

論文97-34C-3-5

# 주관적 윤곽 인식을 위한 유도 자극 추출 신경망

## (A Neural Network Extracting the Induced Stimuli for the Perception of Subjective Contours)

鄭 恩 花 \*, 洪 景 浩 \*\*, 金 旭 炫 \*\*\*

(Eun Hwa Jeong, Keong Ho Hong, and Wook Hyun Kim)

### 요 약

생물의 시각계는 주관적 윤곽(Subjective Contours)을 인식한다. 이들에 관한 연구의 대부분은 인간의 시각이 고전적인 Kanizsa의 삼각형이나 사각형, 그 밖의 다양한 주관적 윤곽이 있는 그림을 어떻게 인식하는지를 보이는 생리심리학적 실험이다. 주관적 윤곽이란 물리적으로는 윤곽이 없는 곳에서 주변의 패턴의 영향에 의해 윤곽이 있는 것처럼 느끼는 현상인데, 이와 같은 현상은 물체 인식에 있어서 일부가 숨어있는 물체를 그 주위의 정보를 이용해서 보충하면서 인식해 가는 능력과 관계가 있다. 본 연구에서는 생리심리학 실험에서 논의된 주관적 윤곽의 인식과 관련하여 윤곽이 없는 곳에서 보이는 숨어있는 패턴(즉, 주관적 윤곽)을 찾기 위한 이전 단계로, 숨어있는 패턴을 찾는 데 중요한 영향을 주는 유도 자극을 추출하는 신경망을 연구한다. 실험에서는 고전적 Kanizsa 사각형이나 이와 유사한 패턴들로부터 볼 수 있는 다양한 주관적 윤곽들을 대상으로 한다. 제안된 신경망은 주관적 윤곽을 인식하는 데 필요한 유도 자극을 추출하는 데 좋은 성능을 보인다.

### Abstract

Human observers perceive a contour where no line or edge is given(subject contour), such as the border between gratings of thin lines offset by half a cycle. Subjective contours occur in a wide variety of circumstances in nature. A common factor in all such figures is the perception of a surface(contour) occluding part of a background, i.e. subject contours are always accompanied by subject surfaces. Some examples about these kinds of figures are given by Kanizsa triangle or square. Physiological observations are reported in which the perceptual phenomenon that some simple examples of subject contours are perceived as images(figures; contours) through physiological experiments was investigated. In this paper, we proposed a neural network extracting the induced stimuli for the perception of subject contours based on the visual mechanism. This visual mechanism is proposed by Hubel & Wiesel's paper.

### I. 서 론

1904년에 슈만<sup>[1]</sup>이 처음으로 주관적 윤곽 그림

(subjective contour figure)을 제시했다. 이런 종류의 그림은 후에, Kanizsa<sup>[2]</sup>가 새롭고, 보다 강력하면서도 다양한 그림을 생성함으로써 다시 주의를 끌게 되었다. 주관적 윤곽이란 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. 주관적 윤곽의 예는 그림 1에 나타난다. 이런 종류의 그림들은 종종 "주관적 윤곽"(subjective contours), "가상 윤곽"(illusory contours) 그리고 "변칙윤곽"(anoma-

\* 正會員, 天安大學校 컴퓨터學科

(Dept. of Computer Science, Chonan University)

\*\* 正會員, 협성大學校 經營情報學科

(Dept. of M.I.S, Hyup-Sung University)

\*\*\* 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10月24日, 수정완료일:1997年3月12日

lous contours)“으로 부른다.<sup>131</sup> 그림 1(a)와 같은 주관적 윤곽들(subjective contours)에 대한 논리적인 이론에 의하면 하나의 특정 형태의 깊이 계층이 항상 나타난다. 주관적인 표면(subjective surface)의 출현으로 말미암아, 유도하는 요소들은, 그들의 앞에 놓인 윤곽(그림)을 완성시키는 경향이 있다. 여기서 유도자들(inducers)은 항상 관찰자로부터 더 멀리 떨어져 있는 것처럼 보이고, 주관적인 윤곽을 갖는 그림은 더 가까이 존재하는 것처럼 보인다. 그림 1(b)에서는 주관적 윤곽을 형성하는 발자욱 형태의 곡선을 가진 표면이 인식되며, 그림 1(c)에서는 가상의 원과 직선의 경계가 보이고, 그림 1(d)에서는 사각형과 부드러운 곡선이 지각된다.

그림 1과 같은 형태의 패턴에서 생물의 시각계가 주관적 윤곽을 인식하는 것은 생리심리학적인 실험으로 이미 밝혀졌다.<sup>14-61</sup> 그러나 이들 사이의 관계를 규명한다는 것은 여전히 문제점으로 남아있다.

기존의 주관적 윤곽에 관한 연구로는 Ullman<sup>171</sup>, Heitger & Von der Heydt<sup>181</sup>, Grossberg<sup>191 1101</sup>, Guy & Medioni<sup>1111</sup> 등에 의해 주관적 윤곽의 형성에 관한 여러가지 계산 모델들이 제안되었다.

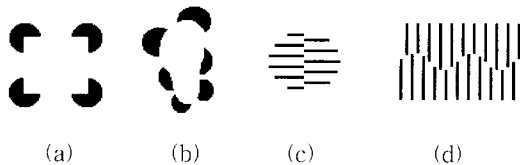


그림 1. 주관적 윤곽들의 여러가지 예들. (a) Kanizsa 사각형, (b) 발자욱, (c) 중앙의 수직 선과 주변의 원, (d) 사각형 경계와 중앙의 부드러운 곡선이 지각된다. 그러나 경계 사각형은 명확하지 않다.

Fig. 1. Some examples of subjective contours. The square in (a), the foot in (b), the vertical boundary and circle in (c) and the square boundary and smooth curve in (d) are all defined by boundaries that are not made explicit.

Ullman<sup>171</sup>은 주어진 유도 부분들에 대해, 연속성(continuity), 동위성(isotropy), 국부화(locality), & 곡률의 최소화(minimization of curvature), 등을 수단으로 주관적 윤곽들의 형태에 대한 모델을 기술했다. Heitger & Von der Heydt<sup>181</sup>는 폐쇄 메카니즘에 근거를 하여 주관적 윤곽들을 유도하는 조각들을 추출하

는 메카니즘들을 제안했다. Grossberg<sup>191 1101</sup>는 경계 윤곽시스템(BCD: Boundary Contour System)이 계층 지향 필터로부터 라인의 끝들(line endings)에 수직인 불연속 반응들을 얻는 것에 착안한 메카니즘을 제안한다. 그것은 주관적 윤곽을 형성하기 위해 상호-경쟁적인 피드백(cooperative-competitive feedback)과 함께 상호 동작한다. Guy & Medioni<sup>1111</sup>는 화상들 상의 각 점들에 확장 필드의 개념에 근거를 둔 모델을 제시했으며, 그것은 주관적 윤곽들의 유도부분의 유사한 연속성에 대한 방향들을 제안한다.

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>156,12-151</sup>

본 논문은 기존의 계산 모델들을 제안하는 연구와 달리, 생물의 시각 신경계를 이용하여 주관적 윤곽을 인식하기위해 중요한 요인이 되는 유도 자극점을 추출하고자 한다. 본 연구에서 다룰 내용은 시각 메카니즘을 통해 어떻게 주관적 윤곽으로 주어지는 자극점을 추출하는지 알아본다. 여기서 사용될 신경회로망은 시각 정보 처리 메카니즘을 다룬 Hubel과 Wiesel에 의해 제안된 계층가설을 참조하여 구성한 것이다.<sup>156,12-161</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 다층 구조로 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 망

망상의 아주 작은 영역의 빛의 강도를 검출하며, 신경질 세포는 망막상의 국소적인 영역에 있어서의 빛의 콘트라스트를 검출하고 있다. 좌우 양안의 망막에서 나온 신경질 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.<sup>[5,6,12-15]</sup>

시각계에 있어서 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 신경질 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 신경질 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>[5,6,12-15]</sup>

망막의 신경질 세포의 출력은 시신경을 통해 외측슬상체를 거쳐 시각영역(visual area)에 전달된다. 시각영역은 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 여러 종류의 특징에 반응하는 세포가 존재한다고 알려져 있다.<sup>[5] [16]</sup>

Hubel과 Wiesel은 고양이나 원숭이의 시각 영역(V1영역과 V2영역) 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 신경질 세포 → 외측슬상체 → 단순형 세포 → 복잡형 세포 → 초복잡형 세포라고 하는 계층적 구조가 존재한다는 계층가설을 제창했다.<sup>[5,6,12-15]</sup>

최근에는 Hubel과 Wiesel의 초기 연구 결과를 수정하려는 아이디어도 많이 나오고 있다.<sup>[14,17-22]</sup> 예를 들면, Hubel-Wiesel의 계층가설에 의하면, 복잡형 세포

는 단순형 세포로부터만 입력을 받는 것으로 되어 있지만, 실제로는 단순형 세포뿐만 아니라, 외측슬상체의 세포로부터도 직접 흥분성 시냅스 결합을 받고 있다는 것이 밝혀졌다.<sup>[17-21]</sup> 또 단순형 세포에서 복잡형 세포로의 결합은, 흥분성 결합이 아닌 억제성 결합도 있다는 보고도 있다.<sup>[22]</sup>

본 논문에서 사용될 신경회로망은 Hubel과 Wiesel의 계층 가설을 참조로 하여 구성한 것으로, 이것은 망막에서 초복잡형 세포까지의 경로를 모델링 하여 사용한 것이다.

### Ⅲ. 주관적 윤곽 인식을 위한 유도 자극

#### 1. 시각영역과 주관적 윤곽

대뇌피질에 있어서 각 영역간에 시각 정보의 전달 과정은 계층적으로 이루어진다. 이들의 계층내에서 형태, 색, 운동, 장소 등의 정보는 각각 다른 장소에서 처리되는 것으로 생각하고 있다. 대략적으로 보면, V1 영역 → V2 영역 → V4 영역 → PIT 영역(posterior inferotemporal area) → AIT 영역(anterior inferotemporal area: 측두연합영역)이라는 경로를 따라 형태나 색의 분석이 진행되어 가고, V1 영역 → MT 영역(middle temporal area) → MST 영역(medial superior temporal area) → 7a 영역(두정 연합영역)이라는 경로에서는 패턴의 운동정보나 위치 정보가 분석되고 있다. 이와 같이 시각 신경계는 전체로 보면, 간단한 것에서부터 복잡한 것으로 정보가 처리되어 간다고 하는 계층구조를 가지지만, 그 계층은 하나뿐이 아니고, 몇 개의 계층구조가 병렬적으로 존재하는 분지형(分枝型)의 계층구조를 가지는 것으로 생각된다.<sup>[13]</sup>

대뇌피질의 V1 영역에서는 약 2mm의 두께가 있고 조직학적인 관측에 의하면 6층으로 구분할 수 있다. 이 6개의 층은 피질의 표면으로부터 차례대로 1층, 2층, ..., 6층으로 명명하고 있다. 다만 이 구분은 반드시 일정한 것은 아니고, 4층은 다시 4A, 4B, 4C $\alpha$ , 4C $\beta$ 등으로 구별하는 등, 연구자에 따라 구별의 방법이 다소 다르다.<sup>[13]</sup>

Gilbert와 Wiesel<sup>[23] [24]</sup>에 의하면, 고양이의 경우 각 층의 세포간에는 시냅스 결합이 있다고 한다. 즉, 외측슬상체의 축색(외측슬상체로부터의 입력)은 4층과 6층 세포와 시냅스 결합을 하고 있다. 그 중에도 4층으로 들어가는 입력이 특히 강하다. V1 영역으로 부터의

출력은, 4ab층, 2,3층, 5층, 6층 등으로부터 나가지만, 그 행선지는 층마다 다르다. 각 층 세포의 수용영역의 성질을 조사해 보면 다음과 같은 경향을 보인다고 한다. 단순형 세포는 주로 4층과 6층의 상층부에 보이고 복잡형 세포는 4층 이외의 거의 모든 층에서 발견된다. 종단(終端)억제형의 단순형 세포는 4층에서 발견되고 있지만 그것과 같은 정도의 크기의 수용 영역을 가진 종단억제형의 복잡형세포는 표층부에서 발견된다. 5층이나 6층에는 더 큰 수용영역을 가진 복잡형 세포가 있다. 특히 6층에는 상당히 긴 직선 패턴에 반응하는 세포를 포함하고 있다.

V1 영역에서는 같은 최적 방위를 가진 신경세포가 대뇌 피질의 표면에 수직방향으로 한꺼번에 모여 존재한다. 즉, 피질 위 같은 장소의 여러 깊이에 존재하고 있는 세포는, 전부 동일한 최적방위를 가진다.

시각 영역중 V2 영역은 세 부분으로 나누어 볼 수 있다. 첫번째는 방위 선택성을 가지지 않고 대부분이 색에 반응하는 부분과 두번째는 방위선택성을 가지고 반수 이상의 세포가 종단억제형(초복잡형)의 수용영역을 가지고 있어서 형태 인식에 관여하는 부분과 세번째는 방위선택성을 가지나 색에는 반응하지 않는 부분으로, 주로 양안시차나 운동방향의 검출에 관여하는 부분이 있고, V1 영역과 같이, 선이나 윤곽의 기울기, 색, 양안시차에 반응하는 세포가 있다.

첫번째 부분은 수용영역의 크기는 V1 영역의 세포보다 크지만, 최적자극의 크기는 V1 영역의 세포와 그다지 차이가 나지 않는다. 하지만 그 최적자극 패턴이 수용영역의 어느 위치에 주어져도 반응을 한다. 이것은 방위 선택성을 가지지 않는다고 하는 점을 제외하면, Hubel-Wiesel의 계층가설에 있어서 단순형 세포와 복잡형 세포와의 관계와 아주 비슷하다.

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

Schumann<sup>[11]</sup>은 강도 변화 없이 윤곽이 인식되는 자극(주관적 윤곽)들을 기술했다. 이 윤곽들은 1세기 동안 과학적 흥미를 일으키는 시각그룹화기능(visual grouping capacity)과 시각 피질 활성화(visual cortical activity)를 나타냈다. Kanizsa<sup>[12]</sup>는 주관적 윤곽들의 인식을 주관적 윤곽에 의해 가려진 부분들, 깊

이 지각들, 맑기 대비와 오브젝트 인식과 같은 여러 가지 인식현상과 관련하여 두드러진 시각 실험들을 기술했다. Von der Heydt 등<sup>[25]</sup>은 고양이(의 전 횡피질(prestraite cortex)에서의 세포들은 주관적 윤곽을 인식하지만, 횡피질(straite cortex)에서의 세포들은 주관적 윤곽을 인식하지 못한다는 것을 나타냈다. Peterhans<sup>[26]</sup>의 연구에서는 폐쇄(가려져 막힌 부분)를 검출하기 위해 사용하는 종단세포들(end-stopped cells)가 주관적 윤곽들을 형성하며, 주관적 윤곽들을 형성하는 기본 구조는 연결부분(junctions), 코너 부분(corners), 라인의 끝(line ends)들이더라는 것을 나타냈다.

Von der Heydt는 대뇌 피질의 시각 영역 V2에서 주관적 윤곽에 반응하는 세포가 있다고 보고하고 있다. 그림 2(b)는 그림 2(a)와 같이 배경 위에 중앙의 밝은 사각형 막대가 놓여 있는 것처럼 인식된다. 이와 같은 주관적 윤곽을 가진 패턴에 반응하는 세포가 V2영역에 존재한다고 한다. 그러나 그림 2(c)와 같은 상하의 패턴의 오목한 부분의 출구를 가는 선으로 막아버리면 세포의 반응은 주관적 윤곽에 반응하지 않는다. 이와 같은 주관적 윤곽에 반응하는 세포는 V1영역에서는 보이지 않는다.

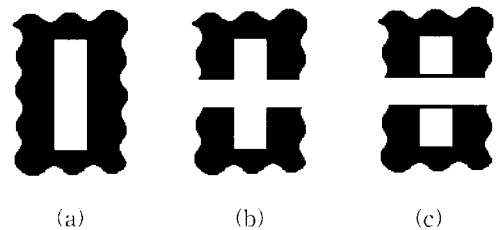


그림 2. 주관적 윤곽들. (a)와 (b)는 시각영역 V2에서 반응하지만 (c)는 반응하지 않는다.(Von der Heydt, Peterhans & Baumgartner<sup>[25]</sup>)

Fig. 2. Subjective contours. Visual area V2 is responded as bars in (a) and (b), but does not in (c).(Von der Heydt, Peterhans & Baumgartner<sup>[25]</sup>)

주관적 윤곽들(subjective contours)에 대한 논리적인 이론에 의하면, 하나의 특정 형태의 깊이 계층이 항상 주어지며, 주관적인 표면(subjective surface)의 출현으로 말미암아, 유도하는 요소들은, 그들의 앞에 놓인 윤곽(그림)을 완성시키는 경향을 일으킨다. 또한 여기에서 유도자들은 항상 관찰자로부터 더 멀리 떨어져 있는 것처럼 보여지고, 주관적인 윤곽을 갖는 그림은 더 가까이 존재하는 것처럼 보여진다<sup>[13]</sup>.

우리는 실험에서 주관적 표면을 형성하는 형태를 인식하기 위해 중요한 요인이 되는 유도 자극점을 추출하고자 한다. 예를 들면, 그림 1 (a)와 같은 Kanizsa square 의 경우라면, 4개의 원형의 디스크 위에 사각형이 놓여 있는 것이 보여진다. 이 때 이 사각형을 인식하기 위해 필요한 자극점(원형의 디스크와 사각형이 만나서 이루는 모퉁이 교차점)을 찾아내는 것이다.

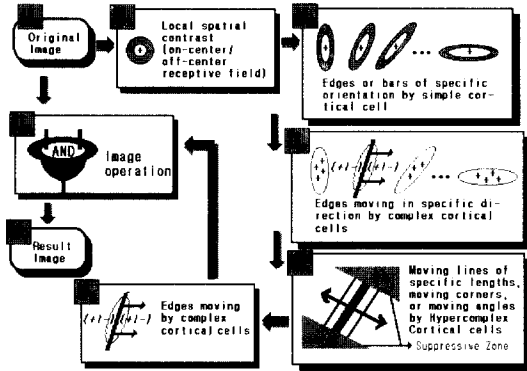


그림 3. 시각 메커니즘을 사용한 신경 회로망의 흐름도  
 Fig. 3. The flow diagram of a neural network using visual mechanism.

2. 유도 자극점의 추출 방법

주관적 윤곽을 인식하기 위해 필요한 유도 자극점을 추출하기 위한 시각 처리 단계들이 그림 3에 주어졌다. 여기서 사용되는 입력화상은 이진 화상으로, 그림 3의 흐름도에서 계층  $U_0$ 에 해당한다.

첫번째 단계  $U_1$ 층은 망막에 있어서의 주된 처리로 강도(intensity) 변화를 검출한다.

우리의 실험에서 사용된 망막 신경절 세포는 on-중심형 세포로서, 마스크(mask)는 DOG(Difference of two Gaussians)함수를 사용한다. 만약 중심으로부터의 거리를  $r$ , 흥분성 영역과 억제성 영역의 표준편차를 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. DOG 마스크의 크기와 자극 패턴의 크기의 상대적인 대소관계에 따라 다른 출력 결과를 나타낸다.

본 실험에서 이 단계의 처리결과는 주어진 화상의 윤곽선(contast) 검출에 해당한다.

이 계층( $U_1$ )의 출력  $U_1(x, y)$ 은 식 (2)와 같다.

$$U_1(x, y) = 1 \left[ \int \int_A DOG(\xi, \eta) \cdot U_0(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_1 \right] \quad (2)$$

여기서  $\theta_1$ 은 신경절 세포의 발화임계치이며,  $1 [ \ ]$ 은 스텝함수이다. 적분 영역  $A_1$ 은 1개의 세포에 대한 결합분포의 범위, 즉 수용영역의 크기를 나타낸다.

두번째 단계  $U_2$ 층에서 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 특성의 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.

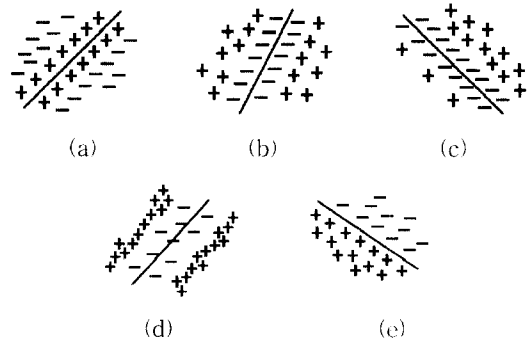


그림 4. 여러가지 종류의 단순형 세포의 수용영역 (Hubel and Wiesel's<sup>151</sup>)  
 Fig. 4. Several types of receptive fields of simple cell(Hubel and Wiesel's<sup>151</sup>)

그림 4에 여러가지 타입의 단순형 세포의 수용영역을 보여주고 있다. 본 논문의 실험에서 사용된 단순형 세포는 그림 4(a)와 같은 형태로, + 표시 부분에 일치하는 직선형태의 자극에 대해 가장 강하게 반응을 나타낸다. 이 직선형태의 자극의 방위(직선의 기울기: orientation)나 위치가 틀어지면, - 표시 부분에도 자

극값이 주어지게 되어 반응은 억제되어 버린다. 단순형 세포의 반응으로 사용될 수용영역의 감도분포는 다음과 같다.

$$G(\sigma, x) = e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

$$S(x, y) = (G(\sigma_e, x) - G(\sigma_i, x)) \cdot G(\sigma_{cn}, y) \quad (4)$$

$$S_\phi(x, y) = S(x \cos \phi - y \sin \phi, x \sin \phi + y \cos \phi) \quad (5)$$

$$\phi = \frac{\pi}{8} \times d \text{ [rad]} \quad (d = 0, 1, 2, \dots, 7) \quad (6)$$

여기서,  $\sigma_e, \sigma_i$ 는 각각 흥분성 영역과 억제성 영역을 규정하는 파라미터이고,  $\sigma_{cn}$ 은 필터의 최적 방위의 민감도(sensitivity)를 나타낸 것이고,  $\phi$ 는 최적 방위(perferred orientation 또는 optimal orientation)를 나타낸다.

수용영역의 최적방위가  $\alpha$ 인 단순형 세포의 출력  $U_{2,\alpha}(x, y)$ 은 식 (7)과 같다.

$$U_{2,\alpha}(x, y) = 1 \left[ \int_{A_2} S_\alpha(\xi, \eta) \cdot U_1(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_2 \right] \quad (7)$$

세번째 단계  $U_3$ 층에서 사용되는 복잡형 세포의 특징은 수용영역의 내부가 on-, off-영역으로 구분되어 있지 않아서, 직선이 수용영역 내부에 있거나 하면, 그 위치에는 그다지 영향을 받지 않고 반응한다. 복잡형 세포는 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. 이 단계에서 복잡형 세포는 단순형 세포의 처리에 의해 부분적으로 손상되거나 약한 반응을 재생하는 데 이용되며, 단순형 세포와는 달라서, 수용영역의 내부를 on-영역과 off-영역으로 구분할 수가 없기 때문에, 그림 4와 같은 형식으로 수용영역을 표시할 수 없다. 복잡형 세포의 수용영역의 감도분포는 다음과 같이 정의한다.

$$C(\sigma, x) = e^{-x^2/2\sigma^2} \cdot e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (8)$$

$$C_\phi(x, y) = C(x \cos \phi - y \sin \phi, x \sin \phi + y \cos \phi) \quad (9)$$

여기서,  $\phi$ 는 식(6)에 주어져 있다.

식 (9)를 사용하여 수용영역의 최적방위가  $\alpha$ 인 복잡형 세포의 출력  $U_{3,\alpha}(x, y)$ 은 식 (10)와 같다.

$$U_{3,\alpha}(x, y) = 1 \left[ \int_{A_3} C_\alpha(\xi, \eta) \cdot U_2(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_3 \right] \quad (10)$$

네번째 단계  $U_4$ 층에서 사용되는 초복잡형 세포의 특징은, 자극의 길이에 무관하게 반응을 보이는 복잡형 세포와는 달리, 반응을 일으키기 위한 자극 패턴의 길이가 수용영역의 한쪽 또는 양쪽에서 제한된다. 즉, 수용영역의 한쪽 혹은 양쪽에 억제 영역이 존재한다고 생각하여, 최적자극은 최적방위와 일치한 일정한 길이의 직선이나 에지로서, 그 일부가 인접한 억제 영역에는 나타나지 않는다. 즉, 반응을 일으키기 위한 직선의 길이나 에지의 폭에도 최적치가 존재하고, 그것보다도 긴 직선이나 폭이 넓은 에지에 대해서는, 반응이 오히려 억제 된다. 초복잡형 세포는 복수개의 복잡형 세포로부터 서로 억제적인 입력을 받고 있다고 생각해서 그 반응을 설명할 수 있으며 곡선이나 에지의 구부러짐의 정도를 검출하는 작용을 하고 있다. 우리의 실험에서는 주관적 윤곽을 인식하기 위해 필요한 자극점을 추출해 내는 중요한 단계라고 할 수 있다. 이것은 복수개의 복잡형 세포의 결합으로 형성된다고 할 수 있다.

$$H_\phi(x, y) = \prod_{\phi=0}^7 C_\phi(x, y) \quad (11)$$

여기서  $C_\phi(x, y)$ 은 식(9)에 주어져 있다.

식 (11)를 사용하여 수용영역의 최적방위가  $\alpha$ 인 초복잡형 세포의 출력  $U_{4,\alpha}(x, y)$ 은 식 (12)와 같다.

$$U_{4,\alpha}(x, y) = 1 \left[ \int_{A_4} H_\alpha(\xi, \eta) \cdot U_3(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_4 \right] \quad (12)$$

다섯째 단계  $U_5$ 층은 초복잡형 세포에 의해 부분적으로 손상되거나 약한 반응을 재생하고자 하는 목적으로 사용하였다. 이것은 세번째 단계의 복잡형 세포를 한번 더 처리한 것으로, 수용영역의 감도분포는 식 (8), (9)에 나타난다.

수용영역의 최적방위가  $\alpha$ 를 가진 이 계층( $U_5$ )의 출력  $U_{5,\alpha}(x, y)$ 은 식 (13)와 같다.

$$U_{5,\alpha}(x, y) = 1 \left[ \int_{A_5} C_\alpha(\xi, \eta) \cdot U_4(x + \xi, y + \eta) d\xi d\eta - \theta_5 \right] \quad (13)$$

마지막 단계  $U_6$ 층은 원화상과 AND 논리 연산(원이 미지에 다섯번째 결괴이미지를 빼것(subtract))을 취한 것으로 본 연구의 최종 이미지가 된다.

이 계층( $U_6$ )의 출력  $U_6(x, y)$ 은 식 (14)와 같다.

$$U_6(x, y) = [ U_5(x, y) \wedge U_0(x, y) ] \quad (14)$$

여기서  $\wedge$ 은 AND 논리 연산을 나타낸다.  
다섯번째 단계  $U_5$ 층과 마지막 단계  $U_6$ 는 보다 좋은 결과를 얻기 위해 사용한다.

IV. 실험 결과와 논의

본 논문은 인간의 시각 정보 처리 단계를 도입하여, 주관적 윤곽의 표면을 형성하는 데 중요한 역할을 하는 유도자극을 추출하는 것이다. 제시된 신경 회로망의 타당성을 검증하기 위해 주관적 윤곽이 형성되는 화상을 임의로 선택하여 이진화상으로 변경하여 사용한다. 주관적 윤곽은 색정보를 갖지 않아도 명확하게 나타나기 때문이다.

실험에서 사용한 대표적인 화상들을 그림 5에 나타낸다. 제시된 신경망을 사용하여 수행한 결과 화상은 그림 6에 나타낸다.

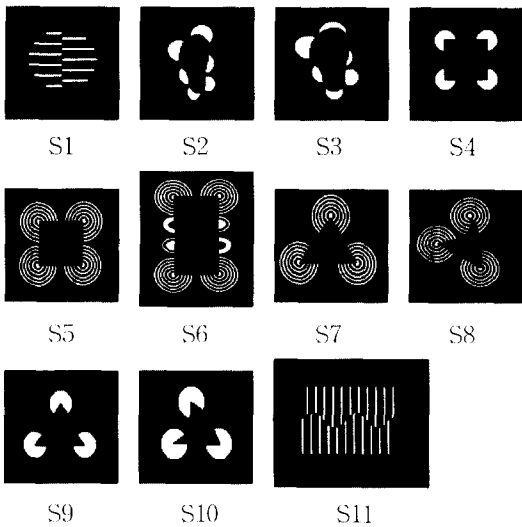


그림 5. 실험에 사용된 원화상들  
Fig. 5. Original binary images.

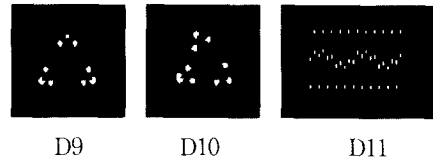
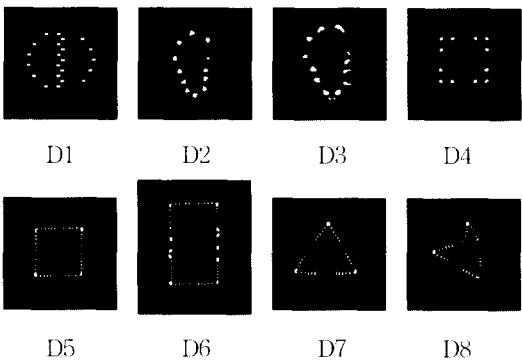


그림 6. 실험 결과 화상들  
Fig. 6. The Result Images.

그림 5의 S1 화상은 중앙선을 중심으로 원이 주어지는데 왼쪽 반원이 오른쪽 반원보다 앞으로 돌출되어 있는 것처럼 인식된다. 결과 화상은 그림 6의 D1에 나타났다. 그림 5의 S2, S3는 발자욱 모양이 원형의 디스크 위에 놓여 있다. 그림 5의 S4는 원형의 디스크 위에 사각형이 놓여 있다. S5는 S4의 변형된 형태로 원형의 동심원 위에 사각형이 놓여 있다. 그림 5의 S6는 원형의 동심원과 다양한 형태의 타원형 위에 직사각형이 놓여 있다. S7은 원형의 동심원상에 삼각형이 놓여 있고, S8은 원형의 동심원위에 왜곡된 삼각형이 놓여 있다. S9는 Kanizsa 삼각형과 유사한 것으로 3개의 원형 디스크 위에 삼각형이 놓여 있으며, S10은 약간 비틀린 삼각형이 놓여 있다. S11은 명확하지는 않지만 주변의 사각형과 중앙에 수평의 부드러운 곡선이 보이며, 어느 한쪽이 위에 놓여 있는 것처럼 인식된다. 각각의 화상에 대해 추출된 유도자극을 그림 6에 나타낸다.

그림 7은 그림 3에 제시된 신경망의 단계적 처리 결과를 나타낸다.

그림 7에서 (i)는 원화상( $U_0$ 층)이다.

그림 7(a)는 Kanizsa 사각형과 유사한 형태로 동심원들의 이미지 위에 사각형이 놓여진 것으로 인식된다. 그림 7(b)는 원형의 디스크 위에 발자욱 형태의 도형이 보인다. 그리고 그림 7(c)에서는 중앙의 수직선과 테두리를 형성하는 원이 인식된다.

그림 7에서 (ii)는 흐름도의 첫번째 단계( $U_0$ 층)의 결과화상이다.

이것은 식 (1), 식 (2)에 주어진 DOG 마스크에 의한 처리로 망막상의 강도 변화를 추출한 것으로 DOG 함수의 넓이와 자극 형태 크기의 상대적 관계에 따라 다른 출력을 낸다. 여기서 보여진 결과는 원이미지에 대한 윤곽선을 검출하는 것으로, 그림 7(b)에서 (ii)는 원이미지와 유사한 결과를 보이고 그림 7(c)의 (ii)에서는 발자욱 형태에 대한 윤곽만을 보인다.

그림 7(iii)은 두번째 단계( $U_1$ )의 단순형 세포에 의해

나타나는 수행 결과이다. 여기서 사용한 최적방위는 8 방위이고, 방위별 반응 결과를 차례로 제시했다. 단순형 세포는 자극 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 꼭 일치하는 경우에는 가장 강한 반응을 나타낸다. 만약 자극 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 일치(위치)하지 않으면 억제성 영역에 의해 반응은 약해진다. 그러므로 방위별로 나타난 결과는 해당방위에 따라 윤곽이 없어지거나 약해져 있음을 보인다. 사용된 마스크의 형태는 식(3), (4), (5), (6)에 주어진다.

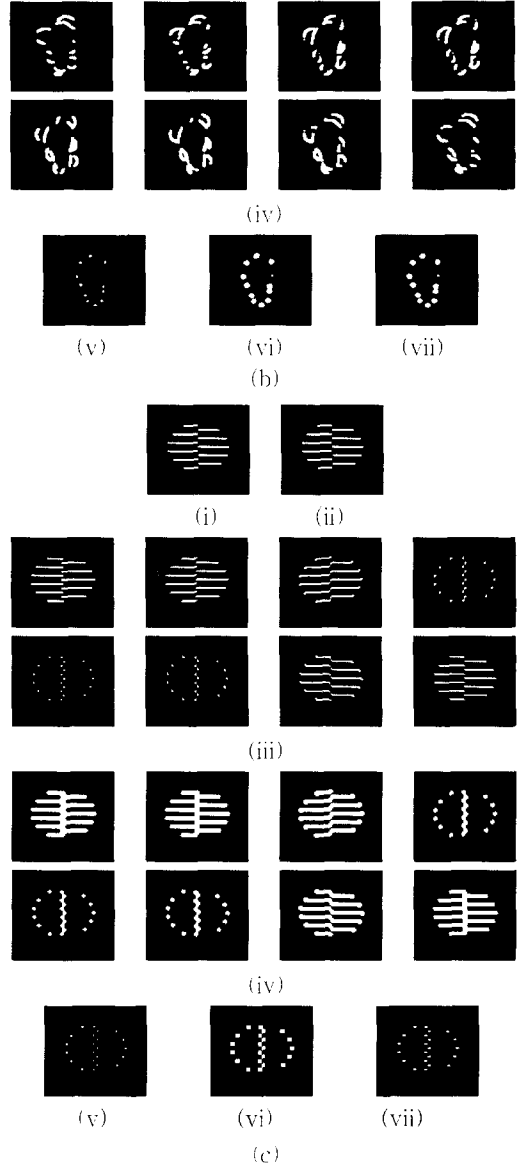
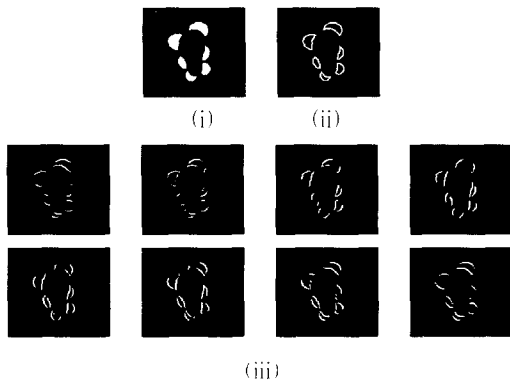
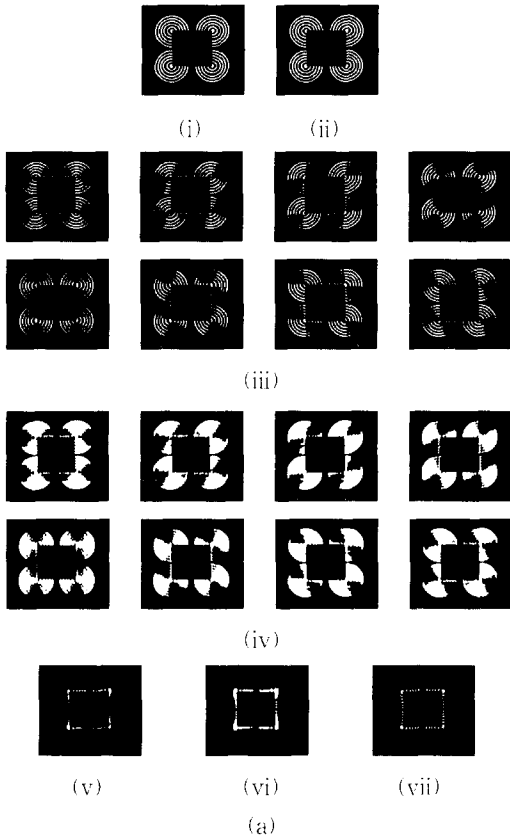


그림 7. (a) 사각형 인식에 대한 실험 결과들. (b) 발자욱 인식에 대한 실험 결과들. (c) 중앙의 수직선과 경계의 원을 인식하는 실험 결과 이미지들. (i) 원 이미지, (ii) DOG 마스크에 의한 이미지, (iii) 단순형 세포에 의한 각 반응들, (iv) 복잡형 세포에 의한 각 반응들, (v) 초복잡형 세포에 의한 이미지, (vi) 복잡형 세포에 의한 중간 이미지, (vii) 결과 이미지.

Fig. 7. Experimental result images. (a) the perception of a square. (b) the perception of a foot shape. (c) the perception of the vertical boundary and circle. (i) Original image, (ii) Image by DOG mask, (iii) each response by the simple cell, (iv) each response by complex cell, (v) image by hypercomplex cell, (vi) temporary image by complex cell(blurring), (vii)output image.



그림 7(iv)는 세번째 단계( $U_3$ )의 복잡형 세포에 의한 처리로, 식(7), (8), (9)에 주어진다. 이것은 전 단계의 처리에서, 주어진 패턴의 형태나 위치가 수용영역의 흥분성 영역에 일치하지 않을 때, 억제성 영역에 의해 약해지거나 부분적으로 손상된 반응을 재생하기 위해 사용한다. 결과는 단순형 세포의 화상을 최적방위를 가진 가우스 함수에 의해 8방위에서 수행한 것이다.

그림 7(v)는 네번째 단계( $U_4$ )로 초복잡형 세포에 의한 수행한 결과이다. 초복잡형 세포는 복수개의 복잡형 세포로부터 상호 억제적인 입력을 받고 있으며 곡선이나 에지의 구부러짐뿐만 아니라 선분의 단점(端點)에 대해서도 강하게 반응한다. 여기서 초복잡형 세포는 복잡형 세포의 상호 억제적인 결합 때문에 복잡형 세포층에서 방위별로 나타난 곡선들이 모두 제거 되어 주관적 윤곽을 추출하기 위한 유도자극만이 추출됨을 확인할 수 있다. 사용된 마스크의 형태는 식(11), (12)에 나타났다.

그림 7(vi)는 다섯째 단계( $U_5$ )로 세번째 단계의 복잡형 세포를 한번 더 처리한 것이다. 이것은 초복잡형 세포로부터 보이는 약한 반응을 재생하고자 하는 목적으로 사용했다.

그림 7(vii)는 마지막 단계로원화상과 AND 논리 연산을 수행한 결과이다. 다섯번째 단계와 마지막 단계는 보다 선명한 주관적 윤곽 인식을 위한 유도 자극을 추출하기 위해 사용한 것이다.

결과 화상을 살펴보면 그림 7(a)의 (vii)에서는 주변의 동심원들이 모두 제거되어 중앙에 보이는 사각형을 인식하는 데 중요한 요인이 되는 자극들만이 도트의 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(b)의 (vii)은 발자욱 모양을 가진 도형이 원형의 디스크 위에 놓여 있었으나 배후에 있었던 원형의 디스크들은 모두 제거되어지고 주관적 윤곽을 형성하는 데 영향을 주는 유도 자극들만이 남아 있다. 그림 7(c)의 (vii)은 중앙의 수직선을 중심으로 깊이 계층이 다른 두 개의 반원으로 보이던 원화상으로부터 반원을 형성하는 수평선들은 모두 제거되고 두 개의 반원들과 그 가운데 수직선을 인식하는 데 영향을 주는 유도 자극들만이 도트 자극으로 나타난다.

주관적 윤곽 인식을 위한 전처리인 유도 자극을 추출 신경망은 그림 3에 제시된 각 단계별 처리를 통해 원하는 유도 자극들이 성공적으로 추출됨을 확인할 수 있었다. 이것은 생물의 시각 신경계의 연구에서 나

타난 시각 정보 처리 경로를 참조로 하여 구성된 것으로 주어진 화상을 사용하여 망막에서의 처리를 통해 윤곽선을 검출한 후, 단순형 세포에서 추출된 직선이나 에지 성분을 복잡형, 초복잡형세포를 거치면서 모두 제거하고 원하는 유도 자극들만을 추출한 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 인간의 시각 정보 처리를 사용하여, 이들 생리심리학 실험에서 논의되어진 주관적 윤곽의 인식과 관련하여 윤곽이 없는 곳에 보여지는 숨어있는 패턴을 찾기위한 이전 단계에 관한 연구로서, 숨겨진 패턴을 유도하는 데 중요한 영향을 주는 유도 자극 추출에 관해 연구했다. 실험에서 사용한 화상은 고전적 Kanizsa 사각형과 유사한 패턴들을 비롯하여 흔히 볼 수 있는 다양한 주관적 윤곽들을 대상으로 하였다. 실험에서 제시한 신경망은 다양한 형태의 주관적 윤곽에서 유도 자극을 추출해 내는 데 성공적인 결과를 보여 준다.

그러나 여기에서는 추출된 유도 자극점을 바탕으로 실제적인 표면 윤곽을 인식하는 문제가 향후 과제이다. 이것은 형(shape)의 지각을 다루는 것과 관련이 있고, 깊이 계층을 인식하는 문제가 대두된다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. Shumann. "Einige beobachtungen uber die zusammenfassung von gesichtseindrucken zu einheiten". Physiologische Studien, 1:1-32, 1904.
- [2] G. Kanizsa. "Organization in Vision", Praeger, New York, 1979.
- [3] Franco Purghe, Stanicy Coren: "Amodal completion, depth stratification, and illusory figures: a test of Kanizsa's explanation", Perception, Volume 21, pages 325-335, 1995.
- [4] D. Marr, Vision, "A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information", W. H. Freedom & Company, 1982.
- [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] S. Ullman. "Filling in the gaps: The shape of subjective contours and a model for their generation". *Biological Cybernetics*, 25:1-6, 1976.
- [8] 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.
- [9] S. Grossberg. "3-d vision and figure-ground separation by visual cortex". *Perception & Psychophysics*, 55(1):48-120, 1994.
- [10] S. Grossberg and E. Mingolla. "Neural dynamics of perceptual grouping: textures, boundaries and emergent segmentations". *Perception & Psychophysics*, 38(2):141-170 1985.
- [11] G. Guy and G. Medioni. Inferring global perceptual contours from local features". In *Proc. Image Understanding Workshop DARPA*, September 1992.
- [12] Marr. D. and Hildreth. E. "A theory of edge detection", *Proc. R. Soc. Lond. B*207, 187-217, 1980.
- [13] 福島邦彦, 神經回路と情報處理, 朝倉書店, 1993.
- [14] 乾 敏郎, 視覚情報處理の基礎, サイエンス社, 1990.
- [15] 김옥현, 손진우, "신경회로망과 시각정보처리", 전자통신연구소, 전자통신동향분석, 제 8권, 제3호, pp. 66-76. Oct.(1993)
- [16] 정은화, 홍경호, 김옥현, "주관적 윤곽 인식을 위한 유도 자극 추출 신경회로망", 제5회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회, pp. 307-310, 1996. 10. 19
- [17] 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>131</sup>, pp. 551-567(May 1973).
- [18] K. Toyama, K. Maekawa, T. Takeda : "An analysis of neuronal circuitry for two types of visual cortical neurones classified on the basis of their responses to phasic stimuli", *Brain Res.*, 61, pp. 395-399(1973).
- [19] 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>151</sup>, pp. 1080-1098(Sept. 1975).
- [20] K. Toyama, K. Mackawa, 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>121</sup>, pp. 207-220(1977).
- [21] K. Tanaka : "Cross-correlation analysis of geniculostriate neuronal relationships in cats", *J. Neurophysiol.*, 49<sup>161</sup>, 1303-1318 (June. 1983).
- [22] K. Toyama, M. Kimura, K. Tamaka: "Organization of cat visual cortex as investigated by cross-correlation technique", *J. Neurophysiol.*, 46<sup>121</sup>, 202-214(Aug. 1972).
- [23] C. D. Gilbert: "Microcircuitry of the visual cortex", *Ann. Rev. Neurosci.*, 6, pp. 217-247, 1983.
- [24] C. D. Gilbert, T. N. Wiesel: "Intrinsic connectivity and receptive field properties in visual cortex", *Vision Res.*, 25<sup>131</sup>, pp. 365-374, 1985.
- [25] R. von der Heydt, E. Peterhans, and G. Baumgartner. "Illusory contours and cortical neuron responses". *Science* Washington, 224:1260-1262, 1984.
- [26] R. von der Heydt, E. Peterhans, and G. Baumgartner. "Neuronal responses to illusory contour stimuli reveal stages of visual cortical processing". In *Visual Neuroscience*, pp 343-351. Cambridge U.P, 1986.

— 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. 1997년 3월 현재 천안대학교 전임강사. 관심분야는 패턴인식, 화상처리, 시각정보처리, 신경회로망등임



洪 景 浩(正會員)

1990년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 영남대학교 대학원 전산공학과 졸업(공학석사). 1995년 8월 영남대학교 대학원 전산공학과 수료. 1996년 2월 ~ 현재 협성대학교 경영정보학과 전임강사. 관심분야는 신경망, 패턴인식, 유전자 알고리즘 등

金 旭 炫(正會員) 第 33卷 B編 第 1號 參照

현재 영남대학교 전산공학과 조교수