

論文96-33B-11-16

# 시각 신경계 개념을 이용한 이산적인 도트 자극으로부터 가상선 인식

## (The Perception of Virtual lines from Discrete Dot Stimuli Using Optical Neural Field)

鄭恩花\*, 金旭炫\*

(Eun Hwa Jeong and Wook Hyun Kim)

## 요 약

생물의 시각 신경계 개념을 이용하여, 도트 자극들을 인식하는 정보 처리 메카니즘을 연구한다. 일련의 이산적인 도트 배열이 주어질 때, 이들의 반응을 조사하면, 각각의 도트들로 인식하기보다는, 연속적인 곡선으로 인식하거나 불연속적인 각진 윤곽으로 인식하거나, 혹은 불연속적인 분리된 그룹의 도트들로 크게 3가지의 인식 형태를 보인다는 것이 생리심리학적 관찰에 의해 보고 되었다. 도트 자극을 인식하는 데는 몇가지 가능한 파라미터가 존재한다. 그 중에서도 도트들을 분리된 그룹으로 인식하는 데 중요한 영향을 미치는 요인은 도트들 사이의 거리이다. 또한 도트들의 연속성이나 불연속성을 인식하는 데 중요한 파라미터는 도트들 사이에 생기는 가상선들이 이루는 각, 즉, 상대적 방위에 의한 것이고, 도트 사이의 거리는 많은 영향을 주지 않는다는 것이 밝혀졌다. 연속된 도트들 사이에 가상선들이 존재하는 것으로 인식하는 것은 생리심리학적인 실험으로 이미 밝혀졌다. 이를 근거로 하여, 본 연구에서 제시한 인식 시스템을 사용하여, 이산적인 도트 자극들이 가상선을 인식하는 과정을 나타낸다. 실험에서 3개 한 쌍인 도트 배열을 사용하여, 제시된 인식 시스템의 성능을 확인한다.

## Abstract

Physiological observations reported and the perceptual phenomena that some simple arrays of discrete dots are perceived as a continuous curve, and others are perceived as an angular contour or as consisting of separate groups of dots. The perception of continuous curves versus discontinuous angles is mainly determined by the relative orientations of the dots, i.e., by the angles between successive virtual lines, whereas the length of the virtual lines gives little influence. It is important that the perception of dot stimuli is presented by virtual lines between dots in visual information processing. In this paper, on the basis of these facts of physiological observations, some experimental results on the perception of visual lines from dot stimuli are shown. Triples of the dots used in the experiment are similar to those of Smith & Vos' physiological experiments.

## I. 서론

일련의 잘 배치된 도트들의 집합이 어떤 형태의 선으로 인식된다는 것은 누구나 흔히 느끼는 현상이다. 그러나 이러한 인식 현상을 Gestalt factor라는 용어로 설명하기도 하지만, 예측을 위한 정량적인 측정방법을

제공하기는 어렵다<sup>[1][2]</sup>. 그림 1에 일련의 도트 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 두 개의 떨어진 그룹으로 보인다. 그렇지만 (d)는 연속적인 곡선(a)나 불연속적인 각진 윤곽(b)로도 인식된다. 생리심리학 보고에 의하면, 이러한 도트 배열들이 연속적인 곡선으로 인식되거나 불연속적인 각의 형태로, 혹은 불연속적인 분리된 도트 그룹들로 인식되는 등, 크게 3가지의 인식형태를 보인다<sup>[3][4]</sup>.

\* 正會員, 嶺南大學校 電算工學科

(Dept of Computer Engineering, Yeung-Nam University)

接受日字:1996年5月8日, 수정완료일:1996年10月31日

도트 자극을 인식하는 데는 몇가지 가능한 파라미터가 존재한다. 즉, 도트들을 분리된 그룹으로 인식하는 도트들 사이의 거리, 도트들의 연속성이나 불연속성을 인식하는 도트들 사이에 생기는 가상선들이 이루는 각, 즉 상대적 방위 등이 있으며, 도트 사이의 거리는 도트들의 연속성이나 불연속성 인식에는 많은 영향을 주지 않는다는 것이 밝혀 졌다<sup>[3] [4]</sup>. 연속된 도트들 사이에 가상선들이 존재하는 것처럼 인식한다는 것은 생리심리학적 실험으로 이미 밝혀졌지만, 이들 사이의 관계를 규명한다는 것은 여전히 문제점으로 남아있다<sup>[3] [4]</sup>.

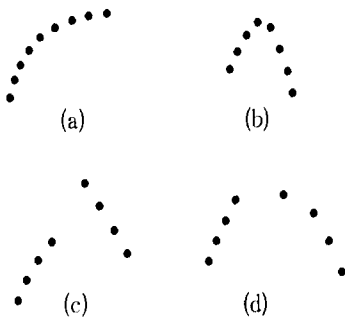


그림 1. 일련의 도트 배열들의 인식형태. (a) 연속적인 곡선, (b) 불연속적인 각, (c), (d) 분리된 두개의 배열들로 인식

Fig. 1. The Patterns of dot array (a) are immediately perceived as a continuous curve, whereas array (b) has an angular discontinuity, and (c), (d) have a discontinuity in the form of a separation into two subarrays.

한편, 이러한 인간의 정보처리 메카니즘에 관한 문제를 해결하기 위해, 생리학이나 심리학의 분야에서 많은 연구가 진행되어왔다. 인간의 정보 처리 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 처리문제를 다루는데 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 생물의 시각 신경계가 가지는 여러가지 기능들을 추상화한 모델들이 생리심리학적 연구로 많이 제시되었다<sup>[5-10]</sup>.

본 논문은 이러한 생물의 시각 신경계를 이용하여 주어진 도트 자극들을 인식하는 정보 처리 메카니즘을

보이고자 한다. 본 논문에서 사용될 도트 자극은 3개 한 쌍인 도트 배열로서, Smith & Vos<sup>[3] [4]</sup>의 심리학 실험에서 사용된 것과 유사하며, 그들의 심리 실험 결과를 시각 메카니즘을 통해 보여줌으로서 실제 인간의 시각계가 도트 자극을 어떻게 인식하는 지 구현해보고자 한다. 여기서 사용될 시각 정보 처리 메카니즘은 Hubel & Wiesel에 의해 제안된 계층가설을 참조하여 구성한 것이다<sup>[5-10]</sup>.

## II. 시각 메카니즘

인간의 시각 정보 전달 경로에서는, 빛을 매체로 하여 외부로부터 들어온 정보가 각막, 안방수, 수정체, 초자체를 통과하여 망막(retina)에 2차원 화상으로 투영된다. 망막은 아주 복잡한 다층구조로 되어 있으며, 망막내에는 추상체(cone)와 간상체(rod)등의 시세포(visual cell)로 불리는 광수용기(photoreceptor)에 의해 빛 신호로부터 전기 펄스 신호로 변환되어, 수평세포(horizontal cell), 쌍극세포(bipolar cell), 아마클린 세포(amacrine cell)등을 경유하여 망막의 출력세포인 신경절 세포(ganglion cell)로 전달된다. 시세포는 망막상의 아주 작은 영역의 빛의 강도를 검출하며, 신경절 세포는 망막상의 국소적인 영역에 있어서의 빛의 콘트라스트를 검출하고 있다. 좌우 양안의 망막에서 나온 신경절 세포의 출력은 일부의 시신경 교차(optic chiasma)를 거쳐 간뇌의 외측상상체(lateral geniculate body: LGB)에 도달해 시냅스를 형성한다. 외측상상체에는 시색섬유와 시냅스 결합해서 대뇌 피질에 전달하는 중계세포가 존재한다<sup>[5-10]</sup>.

시각계에서 하나의 세포 반응은 그 세포에 붙어있는 다수의 입력 시냅스를 통해, 많은 입력 정보를 받아 어떤 처리를 행한 후, 출력을 다수의 다른 세포로 전달한다. 이와 같이 하나의 세포 반응에 영향을 주는 망막상의 영역을 수용영역(receptive field)이라 부른다. 망막의 신경절 세포에는 여러가지 크기의 수용영역이 존재한다. 즉, 망막의 중심와(fovea) 부근에 있는 세포는 작은 수용영역을 가지며, 주변으로 갈수록 수용영역의 크기가 커진다. 수용영역의 크기에 따라 반응도 달라지나, 기본적인 신경절 세포의 수용영역은 on-중심형 세포와 off-중심형 세포가 존재하는 데, 중심과 주변이 상호 억제하고 있다. 망막에 있어서의 주된 처리는 강도(intensity) 변화를 검출하는 것이다<sup>[5-10]</sup>.

망막의 신경절 세포의 출력은 시신경을 통해 외측슬상체를 거쳐 시각 영역(visual areas)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. 시각영역에는 특정한 기울기를 가진 직선이나 윤곽선에 반응하는 세포를 비롯하여 여러종류의 특징에 반응하는 세포가 존재한다<sup>[5] [16]</sup>.

Hubel과 Wiesel은 고양이나 원숭이의 시각 영역(V1영역과 V2영역)의 신경세포의 수용영역의 성질을 조사하였다. 그리고 이들 세포의 수용영역 성질에 근거하여 단순형 세포(simple cell), 복잡형 세포(complex cell), 초복잡형 세포(hypercomplex cell)등으로 분류하고, 이들 세포 상호간에는 망막 신경절 세포 → 외측슬상체 → 단순형 세포 → 복잡형 세포 → 초복잡형 세포라고 하는 계층적 구조가 존재한다는 계층가설을 제창했다<sup>[5-10]</sup>. 최근에는 Hubel과 Wiesel의 초기 연구 결과를 수정하려는 아이디어도 많이 나오고 있다<sup>[9] [11-16]</sup>. 예를 들면, Hubel-Wiesel의 계층가설에 의하면, 복잡형 세포는 단순형 세포로부터만 입력을 받는 것으로 되어 있지만, 실제로는 단순형 세포뿐만 아니라, 외측슬상체의 세포로부터도 직접 흥분성 시냅스 결합을 받고 있다는 것이 밝혀졌다<sup>[11-15]</sup>. 또 단순형 세포에서 복잡형 세포로의 결합은, 흥분성 결합이 아닌 억제성 결합도 있다는 보고도 있다<sup>[16]</sup>. 본 논문에서 이용될 시각 메카니즘은 Hubel과 Wiesel의 계층 가설중 초복잡형 세포를 제외하고 망막에서 복잡형 세포까지의 경로를 모델링 하여 사용하고, 심리적인 경험적 측면을 고려하여 Hubel과 Wiesel의 계층 가설을 수정하여 출력을 다시 단순형 세포로 역전달시키는 경로를 갖도록 구성하였다.

### III. 도트 자극 인식 시스템

#### 1. 도트 자극의 인식 방법

도트 자극을 인식하는 시각 메카니즘의 구성을 그림 2에 나타낸다. 첫번째 단계인 망막에 있어서의 주된 처리는 강도(intensity) 변화를 검출하는 것이다. 사용된 망막 신경절 세포는 on 중심형 세포로서, 마스크(mask)는 DOG(Difference of two Gaussians)함수를 사용하여 근사시킨다. 만약 중심으로부터의 거리

를  $r$ , 흥분성 영역과 억제성 영역의 표준 편차를 각각  $\sigma_e, \sigma_i$ 라고 하면, 동심원형의 DOG 함수는 다음의 식으로 주어진다.

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

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<sup>[7]</sup>.

DOG 마스크의 크기와 자극 패턴의 크기의 상대적인 대소관계에 따라 다른 출력의 결과를 나타낸다. 본 실험에서 사용되는 자극이 도트이므로, 망막에 있어서의 주된 처리인 강도(intensity) 변화를 검출한 후의 결과도 원래의 도트 자극이다. 그러므로 실험에서 사용될 DOG 마스크의 on-영역의 크기가 적어도 도트 자극의 크기와 같이 주어져야 한다.

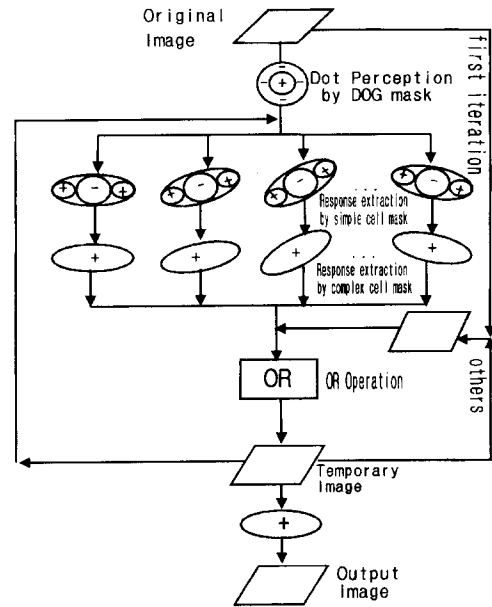
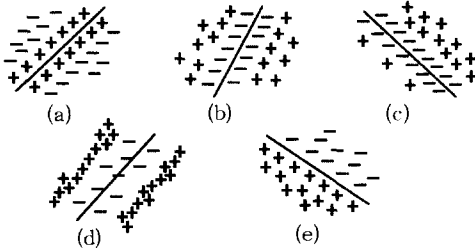


그림 2. 시각 메카니즘을 사용한 인식시스템의 흐름도  
Fig. 2. The flow diagram of perception system using visual mechanism.

두번째 단계에서 사용되는 단순형 세포의 특징은, 수용영역내의 흥분성의 on-영역에 자극이 주어지면 발화 빈도가 증가하고, 억제성의 off 영역에 자극이 주어지면 발화는 억제된다. 그러나 양쪽의 영역에 동시에 자극을 주면 양자의 효과는 서로 상쇄되어, 수용영역 전체를 덮는 정도의 빛 자극에 대해서는 거의 반응하지

않는다. 따라서, 자극 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 꼭 일치하는 경우에 가장 강한 반응을 나타낸다. 그래서 이와 같은 세포는 특정 위치에 존재하는 특정 방위를 가진 직선을 추출하는 작용을 하는 것으로 추정된다. 즉, 단순형 세포는 명암의 경계나 선이 시야내의 어느 위치에 있고 어떠한 방위를 가지고 있는가를 검출하는 데 사용된다<sup>[5] [6]</sup>. 그림 3에 여러가지 형태의 단순형 세포의 수용영역을 보여주고 있다. 본 논문의 실험에서 사용될 단순형 세포는 그림 3의 (d)와 유사한 형태를 갖지만, 직선 검출과는 달리 실험에서는 도트 자극을 사용하므로, 두 자극이 주어질 때에만 나타나는 반응을 추출하는데 목적이 있다.



+ : on response, - : off response.

그림 3. 여러가지 종류의 단순형 세포의 수용영역 (Hubel & Wiesel<sup>[5]</sup>)

Fig. 3. Several types of receptive fields of simple cell(Hubel & Wiesel's<sup>[5]</sup>).

단순형 세포의 반응으로 사용하는 수용영역의 감도 분포는 다음과 같다.

$$G(\sigma, x) = e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (2)$$

$$S(x, y) = (G(\sigma_1, x-l) - G(\sigma_2, x) + G(\sigma_1, x+l)) \cdot G(\sigma_{em}, y) \quad (3)$$

$$S_\phi(x, y) = S(x \cos \phi - y \sin \phi, x \sin \phi + y \cos \phi) \quad (4)$$

$$\text{단, } \phi = \frac{\pi}{8} \times d \text{ [rad]} \quad (d=0, 1, 2, \dots, 7) \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_1, \sigma_2$ 는 각각 흥분성 영역과 억제성 영역을 규정하는 파라미터이고,  $l$ 은 중심으로 부터 필터 양측의 흥분 영역의 양의 피크까지의 거리, 즉 주어진 두 자극 사이의 거리를 나타낸다.  $\sigma_{em}$ 은 필터의 최적 방위의 민감도(sensitivity)를 나타낸 것이고,  $\phi$ 는 최적 방위(perferred orientation 또는 optimal orientation)를 나타낸다.

세번째 단계에서 사용되는 복잡형 세포의 특징은 수용영역의 내부가 on-, off- 영역으로 구분되어 있지 않아서, 직선이 수용영역 내부에 있거나 하면, 그 위치에는 그다지 영향을 받지 않고 반응한다. 복잡형세포는 동일한 최적 방위를 가진 복수 개의 단순형 세포로부터 흥분성 시냅스 결합을 받고 이들 단순형 세포 중의 어느 쪽이든지 1개라도 반응하면, 복잡형 세포는 발화하게 될 것이다. 실험에서, 복잡형 세포는 부분적으로 손상되거나 약한 반응을 재생하는 데 이용된다<sup>[5] [6]</sup>. 복잡형 세포의 수용영역의 감도분포를 다음과 같이 정의한다.

$$G(\sigma, x) = e^{-x^2/2\sigma^2} \cdot e^{-x^2/2\sigma_m^2} \quad (6)$$

$$G_\phi(x, y) = G(x \cos \phi - y \sin \phi, x \sin \phi + y \cos \phi) \quad (7)$$

여기서,  $\sigma_x$ 는 그 방위에 있어서 수직 방향영역의 폭을 규정한 파라미터이고,  $\sigma_{em}$ 은 필터의 최적 방위의 길이를 나타낸다.  $\phi$ 는 식(5)에 주어져 있다.

네번째 단계는 방위별로 추출된 도트 자극 화상을 원화상과 OR 논리 연산을 하여, 이것을 중간 결과 화상으로 한다. 중간 결과 화상을 가지고 다시 두번째 단계로 역전달 시킨다.

이것은 인간의 정보처리 메카니즘에서, 과거의 경험적인 정보를 이용한다는 심리적 경험적 측면을 고려해 Hubel과 Wiesel의 계층 가설을 수정하여 출력을 한 것으로, 두번째 단계의 단순형 세포로 역전달된 도트 자극은, 두 자극간의 반응을 조사하는 단순형 세포에 의한 처리를 한다. 그리고 이것을 복잡형 세포의 처리를 수행, 그 결과를 중간결과 화상과 OR 논리 연산을 수행하여 새로운 중간 결과 화상을 생성한다. 두번째 단계로 역전달하는 횟수는, 중간 결과 이미지에서 도트 자극간의 공백(gap)이 모두 제거될 때까지 수행한다. 즉, 도트 자극이 어떠한 선의 형태로 인식되기까지 반복 처리하도록 구성하였다.

마지막 단계에서는 주어진 도트 자극 간의 공백이 모두 제거된 화상을, 보다 부드러운 화상으로 만들기 위한 평활화(smoothing) 처리이다. 평활화 처리를 수행하기 위해 사용된 마스크는 식(6),(7)에서 주어진 마스크와 동일한 가우스 함수를 사용한 것이다.

## 2. 도트 자극

본 실험에서 사용되는 도트 자극은 Smith & Vos<sup>[3] [4]</sup>의 심리학적인 실험에서 사용된 것과 유사하다. 그

들의 심리 실험에서 사용한 도트 자극들은 3개 한쌍을 이루는 것으로 그림 4와 같다. 각 도트들 사이의 거리를  $d_1$ 과  $d_2$ 라 하고, 두 도트가 이루는 각을  $\beta$ 라 한다.  $d_1$ 의 길이는 10 mm로 고정시켜 두고,  $d_2$ 의 길이는 13 mm에서 33 mm로 한번에 5 mm씩 변화시킨다.  $d_2$ 의 길이에 따른 변화는 5회이다. 그리고 두 도트 사이의 각  $\beta$ 는  $100^\circ$ 에서  $175^\circ$  사이를 한번에  $5^\circ$ 씩 변화시킨다. 따라서  $d_2$ 의 변화와  $\beta$ 의 변화로 인해 생기는 도트 자극의 총 갯수는 30가지이다.  $d_2$ 의 변화와  $\beta$ 의 변화로 인해 생기는 도트 자극 30개를  $d_1$ 의 방위  $0^\circ$ 에서부터  $135^\circ$  사이를 한번에  $45^\circ$ 씩 변화시킬 때 주어지는 총 도트 자극의 수는 240가지이고, 이를 거리  $d_1$ 축을 기준으로 대칭시키면 총 주어지는 자극의 개수는 480가지에 해당한다.

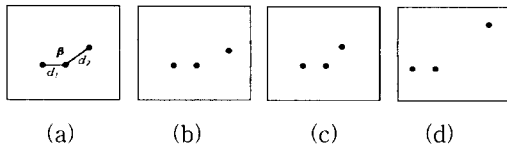


그림 4. (a) 도트 자극의 파라메타들  $\beta$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ , (b)-(d) 곡선, 각, 분리된 형태로 보여지는 3가지의 반응 예들  
 Fig. 4. (a) The stimulus parameters  $\beta$ ,  $d_1$ , and  $d_2$  of triplets. (b)-(d) Examples of the three response categories: curve, angle/triangle, and separation, respectively.

Smith & Vos<sup>[31][41]</sup>의 심리학적 실험에서는 우선,  $d_2$ 의 변화와  $\beta$ 의 변화로 인해 생기는 도트 자극의 조합 30가지에 대해, 나이 19세에서 26세 사이의 정상시각을 가진 10명의 사람을 대상으로 수행한 것이다. 여기서 피험자에 의해 나타날 수 있는 반응의 개수는 모두 160가지이다. 이것은  $d_1$ 축 대칭으로 인한 2가지의 변화와  $d_1$ 축의 변화로 나타나는 8방위에 피험자의 수를 곱한 것이다. 본 실험에서는  $d_1$ 축 대칭으로 인한 변화와  $d_1$ 축의 변화로 인한 방위는 일단 생략하고,  $d_2$ 의 변화와  $\beta$ 의 변화로 인해 생기는 도트 자극의 조합 30가지를 다룬다.

Smith & Vos<sup>[31][41]</sup>의 심리학적 실험의 결과를 그림 5, 그림 6에 나타낸다. 그림 5는  $d_2$ 의 변화에 따른 각  $\beta$ 의 함수로 인한 결과이다. 곡선이나 각에 대해, 둘 다 각  $\beta$ 에 대한 단조 증가 함수들이고,  $d_2$ 가 증가함에 따라 반응의 퍼센트는 감소한다. 그림 6은  $\beta$ 의 값

은 중간 값을 갖고  $d_2$ 의 값은 큰 값을 가질수록, 분리된 그룹의 자극으로 인식하는 경향이 크다는 것을 보여주고 있다.

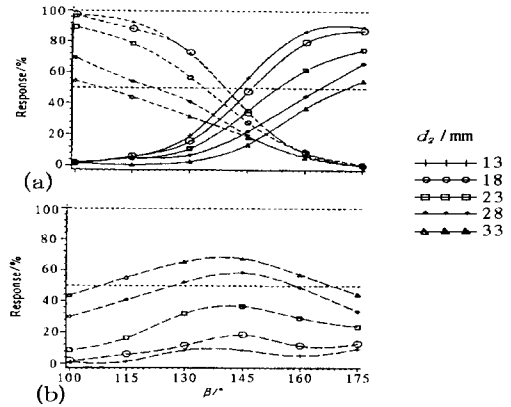


그림 5. 거리 파라메타  $d_2$ 의 값에 대한 각  $\beta$ 의 함수로서 나타낸 결정 반응의 백분율. (a) 실선은 곡선 반응들에 대한 백분율이고, 파선은 각 반응들에 대한 것으로 주어진다. (b) 분리된 반응들의 백분율. 50%와 100% 반응율은 수평의 파선들로 표시되어있다(Smith & Vos[31][41] 논문 참조).

Fig. 5. The percentage decision responses in experiment as a function of angle  $\beta$  for different values of the distance parameter  $d_2$ . (a) The solid lines give the percentage of curve responses, the dashed lines give the percentage of angle responses. (b) The percentage of separation responses. 50% and 100% response rates are marked by dashed horizontal lines(reference to Smith & Vos's paper<sup>[31][41]</sup>).

결론적으로 말하면, 도트들을 분리된 그룹으로 인식하는 주된 결정 요인은 거리  $d_2$ 의 값에 크게 의존하고, 각  $\beta$ 의 변화에는 크게 영향을 받지 않는다는 것이다. 또한 연속적인 곡선이나 불연속적인 각으로 인식하는데 결정적인 요인인 연속성은 각  $\beta$ 에 의존한다. 이 결론은 거리  $d_2$ 에 대한  $\beta$ 의 임계값의 종속성을 조사함으로써 확인 가능한데  $d_2$ 의 변화에는 거의 독립적이고 그림 6에서 나타난 바와 같이,  $\beta$ 의 평균 임계값은  $143^\circ$ 이다.

#### IV. 실험 결과 및 논의

그림 4에서 제시한 형태와 유사한 3개 한쌍을 이루

는 도트자극을 입력으로 하여, 그림 2에서 제시한 인식 시스템의 흐름도에 따라 각 단계를 수행한다.

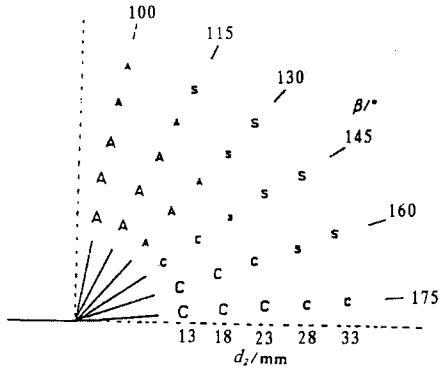


그림 6. 도트들의 다양한 위치에 대한 반응 퍼센트를 가지고 반응에 따라 다른 문자들로 나타낸 실험 결과: C, 곡선; A, 각; S 분리된 형태. 문자의 크기는 반응 퍼센트를 나타낸다(Smith & Vos[3][4]의 논문 참조)

Fig. 6. Schematic plot of the results of experiment. For variable positions of the third dot, different characters are drawn corresponding to the response category with the highest response percentage: C, curve; A, angle; S, separation. The size of the character indicates the relative value of the response percentage(reference to Smith & Vos's paper<sup>[3][4]</sup>).

본 실험에서는 도트 자극의 크기를 직경 5 픽셀로 하고, 도트 간의 거리  $d_1$ 의 길이는 10 픽셀로 고정시켜 두고,  $d_2$ 의 길이는 13 픽셀에서부터 33 픽셀사이의 값을 사용하며, 약 2 픽셀씩 변화시킨다. 두 도트 사이의 각  $\beta$ 는 Smith & Vos에서 제시한 값을 사용한다. 그림 7은 생리심리학 실험에서 연속적인 곡선의 형태로 인식하는 경우를 나타내고, 그림 8은 그림 7과는 상대적인 의미로, 불연속적인 각진 윤곽으로 인식하는 경우를 나타낸다. 그림 7, 그림 8에서 주어진 화상들은 모두 그림 2에서 제시한 인식 시스템의 흐름도에 따라, 단계별로 수행한 결과이다. 각 단계에 따른 처리는 모두 동일하므로, 결과를 함께 다룬다.

그림 7(a)와 그림 8(a)는 원화상이다. 두 화상에서 도트간의 거리  $d_1$ ,  $d_2$ 의 길이는 10 픽셀, 15 픽셀로 동일한 경우이다.

그림 7(b)와 그림 8(b)는 흐름도의 첫번째 단계의 결과 화상으로서 강도(intensity) 변화를 검출한 것이

다. 사용되는 마스크는 식(1)에서 주어진 DOG 함수로, DOG 마스크의 크기와 자극 패턴 크기의 상대적인 대소관계에 따라 다른 출력을 낸다. DOG 마스크의 on-영역의 크기가 도트 자극의 크기와 같게 하였으므로, 수행 후의 결과도 원래의 도트 자극과 동일하다는 것을 확인 할 수 있다.

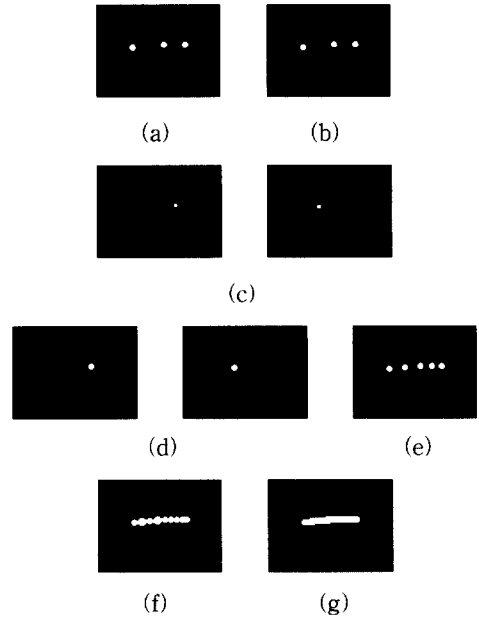


그림 7. 속적인 곡선의 인식에 대한 실험 결과 이미지들.(a) 원 이미지, (b) DOG 마스크 처리에 의한 이미지, (c) 단순형 세포에 의한 도트들 사이의 각 반응, (d) 복잡형 세포에 의한 도트들 사이의 각 반응, (e) OR 논리 연산을 수행한 후의 중간 이미지 (첫번째 반복), (f) 두번째 반복단계 후의 이미지, (g) 출력이미지

Fig. 7. Experimental results on the perception of a continuous curve. (a) Original image, (b) Image by DOG mask, (c) each response between dots by the simple cell, (d) each response between dots by complex cell, (e) temporary image by logical OR operation after first iteration, (f) temporary image after second iteration, (g) output image.

그림 7(c)와 그림 8(c)는 두번째 단계의 수행 결과로서, 두 도트간의 반응을 단순형 세포에 의해 추출한 결과이다. 여기서 사용한 최적방위는 8방위이고, 그 중 반응이 존재하는 것만을 제시했다. 단순형 세포는 도트 자극 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 꼭 일치하는 경우에는 가장 강한 반응을 나타낸다. 만약 자극 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영

역에 일치(위치)하지 않으면 억제성 영역에 의해 반응은 약해진다. 이들은 왼쪽과 오른쪽 화상은 두 도트간의 거리가 다른 두 위치에 대한 반응임을 알 수 있다. 그림 7(c)와 그림 8(c)는 또한 최적 방위가 다른 경우이다. 사용된 마스크의 형태는 식(2),(3),(4)에 주어져 있다.

그림 7(d)와 그림 8(d)는 세번째 단계의 결과로, 식(6),(7)에서 주어진 복잡형 세포에 의한 처리이다. 이것은 전 단계의 처리에서, 도트 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 일치하지 않을 때, 억제성 영역에 의해 약해지거나 부분적으로 손상된 반응을 재생하기 위해 사용했다. 결과는 단순형 세포의 화상을 최적 방위를 가진 가우스 함수에 의한 처리이다.

그림 7(e)와 그림 8(e)는 네번째 단계의 결과로서, 이것은 각 방위별로 단순형 세포와 복잡형 세포를 거쳐, 추출된 화상들을 원화상과 OR 논리 연산을 수행한 결과로 여기서는 중간 결과 화상으로 간주한다. 이것은 시각 메카니즘의 경험적 정보를 고려한 것이다.

그림 7(f)와 그림 8(f)는 그림 7(e)의 중간 결과 화상을 입력으로 하여, 단순형 세포에 의한 처리 단계로 역전달시키는 피드백(feedback) 과정에 의해, 단순형 세포에 의한 처리, 복잡형 세포에 의한 처리를 수행한 후, 그 결과를 중간 결과 화상과 OR 논리 연산을 수행한, 새로운 중간 결과 화상이다. 두번째 단계인 단순형 세포로 역전달하는 횟수는, 중간 결과 화상에서 도트 자극간의 공백이 모두 제거될 때까지 수행한다. 즉, 도트 자극이 어떠한 선의 형태로 인식되기까지 반복 처리하도록 했다.

만약 도트 간의 거리가 멀 경우에는 두번째 단계로 되돌아 가서 수행하는 반복부분(즉, 피드백 처리)의 횟수가 많아진다. 그러나, 도트 간의 거리가 단순형 세포의 수용영역이 인식할 수 없을 정도로 멀어지면, 그 두 도트 간에는 반응이 나타나지 않는다. 이것은 그림 4(d)경우로 주어진 도트 자극이 서로 관련이 없는 분리된 그룹으로 인식된다.

그림 7(g)와 그림 8(g)는 마지막 단계로서, 도트 자극간의 공백이 모두 제거될 때까지 반복 수행한 중간 결과 화상을 보다 부드러운 화상으로 만들기 위해, 평활화 처리를 수행한 결과이다. 그림 7(g)에서는 결과화상으로 완만한 연속적인 곡선이 나타나고, 그림 8(g)에서는 불연속적인 각진 윤곽이 보인다.

결과에서 나타난 바와같이, 본 연구에서 사용한 시각

메카니즘을 참조로 구성된 신경망은 심리학적인 실험에서 제시되는 결과와 동일한 화상을 나타내며, 두 도트 간의 가상선의 존재가 명확하게 보인다는 것을 확인할 수 있다.

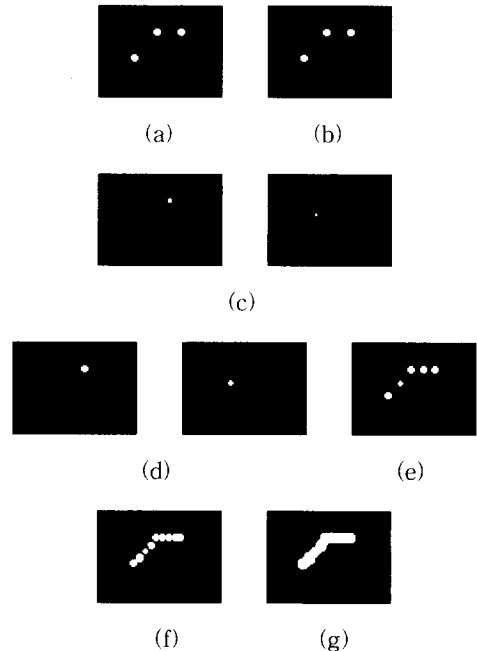


그림 8. 불연속적인 각의 인식에 대한 실험 결과 이미지들. (a) 원 이미지, (b) DOG 마스크 처리에 의한 이미지, (c) 단순형 세포에 의한 도트들 사이의 각 반응, (d) 복잡형 세포에 의한 도트들 사이의 각 반응, (e) OR 논리 연산을 수행한 후의 중간 이미지 (첫번째 반복), (f) 두번째 반복단계 후의 이미지, (g) 출력이미지

Fig. 8. Experimental results on the perception of discontinuous angle. (a) Original image, (b) Image by DOG mask, (c) each response between dots by the simple cell, (d) each response between dots by complex cell, (e) temporary image by logical OR operation after first iteration, (f) temporary image after second iteration, (g) output image.

기초적인 시각의 처리에 관한 문제는 본 논문에서 제시된 도트 자극의 인식과 깊은 관련이 있으며, 이것은 또한 도트들 각각을 개개의 존재로 인식하기 보다는 어떠한 형태를 가진 선으로 인식된다. 이는 인식의 착시(illusions)와도 깊은 연관이 있음을 알 수 있다.

한편, 1976년 Caelli & Umansky<sup>[17]</sup>는 도트 자극에서 형태의 인식은 보간 처리에 근거를 둔다고 주장

하였다. 그 형태 인식의 표현을 거리와 관련된 공간적 파라미터들의 변화율로 기록하여 구성했다. 그런데 이 논문에서 제시된 수학적 유도는 확실치 않으므로, 이들에 의한 보간 모델은 불명확하다.

우리는 주어진 도트 자극들의 인식을 수학적인 보간 처리에 근거하지 않고, 시각 신경계의 연구에서 나타난 시각 정보 처리 메카니즘을 통해 도트 자극의 형태 인식을 다룬다. 물론 이것은 Hubel & Wiesel에 의해 제안된 계층기설의 각 계층에 주어지는 세포들의 특성을 참조하여 구성한 것이다<sup>[5-10]</sup>.

시각 처리와 관련하여 도트들의 윤곽은 스스로 윤곽의 위치와 관련된 정보를 제공하기 때문에 어떤 곳에 서든 생성될 수 있는 데, 이것은 이웃하는 도트들 사이에 형성하는 가상 선에 의해 생기는 것이다. 도트 자극의 인식은 도트들 사이의 pair-wise관계를 인정하는 가상 선들의 분석으로부터 발생한다.

우리의 실험에서는 Hubel & Wiesel이 제안한 계층 모델을 참조로 구성된 인식 시스템을 통해, 인간의 시각계가 도트 자극을 어떻게 처리하는 지를 보여주고 있으며, 제시된 인식 시스템이 성공적으로 생리심리학 실험의 결과를 보여주고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

인식 시스템에서 도트 자극으로부터 가상선을 인식하는 문제를 해결하기 위해 사용한 방법은 단순형 세포의 특징을 사용하여, 두 자극이 주어질 때 반응을 얻도록 처리함으로써 원하는 결과를 얻을 수 있었다.

## V. 결 론

생물의 시각 신경계 개념을 이용하여, 도트 자극들을 인식하는 정보 처리 메카니즘을 연구했다. 도트들의 인식과 관련된 생리심리학 실험의 결과는 일련의 이산적인 도트들을 인식할 때, 주어진 도트 자극들을 각각의 도트들로 인식하기보다는 어떤 형태의 선(집합)으로 인식한다는 사실을 나타내며, 이것은 이웃하는 도트들 사이의 가상 선들의 존재를 적극적으로 지지한다.

이러한 생리심리학적인 결과를 사용하여, 도트 자극을 인식하는 시스템을 제시하고, 제시된 인식 시스템의 단계적인 처리를 통해, 시스템의 성능을 확인했다.

본 연구에서는 도트 자극 인식에서 나타난 가상선들의 심리학적 존재를 신경회로망을 사용하여 구현한 것이다.

## 참 고 문 헌

- [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] Smits 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] Smits 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, 神経回路と情報処理, 朝倉書店, 1993.
- [9] 乾 敏郎, 視覚情報処理の基礎, サイエンス社, 1990.
- [10] 김옥현, 손진우, "신경회로망과 시각정보처리", 전자통신연구소, 전자통신동향분석, 제 8권, 제3호, pp. 66-76. Oct.(1993)
- [11] J. Stone, B. Dreher : "Projection of X- and Y-cells of the cat's lateral geniculate nucleus to area 17 and 18 of visual cortex", J, Neurophysiol., 36<sup>[31]</sup>, pp. 551~567(May 1973).
- [12] K. Toyama, K. Maekawa, T. Takeda : "An analysis of neuronal circuitry for two types of visual cortical neurones classified on the basis of their responcees to phasic stimuli", Brain Res., 61, pp. 395~399(1973).
- [13] W. Singer, F. Tretter, M. Cynadar : "Organization of cat striate cortex : A correlation



- of receptive field properties with afferent and efferent connections”, J, Neurophysiol, 38<sup>[5]</sup>, pp. 1080~1098(Sept. 1975).
- [14] K. Toyama, K. Maekawa, T. Takeda : “Convergence of retinal inputs onto visual cortical cells. I. A study of the cells monosynaptically excited from lateral geniculate body”, Brain Res., 137<sup>[2]</sup>, pp. 207~220(1977).
- [15] K. Tanaka : “Cross-correlation analysis of geniculostriate neuronal relationships in cats”, J, Neurophysiol, 49<sup>[6]</sup>, 1303~1318 (June. 1983).
- [16] K. Toyama, M. Kimura, K. Tamaka: “Organization of cat visual cortex as investigated by cross-correlation technique”, J, Neurophysiol, 46<sup>[2]</sup>, 202~214 (Aug. 1972).
- [17] Caelli T M, Umansky J, “Interpolation in the visual system”, Vision Research 16, 1055-1060, 1976.

---

 저 자 소 개
 

---

鄭 恩 花(正會員)

1991년 2월 영남대학교 전산공학과 졸업(공학사).  
 1993년 2월 영남대학교 대학원 전산공학과 졸업(공학석사). 1995년 2월 영남대학교 대학원 전산공학과 박사과정 수료. 관심분야는 패턴인식, 화상처리, 시각정보처리, 신경회로망 등임.

金 旭 炫(正會員) 第 33 卷 B 編 第 1 號 參 照

현재 영남대학교 전산공학과 조교수