

# 이산 점 자극에서 연속성 인식 시스템

홍경호, 정은화  
천안대학교 정보통신학부

## A System for Perception of Continuity in Discrete Dot Stimuli

Keong-ho Hong, Eun-Hwa Jeong  
Dept. of Communication and Information, Cheonan University  
E-mail : khhong@mail.cheonan.ac.kr

### 요약

본 논문은 이산 점 자극들을 불연속적인 형태로 배치할 때 나타나는 연속성을 인식하기 위한 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 시각 신경계의 특징 추출 과정을 근거로 한다. 일련의 이산 점 자극들이 배열의 형태로 주어질 때 이들은 개별 점으로 인식하기보다 어떤 형태를 가진 선이나 윤곽들로 인식된다. 우리는 이산 점 자극의 이러한 연속성 문제를 인식하기 위해 실험에서는 거리가 다른 여러 개의 점들을 일정한 간격을 갖는 형태로 배치한 후 이를 인식하는 시스템을 제시한다. 이산 점 자극에서 연속성을 인식하는 문제는 기초 시각 실험과 관련된 문제로서 일종의 시각적 착시이다. 실험 결과에서는 이산 점 자극에서 연속성을 갖는 윤곽을 획득함으로써 제안된 시스템의 타당성을 확인한다.

### 1. 서론

본 연구는 실제 자극이 존재하지 않는 곳에서도 자극이 인지되는 일종의 착시와 관련된 기초 시각 처리과정인 점 자극들의 인식 문제를 다룬다. 일반적으로 인간의 시각은 일련의 잘 배치된 점들의 배열이 주어질 때, 이들 사이의 반응을 조사하면, 각각의 점들로 인식하기보다는, 어떤 형태를 가진 선이나 윤곽들로 인식된다는 것은 누구나 흔히 느끼는 현상이다. 이러한 인식 현상을 상대적인 근접성이나 연속성이라는 용어나 Gestalt factor라는 용어로 설명하기도 하지만, 예측을 위한 정량적인 측정방법을 제공하는 것은 어렵다[1,2]. 그림 1에 일련의 점 배열이 주어져 있다. (a)는 연속된 곡선으로 인식하는 반면, (b)에 주어진 일련의 배열은 각진 불연속성이 존재하는 것으로 인식한다. 또한 (c)와 (d)에서는 가상선들이 두개의 떨어져진 그룹으로 보인다. 그렇지만 (d)는 연속적인 곡선(a)나 불연속적인 각진 윤곽(b)로도 인식된다. 생리심리학 보고에 의하면, 이러한 점 배열들이 연속적인 곡선으로 인식되거나 불연속적인 각의 형태로, 혹은 불연속적인 분리된 점 그룹들로 인식되는 등, 크게 3가

지의 인식형태를 보인다[3,4].

점 자극을 인식하는 데는 몇 가지 가능한 파라미터가 존재한다. 즉, 점들을 분리된 그룹으로 인식하는 점들 사이의 거리, 점들의 연속성이나 불연속성을 인식하는 점들 사이에 생기는 가상 선들이 이루는 각, 즉 상대적 방위 등이 있으며, 점 사이의 거리는 점들의 연속성이나 불연속성 인식에는 많은 영향을 주지 않는다는 것이 밝혀졌다. 연속된 점들 사이에 가상선들이 존재하는 것처럼 인식한다는 것은 생리심리학적 실험으로 이미 밝혀졌지만, 이들 사이의 관계를 규명한다는 것은 여전히 문제점으로 남아있다[3,4].

한편, 이러한 인간의 시각 정보처리 메카니즘에 관한 문제를 해결하기 위해, 생리학이나 심리학의 분야에서 많은 연구가 진행되어왔다. 인간의 정보처리 메카니즘은 기존의 정보처리 장치에 비해 우수한 능력을 가진 시스템이라는 것이 밝혀져, 기존의 정보처리 장치로는 풀기가 어려운 복잡하고 애매한 패턴들에 대한 인식이나 지식 처리의 분야나 정보의 병렬 처리 문제를 다루는데 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 생물의 시각 신경계가 가지는 여

러가지 기능들을 추상화한 모델들이 생리심리학적 연구로 많이 제시되었다[5-9].

본 연구에서는 일련의 분리된 점 자극들에서 이들의 연속성을 인식하는 방법을 제공하는 인식 시스템을 시각 신경계의 특징추출과정을 근거로 하여 구현한다. 그림 2는 점 자극들이 일정한 형태를 갖는 것으로서 정규 가상의 다각형을 이루는 점들의 집합을 나타낸 것이다. 이것은 실제 정규 다각형은 아니지만 점 자극만으로도 우리는 정규 다각형의 형태를 인식한다.

Smith & Vos[3,4]의 심리학적 실험에서 일련의 점 자극들이 정규 다각형이 주어졌을 때, 이들은 정다각형으로 인식되거나 혹은 원형으로 인식되어진다고 보고했다. 이들의 심리생리학적 실험 결과를 근거로 하여, 주어진 다양한 형태의 점 자극에서 연속성을 인식하는 시스템을 구성한다. 다음에서는 먼저 2장에서는 이산 점 자극들의 연속성에 대하여 간단히 기술한다. 3장에서는 제안된 시스템의 구성을 위해 사용될 특징추출 과정을 설명한 후 4장에서는 제안된 연속성 인식 시스템을 다루고 5장, 6장에서는 실험 결과 및 결론을 기술한다.

## 2. 점 자극의 연속성

본 실험에서 사용되는 점 자극은 Smith & Vos[3,4]의 심리학적 실험에서 사용된 것과 유사하다. 그들의 심리 실험에서 사용한 점 자극들은 점의 수가 6개에서 10개를 갖는 가상의 정 다각형의 형태를 이루는 것으로 그림 2와 같다.

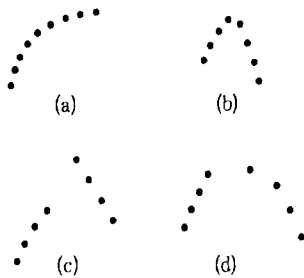


그림 1. 일련의 점 배열들의 인식형태.  
(a) 연속적인 곡선, (b) 불연속적인 각,  
(c), (d) 분리된 두 개의 배열들로 인식.

그림 2의 (a)는 자극 파라미터들인 각  $\beta$ 와 길이  $\gamma$ 를 나타낸다. 이들의 실험에서 사용한 점 자극들은 완전한 다각형을 이루는 형태가 점의 수에 따라 5가지이고, 이들이 이루는 다각형의 방위에 따라 2가지로 구성하여 실험하였다.

Smith & Vos[3,4]의 심리학적 실험에서, 그림 2에서 주어진 가상의 정 다각형의 점들 위에 위치한 점 자극들은 각의 형태로 보여지는 정다각형으로 인식되거나 원형으로 인식된다. 이렇게 인식되는 결과는 명확하지 않다. Gestalt의 관점에서 보면 다각형이나 원으로 인식되는 것은 모두 좋은 형태로 볼 수 있다.

정규 점 다각형에 대해, 좋은 연속성 요인은 원으로 인식하려는 경향을 가진다. 왜냐하면 다각형은 불연속성을 가지는 반면 원은 연속적인 윤곽에 대한 성질을 가지기 때문이다. 일반적으로 연속성에 대한 결정은 곡률에 의존하지 않고 각  $\beta$ 값에 의존한다. 정규 점 다각형에서 각  $\beta$  [ $\beta = 180(N-2)/N$ ]는 점 다각형의 크기에 의존하지 않고 점들의 수  $n$ 에 의존한다. Kaffka(1931)는 보간에서 결정된 원으로 인식되는 점들의 수(circularity threshold)를  $n=8$ ,  $\beta=135^\circ$ 로 가정했다. 또한 Smith & Vos의 심리학적 실험(1987)에 의하면, 원으로 인식되는 점들의 수와 각의 임계값(circularity threshold)을  $\beta \approx 132$ ,  $n=7.6$ (어른 기준으로)으로 보고하고 있으며, 이것은 그들의 심리실험인 3개 한 쌍인 점 자극들의 실험결과에서 보이는 연속성과 불연속성의 임계값인  $143.2^\circ$ 와 상당히 유사하다.

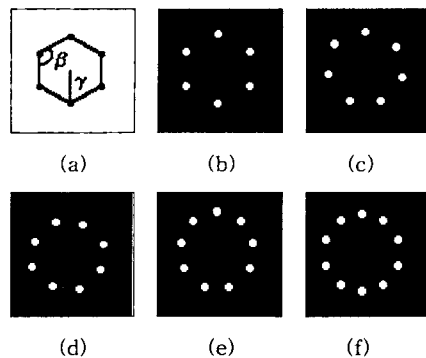


그림 2 도트들의 수( $n$ )에 따른 정규 도트 다각형,  $n=6, \dots, 10$ . (a)은 자극 파라미터들; 각  $\beta$ 와 길이  $\gamma$

### 3. 특징추출 메카니즘

본 논문은 시각계의 특징 추출 메카니즘을 근거로 하여 점 자극들에서 나타나는 연속성을 인식하는 시스템을 제안한다.

시각 경로 상의 정보처리 과정은 빛을 매체로 하여 외부로부터 들어온 정보는 각막, 안방수, 수정체, 초자체를 통과하여 망막에 2차원 화상으로 투영된다. 외부로부터의 정보는 망막 내 여러 가지 세포를 거쳐 망막의 출력세포인 신경절 세포로 전달된다. 좌우 양안의 망막에서 나온 신경절 세포의 출력은 일부의 시신경 교차를 거쳐 간뇌의 외측슬상체에 도달해 시냅스를 형성한다. 외측슬상체에는 시색섬유와 시냅스 결합해서 대뇌 시각영역에 전달하는 증계세포가 존재한다.

대뇌의 시각 영역(V1영역과 V2영역) 신경세포의 수용영역의 성질을 조사하였다. 그리고 이들 세포의 수용영역 성질에 근거하여 단순형 세포, 복잡형 세포 등으로 분류한다. 세포들 간의 정보처리 과정을 조사하면, 이들 세포 상호간에는 망막 신경절 세포에 외측슬상체로, 외측슬상체에서 단순형 세포로, 단순형 세포에서 복잡형 세포로의 연결성을 갖는 계층적 구조가 존재한다[5-9].

점 자극의 연속성 인식 시스템은 전처리 단계, 망막신경절 세포에 의한 윤곽선 검출 단계, 단순형 세포와 복잡형 세포에 의한 시각 특징 추출 및 복원, 특징 정보 합성 그리고 이미지 개선 단계로 구성된다. 전처리 단계에서는 입력영상을 이진이미지로 변환하는 과정이다. 시각 특징 추출 및 복원, 특징 정보 합성 단계는 시각 경로상의 정보처리 과정에서 나타나는 특징 추출 방법을 참고로 구성된 것으로 반복처리를 수행한다. 마지막의 이미지 개선단계는 결과 이미지에서 나타난 윤곽을 부드럽게 하는 평활화 과정이다.

### 4. 연속성 인식 시스템

이산 점 자극 집합으로 주어진 정규 다각형의 형태에서 연속성을 인식하는 시스템의 단계적 처리를 나타낸다.

#### 이진 이미지로 변환

일반적으로 색 정보는 이미지 처리에 있어 매우 중요하다. 물론 포유류의 시각 시스템은 이러한 색 상 정보를 인식한다. 그러나 점 자극의 경우에 색상 정보를 포함하고 있다 하더라도 색상 정보가 인식에 큰 영향력을 가지는 경우는 거의 없다. 그러므로 본 연구

에서는 입력된 점 자극을 이진 이미지로 변환하여 실험한다.

#### 윤곽선 검출

윤곽선 검출 과정은 이진 이미지로부터 윤곽을 검출하는 가장 낮은 단계이다. 이것은 시각 경로 상의 망막 신경절 세포의 특징에서 얻을 수 있는 이미지이다. 공간 필터링에 사용된 함수는 DOG(Difference of two Gaussians) 함수이다. 만약 중심으로부터의 거리를  $r$ , 흥분성 영역과 억제성 영역의 표준편차를 각각  $\sigma_e, \sigma_i$ 라고 하면, 동심원형의 DOG(Difference Of two Gaussians) 함수는 다음의 식으로 주어진다.

$$d_1(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_e^2} e^{-r^2/2\sigma_e^2} - \frac{1}{2\pi\sigma_i^2} e^{-r^2/2\sigma_i^2} \quad (1)$$

여기서  $x, y$ 는 마스크의 크기를 나타내며, 2개의 가우스 함수의 표준 편차의 비가  $\sigma_i/\sigma_e=1.6$  일 때 라플라시안 가우시안 필터(Laplacian Gaussian Filter)에 가장 근접한 최적의 필터가 된다.

이 계층의 출력  $u_1(x, y)$ 은 식 (2)와 같다.

$$u_1(x, y) = 1 \left[ \int_{A_1} \int d_1(\xi, \eta) \cdot u_0(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_1 \right] \quad (2)$$

여기서  $d_1(\xi, \eta)$ 은 식 (1)과 같으며,  $\theta_1$ 은 신경절 세포의 발화임계치이며,  $1[\ ]$ 은 스텝 함수이다. 적분 영역  $A_1$ 은 1개의 세포에 대한 결합 분포의 범위, 즉 수용영역의 크기를 나타낸다.

#### 시각 특징 추출

이 과정은 단순형 세포의 공간 특성을 고려하여 구현한 것이다. 단순형 세포는 특정한 방위를 갖는 라인이나 에지를 검출하는 특징이 있다. 단순형 세포의 방위 선택적인 특성을 고려하여 비대칭 2차원 DOG 필터를 사용한다. 식(3)은 수평의 최적방위를 갖는 공간 필터이다.

$$d_2(x, y) = \left( e^{-x^2/2\sigma_e^2} - \frac{\sigma_e}{\sigma_i} e^{-x^2/2\sigma_i^2} \right) e^{-y^2/2\sigma_m^2} \quad (3)$$

여기서,  $\sigma_1, \sigma_2$ 는 각각 흥분성 영역과 억제성 영역을 규정하는 파라메터이고,  $\sigma_{em}$ 은 필터의 최적 방위의 민감도(sensitivity)를 나타낸 것이다.

수용영역의 최적방위가  $\alpha$ 인 단순형 세포의 출력  $U_2(x, y, \alpha)$ 은 식 (7)과 같다.

$$u_2(x, y, a) = 1 \left[ \int \int_{A_2} d_2(\xi, \eta, a) \cdot u_1(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_2 \right] \quad (4)$$

여기서  $\theta_2$ 은 단순형 세포의 발화 임계치이며, 적분 영역  $A_2$ 은 1개의 세포에 대한 결합 분포의 범위, 즉 수용영역의 크기를 나타낸다.

시각 특징 복원

단순형 세포의 특징과 마찬가지로 복잡형 세포도 방위 선택적 특성을 가진 선이나 에지 자극에 반응한다. 복잡형 세포는 자극이 세포의 반응필드 내에 존재하기만 하면 자극의 위치에는 크게 영향을 받지 않는다. 이러한 특성을 이용하여 전단계에서 추출된 시각 특징을 어느정도 복원할 수 있다. 식(5)는 사용될 공간필터를 나타낸 것으로 수평 방위를 갖는 2차원 가우시안 필터이다.

$$d_3(x, y) = e^{-x^2/2\sigma_x^2} \cdot e^{-y^2/2\sigma_y^2} \quad (5)$$

이 계층의 출력은 식(6)과 같다.

$$u_3(x, y, a) = 1 \left[ \int \int_{A_3} d_3(\xi, \eta, a) \cdot u_2(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_3 \right] \quad (6)$$

특징 정보 결합

이 단계는 전 단계의 시각 특징을 추출 및 복원한 결과를 이미지 연산을 통해 특징정보를 결합한다. 이것은 인간의 정보처리 과정에서 과거의 경험적인 정보를 이용한다는 심리적 경험적 측면을 고려한 것이다. 전 단계의 단순형 세포로 역 전달된 특징들은, 두 특

징 자극간의 반응을 조사하는 단순형 세포에 의한 처리를 한다. 그리고 이것을 복잡형 세포에 의해 특징 정보를 복원한 후 방위별로 추출된 특징 정보들을 결합한다. 이 때 전 단계로 역전달하는 수는, 중간 결과 이미지에서 특징 간의 공백(gap)이 모두 제거될 때까지 수행한다. 즉, 특징들이 어떠한 윤곽의 형태로 인식되기까지 반복 처리한다.

특징 정보들을 결합하기 위한 공간필터는 식(7)과 같다.

$$d_4(x, y) = \sum_{\phi=0}^7 d_3(x, y, \phi) \quad (7)$$

이 계층의 출력은 식(8)과 같다.

$$u_4(x, y) = 1 \left[ \int \int_{A_4} d_4(\xi, \eta) \cdot u_3(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_4 \right] \quad (8)$$

이미지 개선

이미지 개선 단계는 이전의 여러 처리단계를 거치는 동안 약하게 된 자극이나 감소된 자극을 복원하는 평활화 단계이다. 식(5)에 나타낸 2차원 가우시안 필터를 사용하여 복원한다. 그 결과는 식(9)에 나타낸다.

$$u_5(x, y) = 1 \left[ \int \int_{A_5} d_5(\xi, \eta) \cdot u_4(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_5 \right] \quad (9)$$

### 5. 실험 결과

본 논문은 시각경로 상에서 나타나는 특징 추출

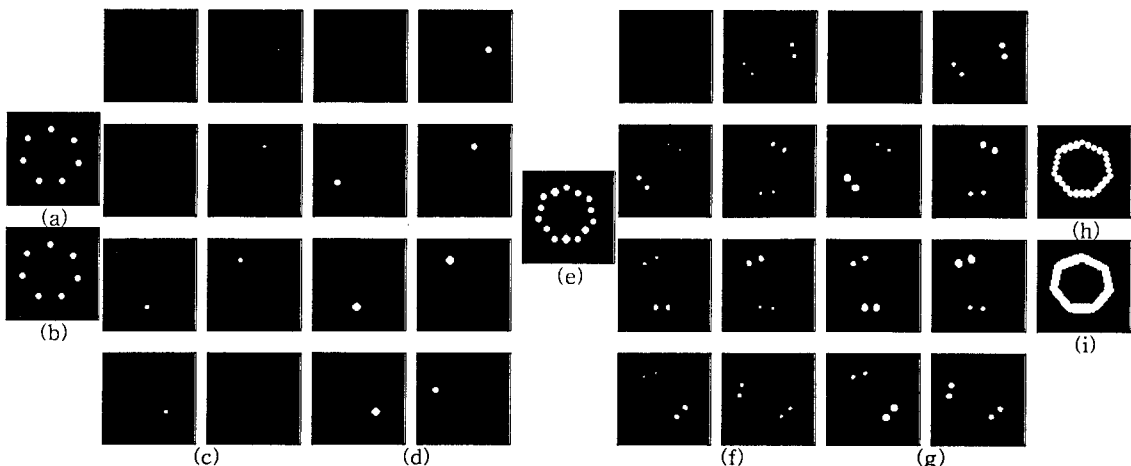


그림 4 도트자극에서 가상 정 칠각형 인식 결과 이미지 (a) 이진이미지 (b) 윤곽 검출 결과 (c) 시각특징 추출결과 (d) 시각특징 복원 결과 (e) 특징정보 결합결과 (f) 두 번째 시각특징 추출결과 (g) 두 번째 시각특징 복원 결과 (h) 두 번째 특징정보 결합결과 (i) 이미지 개선결과

메카니즘을 사용하여 이산 점 자극으로부터 연속성을 가진 가상의 정 다각형의 형태를 인식하는 시스템을 제안한다. 그림 4는 7개의 점 자극으로부터 가상 정 칠각형을 인식하는 결과를 나타낸다. 그림 5는 9개의 점 자극으로부터 가상 정 구각형을 인식하는 결과를 나타낸다.

### 6. 결론

본 논문은 일종의 착시 문제를 다룬 것으로서 이산 점 자극들로부터 연속성을 가진 형태를 인식 문제를 다룬다. 이산 점 자극에서 나타나는 형태는 직접 윤곽부터 인식 가능하지만 이러한 인식 현상을 예측하는 정량적 방법은 찾을 수 없다. 본 연구는 정 다각형을 이루는 점 자극들로부터 형태 인식을 다룬 것으로, 시각의 인지현상을 모델링한 것이다. 본 실험의 결과는 Smith & Vos[3,4]의 심리학적 실험에서 제시한 결과를 확인함으로써 제안된 모델의 타당성을 확인할 수 있다. 그림 2에서 주어진 이산 점 자극들은 연속성을 가진 정 다각형으로 인식되어지며, 정다각형의 점들 위에 위치한 점들은 각의 형태로 보여지는 정다각형으로 인식되거나 원형으로 인식된다. 실험결과나 심리실험의 관점에서 보면 다각형이나 원으로 인식되는 것은 모두 연속성을 가진 형태를 보여주는 좋은 결과이다.

### 참고 문헌

[1] D. Marr, Vision, A Computational Investigation

into the Human Representation and Processing of Visual Information, W. H. Freedom & Company, 1982.

[2] Kaffka K Principles of Gestalt Psychology (Andovour, Hants; Routledge and Kegan Paul), 1935.  
 [3] Smith J T S, Vos P G, "A model for the perception of curves in dot figures: The role of local sailence of 'virtual' lines", Biological Cybernetics 54, 407-416, 1986.  
 [4] Smith J T S, Vos P G, "The Perception of continuous curves in dot stimuli", Perception, volume 16, Page 121-131, 1987.  
 [5] 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  
 [6] M. Livingstone and D. Hubel, "Segregation of Form, Color, Movement, and Depth: Anatomy, Physiology, and Perception", vol 240, pp. 740-749, May 6, AAAS (Science), 1988.  
 [7] Marr. D. and Hildreth. E. "A theory of edge detection", Proc. R. Soc. Lond. B207, 187-217, 1980.  
 [8] 福島邦彦, 神經回路と情報處理, 朝倉書店, 1993.  
 [9] 乾 敏郎, 視覺情報處理の基礎, 사이엔스社, 1990.

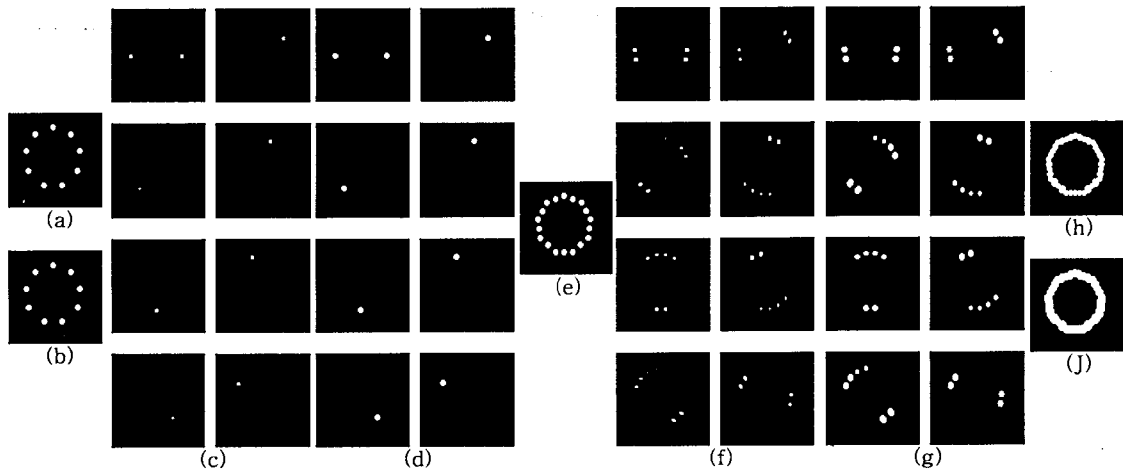


그림 5 도트자극에서 가상 정 구각형 인식 결과 이미지 (a) 이진이미지 (b) 윤곽 검출 결과 (c) 시각특징 추출결과 (d) 시각특징 복원 결과 (e) 특징정보 결합결과 (f) 두 번째 시각특징 추출결과 (g) 두 번째 시각특징 복원 결과 (h) 두 번째 특징정보 결합결과 (i) 이미지 개선결과