는 달리, 반응을 일으키기 위한 자극 패턴의 길이가 수용영역의 한쪽 또는 양쪽에서 제한된다. 초복잡형 세포는 복수개의 복잡형 세포로부터 서로 억제적인 입력을 받고 있다고 생각해서 그 반응을 설명할 수 있으며 곡선이나 에지의 구부러짐의 정도를 검출하는 작용을 하고 있다.

화상 복원 단계(U_5)는 초복잡형 세포에 의해 부분적으로 손상되거나 약한 반응을 재생하고자 하는 역할을 한다.

이미지 연산 단계(U_6)는 원화상과 AND 논리연산을 수행하므로 잡음을 제거한다.

5. 실험 결과

그림 3, 그림 4와 그림 5는 선의 불연속성에 의해 나타난 기하학적 착시 윤곽의 특징점을 추출한 결과이다. 위에서 제시한 일련의 단계별 처리과정을 통하여 각각의 수직선과 경계부분에 해당하는 특징 점



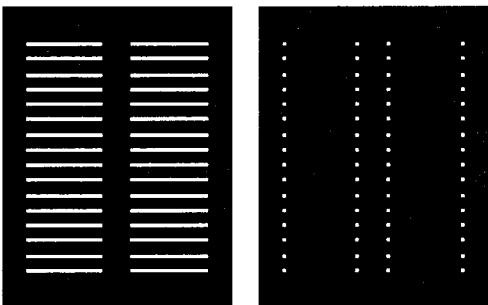
(a) 원 이미지 (b) 결과 이미지

그림 3. 실험 결과1



(a) 원 이미지 (b) 결과 이미지

그림 4. 실험 결과2



(a) 원 이미지 (b) 결과 이미지

그림 5. 실험 결과3

들을 추출하였다. 이것은 윤곽의 끝점을 추출하는 것으로 볼 수 있다. 실험 결과에서 추출된 특징 자극들은 손실이나 잡음 없이 원하는 윤곽의 특징들이 잘 추출됨을 보여준다.

6. 결 론

본 연구는 시각적 인지현상인 기하학적 착시 윤곽을 시각 경로의 시각 특징 추출 메커니즘을 참조하여 불연속적인 선으로 구성된 기하학적 착시의 특징 점들을 추출하는 시스템을 제안했다. 이것은 인간의 시

각 연구에 관한 중요한 분야인 착시 윤곽과 관련된 연구로서 생리 심리학적인 시각 실험들을 공학적으로 구현한 것이다.

기하학적 착시 윤곽들을 인식하는 문제는 기억 및 추론, 주의를 수반하는 인지활동의 개입 없이 발생하는 시각 현상 하나로서 시각의 초기과정에서 기억 및 추론, 주의를 수반하는 인지활동의 개입 없이 발생하는 인식 현상인 에지 검출, 윤곽선이나 텍스처나 음영으로부터 형상의 복원, 면의 복원 등 여러 가지 시각 현상의 인식에도 도움을 줄 것이다.

[참고 문헌]

- [1] D. Marr, Vision, "A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information", W. H. Freedom & Company, 1982.
- [2] Smits J T S, Vos P G, "The Perception of continuous curves in dot stimuli", Perception, volume 16, Page 121-131, 1987.
- [3] Hubel D. H. and Wiesel T. N. "Receptive fields binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex", J Physiology, pp. 106 -154, 1962
- [4] Caelli T M, Umansky J, "Interpolation in the visual system", Vision Research 16, 1055-1060, 1976.
- [5] R. von der Heydt, E. Peterhans, and G. Baumgartner. "Illusory contours and cortical neuron responses. Science Washington, 224:1260-1262, 1984.
- [6] S. Ullman. "Filling in the gaps: The shape of subjective contours and a model for their generation". Biological Cybernetics, 25:1-6, 1976.
- [7] Heitger F. and R. von der Heydt. "A Computational model of neural contour processing: Figure-ground segregation and illusory contours". Proceedings of the IEEE, pages 32-40, 1993.
- [8] S. Grossberg. "3-d vision and figure-ground separation by visual cortex". Perception & Psychophysics, 55(1):48-120, 1994.
- [9] Eunhwa Jeong, K. Hong, W. Lee and W. Kim, "A Visual Cortex Domain Model for Surface Perception of Illusory Contour Figures" Proc. of CISST Intl. Conf. on Imaging Science, Systems, and Technology, Lasvegas, USA, pp.482-488, July 1999.