

망막의 신경절 세포 특성에 기반한 다해상도 영상 표현 방법

강 성훈, 이 성환

고려대학교 컴퓨터학과/인공시각연구센터
E-mail: {shkang, swlee}@image.korea.ac.kr

Space-variant Image Representation based on Properties of Ganglion Cells in Retina

Seonghoon Kang and Seong-Whan Lee

Dept. of Computer Science and Engineering/Center for Artificial Vision Research,
Korea University

요 약

본 논문에서는 보다 효율적인 영상 처리를 위해 생물 시각 시스템의 특성을 반영하는 영상 표현 방법을 제안한다. 기존의 방법들이 단순화된 특성들만을 이용한 것인데 비해 본 논문에서 제안하는 방법은 고등 생물의 시각이 독립된 처리 경로를 가진 다는 점에 기반을 두고 있으며, 각 처리 경로의 시작이 되는 두가지의 신경절 세포가 가지는 수용장의 분포 및 크기의 특성을 독립적으로 고려하여 각각 인식 및 움직임 정보 처리에 효율적인 영상 표현을 얻어낸다. 제안된 방법에 대한 실험 및 분석을 통하여 본 방법이 영상의 데이터를 효율적으로 축약시켜줄 수 있음을 알 수 있다.

1. 서론

컴퓨터 시각에서 입력되는 영상은 다음과 같은 사항들을 만족해야한다. 첫째, 처리하고자 하는 관심 영역이 자세하게 표현될 수 있어야 한다. 둘째, 보다 넓은 범위를 동시에 보여줄 수 있어야 한다. 셋째, 이러한 사항들을 동시에 만족하면서 입력된 영상이 빠르게 처리 되어야 한다[2].

그러나 균일한 분포의 해상도를 가지는 일반적인 영상은 위와 같은 사항들을 동시에 만족시켜주지 못한다. 왜냐하면 자세하게 표현되면서 동시에 넓은 범위를 포함하게 되면 그 영상의 해상도는 급격히 증가하게 되며, 이러한 영상을 실시간으로 빠르게 처리하기는 사실상 불가능하기 때문이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 광각 카메라를 추가로 이용하여 넓은 범위의 영상을 동시에 입력 받아 처리하는 방법이나, 넓은 범위의 영상을 입력받다가 필요한 경우에만 관심 영역을 확대(zoom)하여 처리하는 등의 방법들이 이용되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 위 문제에 대한 근본적인 해결방법이 되지 못한다.

이러한 문제점을 근본적으로 해결하기 위해 위 세가지 사항들을 동시에 만족하는 생물 시각 시스템의 기능을 모사하고자 하는 많은 연구가 이루어져 왔다. 이중 가장 대표적인 것이 생물 시각 시스템의 다해상도 특성을 이용한 영상 표현 방법이다. 인간을 포함한 고등 동물은 입력되는 영상을 그대로 뇌로 전달하지 않고 많은 데이터 축약을 통해 소량의 데이터만을 뇌로 전달하는데(약 128:1), 이는 망막의 구조적인 특성에 기인한다. 대표적인 예로서 인간과 유사한 원숭이의 망막을 살펴보면 중앙에 위치하는 fovea

영역에 시세포(photoreceptor)가 밀집되어 있으며, 바깥쪽으로 갈수록 그 밀도가 낮아지는 구조로 되어있다. 이러한 생물학적 근거를 바탕으로하여 다해상도 영상 표현의 시초라 할 수 있는 $\log(z)$ 모델[1]이 만들어졌으며 또한 이 모델의 많은 변형 모델들이 연구되어 왔다. 그러나 이러한 모델들은 생물의 시각 시스템이 가지는 특성의 단편적인 부분만을 모형화한 것으로 실제로는 많은 특성들이 간과되었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 모형들에서 고려하지 못한 특성들을 포함하는 새로운 다해상도 표현 모형을 제안하고자 한다.

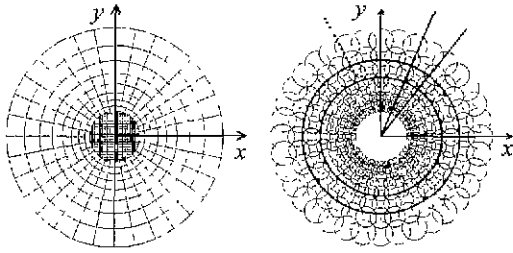
2. 관련연구

다해상도 영상 표현 방법은 대부분이 E. Schwartz의 $\log(z)$ 모델에 기반하고 있는데, 크게 conformal 매핑 방법과 overlapped 매핑 방법으로 나누어 볼 수 있다.

먼저 conformal 매핑 방법으로는 다해상도 영상 표현 방법의 시초라 볼 수 있는 Schwartz의 $\log(z)$ 모델[1]을 들 수 있다. 이는 $w = \log(z)$ 라는 복소 로그 매핑을 사용하는 방법으로써 회전, 크기 변환에 무관한 특성을 지니고 있다.

다음은 overlapped 매핑 방법을 들 수 있는데 많은 방법들이 여기에 속한다. 대표적인 것으로는 M. Bolduc의 방법[2]이 있다. 이는 기존의 Schwartz의 방법과 유사하나, 그림 1 (b)와 같이 수용장(receptive fields)이 원형이며 인접하는 수용장끼리 서로 겹쳐져 있다는 점이 보다 더 생물학적 특성을 따른다고 볼 수 있다.

또 다른 방법으로는 Wilson[3]이나 Yamamoto의 방법[4] 등이 있으나 기본적으로 Bolduc의 방법[2]과 유사하다.



(a) Schwartz의 방법 (b) Bolduc의 방법
 그림 1 log(z)에 기반한 다해상도 영상 표현 방법

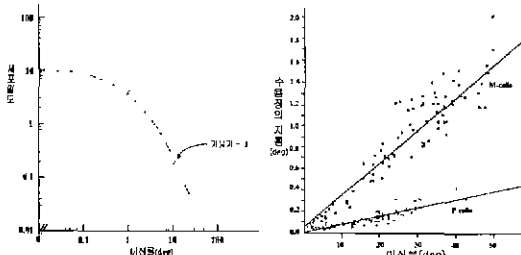
위에서 살펴본 방법들은 모두가 fovea 영역에서는 시세포가 밀집되어있으며 주변부로 갈수록 분포 밀도가 낮아진다는 단순화된 근거만을 사용하고 있으며, 독립된 시각 처리 경로에 대한 고려는 전혀 되지 않은 방법들이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 방법들에서 고려되지 못한 생물 시각 시스템의 특성들을 포함 시킴으로써 보다 효율적이며 생물학적으로 타당한 영상 표현 방법을 제안하고자 한다.

3. 신경절 세포 수용장의 특성

3장에서 본 논문에서 고려된 생물 시각 시스템의 특성들을 살펴본다. 신경절 세포는 fovea 영역에는 밀집되어있으며, 주변부로 갈수록 그 밀도가 낮아지는 경향을 보이는데, 그림 2(a)에서 보이는 바와 같이 그 감소 경향이 이심률(eccentricity)의 제곱에 역비례한다는 것이 밝혀져 있다 [5]. 또한 정보처리의 특성상 두 가지로 나누어지는데, 인식을 처리하는 경로의 시작이 되는 P(Parvocellular) 세포와 움직임을 처리하는 경로의 시작이 되는 M(Magnocellular) 세포가 그것이다 이 세포들은 서로 각기 다른 특성을 보이는데, 가장 두드러지는 특성은 바로 각 세포가 가지는 수용장의 크기이다. 그림 2(b)와 같이 이심률에 따른 수용장의 크기 관계가 밝혀져 있다[6]. 특히 Watson은 이 관계를 식 (1)과 같은 스케일링 함수(scaling function)를 통하여 설명하고 있다[7].

$$s = 1 + ke \tag{1}$$

여기서 e 는 이심률이며 s 는 스케일링 값이다. fovea 영역의 수용장 지름을 w 라고 가정하면 이심률이 e 인 위치의 수용장 크기는 sw 가 된다. 본 논문에서는 이 스케일링 함수를 이용하여 다해상도 모형을 설계하였으며 상수인 k 는 실제 생리학 실험 데이터를 바탕으로 근사된 값을 사용하였다.



(a) 신경절 세포의 분포 (b) 수용장의 크기
 그림 2. 신경절 세포의 분포 및 수용장의 크기

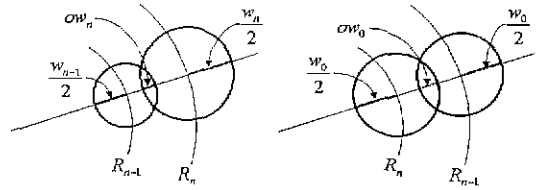
4. 다해상도 영상 표현 모형

신경절 세포의 수용장 크기는 앞의 식 (1)의 스케일링 함수에 의해 결정된다 따라서 본 논문에서는 M 세포 및 P 세포의 특성 데이터로부터 이 스케일링 함수를 결정하였으며 이 스케일링 함수를 이용하여 신경절 세포의 수용장 크기 특성을 모형화 하였다 여기서 fovea 영역에서의 수용장 크기를 각각 0.07° , 0.01° 라고 할 때 이심률에 따른 각 신경절 세포의 수용장 크기는 식 (2), (3)과 같다.

$$w_M = 0.07 + 0.0308e \tag{2}$$

$$w_P = 0.01 + 0.0078e \tag{3}$$

이러한 크기를 갖는 수용장의 배치 관계는 M 세포 및 P 세포가 모두 동일한 관계를 가진다. 따라서 M 세포 및 P 세포의 분포 모형은 동일한 모형을 사용하게되며 사용되는 매개변수만이 각 세포의 특성에 따라 달라지게 된다. 이러한 수용장의 분포는 fovea 영역에서는 균일하며, 주변 영역으로 갈수록 넓어지므로, 수용장의 배치 관계를 그림 3과 같이 fovea 영역과 주변 영역으로 분리해서 살펴본다.



(a) 주변 영역 (b) fovea 영역
 그림 3. 수용장의 배치 관계

4.1 주변 영역에서의 수용장 배치

그림 3(a)에서 보이는 바와 같이 이심률이 커질수록 수용장의 크기가 선형적으로 증가한다. 서로 겹쳐지는 부분을 고려해 볼 때, n 번째 링의 이심률에 대한 식 (4)를 얻을 수 있다. 여기서 R_n 은 n 번째 링의 이심률, w_0 는 fovea 영역의 수용장 크기, k 는 스케일링 함수에서 사용되는 상수이며, o 는 수용장이 겹쳐지는 정도로서 1이면 완전히 겹치고, 0일 때는 겹쳐지지 않는 경우이다.

$$R_n = \frac{2(1-o)w_0 + (2+w_0k)R_{n-1}}{2 - (1-2o)w_0k} \tag{4}$$

그리고 각 링에 위치하는 수용장의 수는 주변 영역에서는 모두 동일하므로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 round 함수는 반올림을 의미하며, R_0 는 fovea 영역의 크기를 나타낸다.

$$K = \text{round}\left(\frac{2\pi R_0}{(1-o)(w_0 + w_0kR_0)}\right) \tag{5}$$

4.2 fovea 영역에서의 수용장 배치

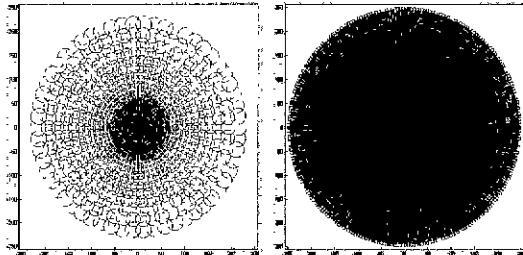
그림 3(b)와 같이 fovea 영역에서는 이심률에 상관없이 수용장의 크기는 w_0 로 일정하다 따라서 각 링에서의 수용장 수는 이심률에 따라 달라지게 되며 그 관계는 식 (7)에 나타내었다. 또한 여기서도 수용장의 크기와 겹쳐지는 정도를 고려하여 얻어진 각 링의 이심률을 식 (6)과 같이 일반화시킬 수 있다.

$$R_n = R_{n-1} - \frac{R_0}{\text{round}(R_0/(1-o)/w_0)} \tag{6}$$

$$K_n = \text{round}\left(\frac{2\pi R_n}{(1-o)w_0}\right) \tag{7}$$

4.3 다해상도 영상 변환 템플릿

앞에서 살펴본 수용장의 분포 및 크기의 모형을 이용하여 일반 영상을 다해상도 영상으로 변환하는 변환 템플릿을 구성하였다. 여기서는 기존의 다해상도 표현 방법과는 달리 M 세포 및 P 세포의 특성을 각각 따로 반영하여 M-맵, P-맵 두 가지의 다해상도 변환 템플릿을 구성한다. 그림 4는 변환 템플릿의 예이다.



(a) M-맵 (b) P-맵
그림 4. 다해상도 영상 변환 템플릿

5. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 다해상도 영상 표현 방법을 구현해 보았다. 개발 언어는 Visual C++를 이용하였으며, 입력 영상은 512x512 크기의 그레이 스케일 BMP 파일을 이용하였다.

실제 영상을 다해상도로 변환해본 결과를 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 영상의 다해상도 변환 결과

구분	M-맵	P-맵
원 영상의 크기	512x512 화소	
변환영역의 화소수	약 205890 화소	
변환된 영상의 크기	54x21 화소	222x90 화소
변환된 영상의 화소수	1134 화소	19980 화소
데이터 축약률	1/181.5	1/10.3

여기에서 데이터의 축약률을 계산하기 위해 원 영상에서 변환 템플릿이 적용된 원형 영역만을 원 영상 데이터의 크기로 사용하였으며, 데이터 축약률은 (변환된 영상의 화소수)/(원 영상의 화소수)로 계산되었다.

위의 결과를 통해, 본 다해상도 영상 표현 모형을 사용하면 데이터의 축약률이 아주 높은 것으로 나타났다. 다음 그림 5는 실제 변환된 다해상도 영상의 예이다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 망막의 신경절 세포 수용장의 분포 및 크기 특성에 기반한 다해상도 영상 표현 방법을 제안하고 구현해 보았다. 인식 및 움직임 처리에 독립적으로 관여하는 신경절 세포의 수용장 특성을 반영함으로써 처리 목적에 따른 효율적인 영상 표현 방법을 제시하였다. 또한 구현 결과를 통해서 본 방법을 통한 영상 표현에서 효과적인 데이터 축약이 이루어졌음을 알 수 있다.

그러나 본 논문에서 제안된 방법도 신경절 세포 수용장의 크기 및 분포 특성만을 고려한 것으로 실제 수용장 모델이나 M 세포가 대비에 민감하고 P 세포가 색상 민감한 특성들은 고려가 되지 않은 상태이다. 따라서 보다 생물학적으로 타당한 영상 표현을 위해 위에서 언급한

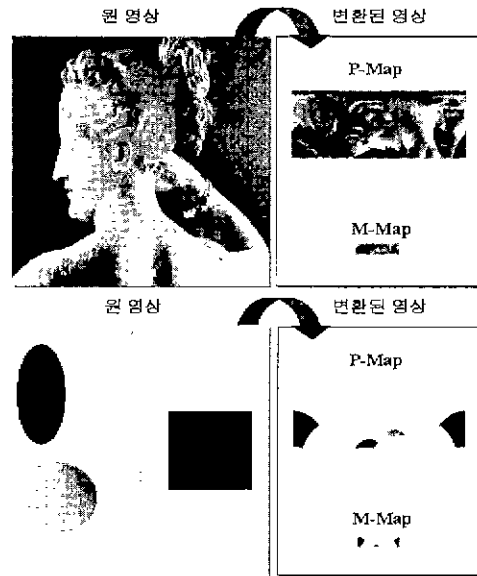


그림 5. 다해상도로 변환된 영상의 예

특성들을 모두 고려하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원 창의적연구진흥사업의 연구비 지원을 받았음.

참고 문헌

- [1] E. L. Schwartz, "Spatial Mapping in the Primate Sensory Projection: Analytic Structure and Relevance to Perception," *Biological Cybernetics*, Vol. 25, pp. 902-194, 1977.
- [2] M. Bolduc and M. D. Levine, "A Real-time Foveated Sensor with Overlapping Receptive Fields," *Real-Time Imaging*, Vol. 3, No. 3, pp. 195-212, 1997.
- [3] S. W. Wilson, "On the Retino-cortical Mapping," *Intl Journals on Man-Machine Studies*, Vol. 18, pp. 361-389, 1983.
- [4] H. Yamamoto and Y. Yeshurun, "An Active Foveated Vision System: Attentional Mechanisms and Scan Path Convergence Measures," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 63, No. 1, pp. 50-65, Jan. 1997.
- [5] R. E. Kronauer and Y. Y. Zeevi, "Reorganization and Diversification of Signals in Vision," *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cyb.*, Vol. 15, pp. 91-101, 1985.
- [6] V. H. Perry et al., "Retinal Ganglion Cells that Project to the Dorsal LGN in Macaque Monkeys," *Neuroscience*, Vol. 12, pp. 1101-1123, 1984.
- [7] A. B. Watson, "Detection and Recognition of Simple Spatial Forms," *Physical and Biological Processing of Images*, pp. 100-114, Sep. 1982.