

# 이심률에 따른 얼굴인식 최적 공간 주파수 대역의 변화

김 정훈, 이 성환

고려대학교 인공시각연구센터

E-mail : {jhkim, swlee}@image.korea.ac.kr

## Variation of Optimal Spatial Frequency Range for the Face Recognition as a Function of Eccentricity

Jeounghoon Kim and Seong-Whan Lee

Center for Artificial Vision Research,  
Korea University

### 요 약

공간 주파수 대역 변화로 대표되는 이심률(eccentricity)에 따른 시각 정보처리의 특성 변화는 많은 시각연구에서 보고된 바 있다. 그러나, 연구된 시자극들의 단순성에 의하여 이 특성의 인공시각 기술개발에의 활용에는 어려운 부분이 많았다. 이에 본 연구에서는 실생활에서 쉽게 접하는 얼굴영상을 이용하여 이심률에 따른 공간 주파수 대역 변화를 정량화하였다. 이 결과는 최근 관심이 고조되고 있는 생물 시각체계의 인공시각 기술개발의 다양한 방면에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서론

시각 생리학 그리고 정신물리학 연구들은 망막의 중심에서 주변부로 갈수록 광수용기의 크기와 광수용기 간의 간격이 변화함을 밝히고 있는데 [1, 2, 3], 이에 필연적으로 이심률(eccentricity)에 따른 공간 주파수(spatial frequency) 민감도의 변화를 예언한다[4]. 그러나, 지금까지의 대부분 연구들은 코사인(cosine)패턴과 같은 단순한 자극만을 사용하였기 때문에 복합적 공간 주파수를 함유한 자극의 처리에 시각체계가 어떤 정보를 사용하는지, 또한 이심률에 따라 공간 주파수 분석의 특성이 어떻게 달라지는지에 관한 연구는 미진하였다. 최근들어 복합 공간 주파수를 함유한 시각자극인 영문자와 숫자의 처리에 있어 최적의 공간 주파수 대역과 이심률에 따른 변화를 규명하는 연구가 시도되었는데 [5, 6], 이들 연구에서 사용된 자극의 예가 그림 1와 그림 2에 제시되어 있다. 이에 본 연구에서는 이 문제를 실생활에서 자주 접하는 얼굴패턴에 적용하여 이 자극의 처리에 최적의 공간 주파수 대역을 밝히고, 이것이 이심률에 따라 어떻게 변화하는지를 측정하고자 하였다. 이심률의 함수로 표시될 최적 공간 주파수의 변화는 결과적으로 시각체계가 얼굴패턴의 처리에 있어 가장 전위(front-end)에 사용하는 시각 수용장의 크기 및 특성이 이심률에 따라 어떻게 변화하는지를 밝혀줄 것이며, 나아가 최근에 관심이 고조되고 있는 생물 시각체계의 다해상도 특성을 이용한 영상표현 기술개발에 기여할 것이다.

### 2. 실험 방법

실험에 사용된 자극은 Power Macintosh 7600에서 구성되

었고, 실험은 Macintosh LC에 의해 통제되었으며, 8 bits로 명도가 조절되는 Apple 12" 고해상도 모니터가 자극제시에 사용되었다. 이 모니터의 명도는 실험에 사용된 소프트웨어에 의해 선형화(linearized)되었다 [7].

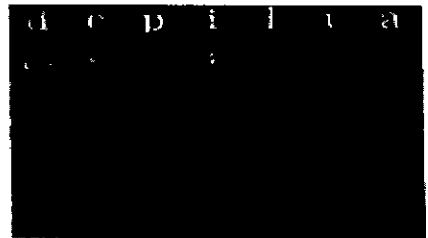


그림 1. Solomon and Pelh (1994)



그림 2. Nasanen and O'Leary (1998)

실험에서 사용된 자극은 256 gray 수준을 가진 64 x 64크기의 얼굴영상과, 같은 크기의 영상영역 중 임의로 선택된

공간에 2 x 2의 검은 점 잡영(noise)을 50% 중첩시킨 후 이를 1.5 octave의 공간 주파수 대역을 가진 Gaussian 필터로 필터링한 것이다. 사용된 Gaussian 필터들은 그림 3의 이차원 좌표에 제시하였다. 이때, 영상을 처리한 Gaussian 필터의 최대반응 공간주파수(peak spatial frequency)는 실험마다 변화시키었고 (4, 8, 12, 16, 20, 24, 32 c/pattern). 한 실험 내에서 얼굴패턴 인식의 정도를 알아보기 위해 변화시킨 것은 얼굴영상의 휘도(contrast)였다.

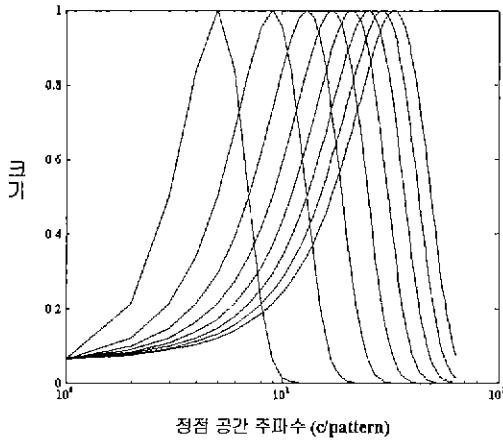


그림 3. 영상에 사용된 Gaussian 필터

자극의 두 예를 그림 4에 제시하였는데, 얼굴영상과 noise가 중첩된 패턴을 각기 8과 16 c/pattern의 최대반응 공간 주파수를 가진 Gaussian 필터로 필터링한 것이다. 왼쪽 왼쪽의 영상이 사용된 얼굴영상이고 그 오른쪽이 잡영, 그리고 가장 오른쪽에 제시된 것이 얼굴영상과 잡영이 중첩된 영상이다. 아래줄에 예시된 것이 실제 실험에 사용된 자극들인데, 편의상 왼쪽에 Gaussian 필터로 필터링된 잡영, 오른쪽에 중첩된 얼굴과 잡영이 필터링된 영상을 도식하였다. 이 예는 40%와 80% 휘도를 가진 얼굴영상을 보여주고 있다.

Gaussian 필터로 필터링된 얼굴과 noise 영상에서 얼굴의 인식정도는 강제선택과제(forced-choice task)에 의해 측정되었다. 즉, 한 시행(interval)에는 오직 필터링된 잡영영상만이 제시되었고, 다른 시행에는 다섯가지의 다른 휘도들 중 한 휘도를 가진 얼굴영상이 잡영에 중첩되어 필터링된 영상이 제시되었는데, 이때 얼굴의 인식이 75%정도의 정확성을 가지고 이루어질 때의 얼굴영상 휘도를 측정하였다. 얼굴영상이 제시되는 시행은 무선적으로 변화되었고, 한 휘도는 20번씩 무선적으로 제시되어 관찰자가 수행해야 할 실험 수는 100번이었다. 이와같은 시행은 앞서 제시한 7개의 다른 최대 반응 Gaussian 필터에 대하여 동일하게 이루어졌다. 이 실험에 따른 얼굴패턴 인식의 민감도는 각 최대 반응 Gaussian 필터링조건에서 75%의 인식 정확도를 보이는 휘도값의 역수로 계산되었다.

### 3. 실험 결과

실험의 결과는 그림 5에 제시된 바와 같다. 시야의 중심부에 자극이 제시되었을 때, 관찰자들이 얼굴인식에 최대의 민감도를 보인 것은 16 c/pattern의 최대반응 공간주파수로 필터링한 자극들에서였다. 그러나 이 얼굴인식에 효율적인 최적 공간주파수는 자극들이 시야의 주변부에

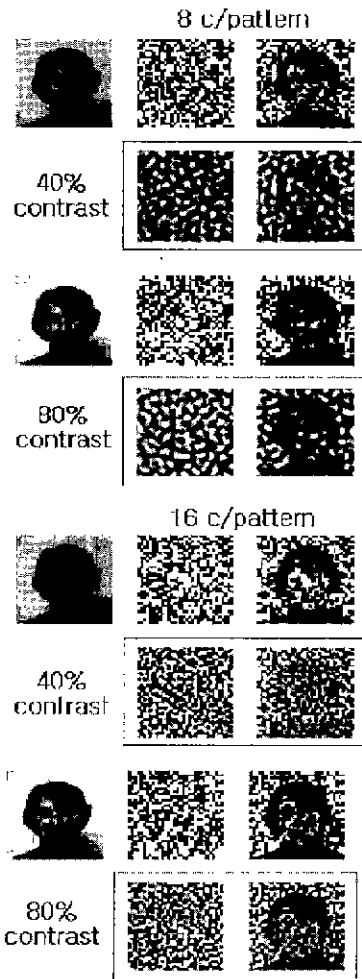


그림 4. 실험에 사용된 얼굴패턴의 예

제시될수록 변화하였는데, 그것은 각각 4도 주변부에서 20 c/pattern, 8도 주변부에서 24 c/pattern에서였다.

이 실험에 따른 얼굴인식 최적 공간주파수 데이터는 Wilson [8]이 공간 주파수에 따른 휘도 민감도 변화의 함수로 제시한 다음의 식으로 근사화하였다.

$$F(RF) = A\pi[\exp(-(\pi\sigma_1\omega_x)^2) - B\exp(-(\pi\sigma_2\omega_x)^2)] \quad (1)$$

위식에 포함되어 있는 매개변수들(A, B,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ )을 실험에서 관찰된 데이터에 근거하여 식 1로 근사화한 결과가 표 1에 정리되어 있다.

표 1. 식 1의 매개변수 근사치

	A	$\sigma_1$	B	$\sigma_2$
I	6.93	0.02	1.00	0.02
II	4.561	0.015	1.0	0.017
III	1.7877	0.015	1.36	0.018

그림 5에 실선으로 표시한 것이 이 함수로 데이터를 근사화한 결과이다. 이 함수의 역 Fourier 변형으로 얼굴패턴

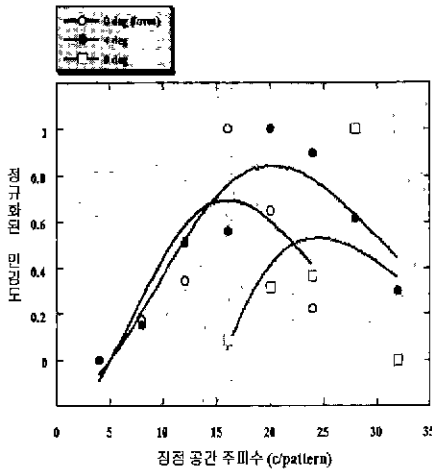


그림 5. 이심률에 따른 얼굴인식 최적 공간 주파수

처리에 사용되는 시각 수용장의 이심률에 따른 변화를 계산할 수 있는데, 이 시각 수용장의 수학적 기술은 다음의 식으로 표시될 수 있는데, 이는 식 1을 2차원으로 확장하여 역 Fourier 변형한 것이다.

$$RF = A[\exp(-x^2/\sigma_x^2) - B\exp(-x^2/\sigma_x^2)]\exp(-y^2/\sigma_y^2) \quad (2)$$

이 시각 수용장을 이차원으로 표시하면 그림 6의 왼쪽에 예시한 형태로 나타나는데, 그림에서 흰 부분은 수용장의 흥분(excitatory), 검은 부분은 억제(inhibitory)영역을 표시한다. 실험에서 얻어진 이심률에 따른 최적 공간 주파수의 변화에 근거하여 이 시각 수용장의 크기 변화를 계산한 결과가 그림 6의 오른쪽에 표시되어 있다.

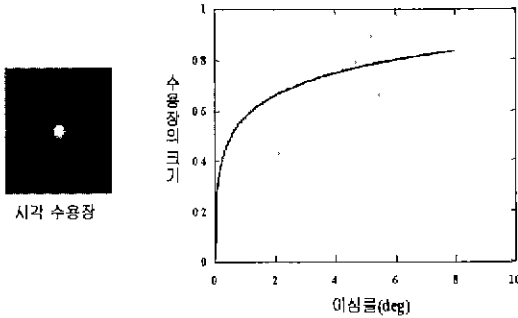


그림 6. 이심률에 따른 시각 수용장의 크기 변화

얼굴인식에 직접 관여하는 시각단위(세포)의 시각 수용장의 형태가 본 연구에서 가정한 중심-주변 동심원 형태일 필요는 없다. 본 연구의 관심은 이심률에 따른 얼굴인식에 필요한 최적 공간 주파수의 변화를 정량화 하는데 있었다. 그러나, 얼굴인식에 관여하는 세포들의 시각 수용장 형태의 특성은 최근에 활발히 연구되고 있는 고차 시각피질에 있는 시각세포들의 non-Cartesian 자극패턴들에의 반응특성에 대한 지식의 폭이 넓어지면 보다 명확히 규명될 것으로 보인다 [9].

#### 4. 논의

이 연구에서 다른 이심률에 따른 시각 수용장의 크기 변화를 나타내는 매개변수의 구축은 시각체계의 다해상적 정보처리에 관한 이론적 측면에서의 중요성 뿐만 아니라 생물시각체계의 특성을 인공시각 기술개발에 활용시킬 수 있다는 실용적 측면에서의 중요성을 함유하고 있다. 최근 세계 각국에서 관심이 고조되고 있는 인공시각 기술개발의 추세를 보면, 관심영역에의 선택적 정보처리(selective attention과 foveation)나 시각 피질에 위치한 시각 세포들의 반응특성 활용(방향성, 공간 주파수, 색채 선택성)등 그 내용이 매우 다양하게 나타나고 있는데, 본 연구의 결과와 같이 정신물리학 실험을 통한 시각 정보처리의 정량화는 생물 시각체계 특성의 활용에 촉진제가 될 것이다. 특히 지난 수십년 간의 시각연구가 밝혀 놓은 마와같이 시각 정보처리의 특성을 논의하는데 있어 가장 중요한 공간 주파수 선택성의 연구는 앞으로 한글정보처리, 움직임 처리등의 분야에도 크게 활용되리라고 믿는다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원 창의적연구진흥사업의 연구비 지원을 받았다.

#### 참고 문헌

- [1] C. A. Curcio et al., "Distribution of Cones in Human and Monkey Retina: Individual Variability and Radial Asymmetry," *Science*, Vol. 236, pp. 579-582, 1987.
- [2] N. J. Coletta, "Psychophysical Estimate of Extrafoveal Cone Spacing," *Journal of Optical Society of America A*, Vol. 4, No. 8, pp. 1503-1513, 1987.
- [3] C. A. Curcio et al., "Human Photoreceptor Topography," *The Journal of Comparative Neurology*, Vol. 292, pp. 497-523, 1990.
- [4] A. B. Watson, "Detection and Recognition of Simple Spatial Forms," *Physical and Biological Processing of Images*, pp. 100-114, Sep 1986.
- [5] J. A. Solomon and D. G. Pelli, "The visual filter mediating letter identification," *Nature*, Vol. 369, pp. 395-397, 1994.
- [6] R. Nasanen and C. O'Leary, "Recognition of band-pass filtered hand-written numerals in foveal and peripheral vision," *Vision Research*, Vol. 38, pp. 3691-3702, 1998.
- [7] J. Kim and H. R. Wilson, "Dependence of plaid motion coherence on component grating directions," *Vision Research*, Vol. 33, pp. 2479-2489, 1993.
- [8] H. R. Wilson, "Psychophysical Models of Spatial Vision and Hyperacuity," In D. Regan(Ed.), *Spatial Vision*, pp. 64-86, MacMillan Press, London, 1992.
- [9] J. L. Gallant et al., "Selectivity for polar, hyperbolic, and Cartesian gratings in Macaque visual cortex," *Science*, Vol. 259, pp. 100-103, 1993.