

영상처리를 위한 계산론적 망막모델

Computational Retinal Model for Image Processing

¹⁾제성관, ²⁾조재현, ³⁾김광백, ⁴⁾차의영

^{1,4)}부산대학교 전자계산학과

²⁾부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부

³⁾신라대학교 컴퓨터공학과

¹⁾Sung-Kwan Je, ²⁾Jae-Hyun Cho, ³⁾Kwang-Baek Kim, ⁴⁾Eui-Young Cha

^{1,4)}Dept. of Computer Science, Pusan National University

²⁾Dept. of Computer Information, Catholic University of Pusan

³⁾Dept. of Computer Engineering, Silla University

¹⁾jimmy374@pusan.ac.kr, ²⁾jhcho@cup.ac.kr, ³⁾gbkim@silla.ac.kr, ⁴⁾eycha@pusan.ac.kr

요 약

현재 인간시각의 모델에 관한 많은 연구가 진행중이다. 본 논문에서는 형태정보의 영역대비를 강조하는 무축삭세포의 기능을 반영한 계산론적 망막모델을 제안한다. 무축삭세포는 전달된 물체의 운동정보의 변화를 감지하는 기능을 가지며, 그 감지된 정보를 강조하는 기능이 있다. 본 논문에서는 양극세포에서 출력된 형태정보의 영역대비를 강조한 계산론적 망막모델을 구현하였다. 실험에서는 양극세포의 결과 영상과 무축삭세포의 기능을 처리한 결과영상을 비교하였다. 따라서 무축삭세포의 영역대비 기능을 구현함으로써 대뇌피질에서는 영상의 정보를 효율적으로 처리할 수 있다.

1. 서론

인간의 시각계통의 기능일부를 모방하여 기계에 제공하는 것을 목적으로 하는 연구가 기계시각(machine vision)이며, 기계시각에 관련한 알고리즘 및 응용기술은 점진적으로 발전하고 있다. 하지만, 실세계 환경에서 적용되고 있는 기계시각기술은 아직 제약된 환경에서 응용되고 있으며, 제한된 응용범위 때문에 정보처리과정 또한 인간의 시각 시스템과는 상이한 형태로 발전하고 있다. 실제 인간의 시각시스템에서 일어나는 정보처리과정은 현재의 컴퓨터하드웨어 기술의 성능으로 처리가 불가능하다[1-2]. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 인공시각시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인공시각 시스템의 목적은 시각장애자인에게 시각정보를 제공하고 더 나아가 이러한 모델들을 구현하여 움직이는 물체를 추적할 수 있는 로봇 시각시스템의 개발과 새로운 영상신호처리 알고리즘의 개발에 있다.

많은 형태의 시각시스템 모델들이 진행되었으나, 대부분은 망막의 특정한 부분의 기능만을 일반화하여 연구자의 편의나 직관에 의하여 개발되어 왔다. 이러한 시스템은 주어진 환경에서 특정 목적을 달성하는데에는 효율적이지만, 인간과 같이 일반적인 상황에서 시각장면을 분석하고 이해하는데에는 한계가 있다[1-2]. 따라서 기존의 망막모델들의 기능들을 파악하여 일관성 있고 통합된 모델의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 인공시각 시스템의 기능들을 살펴보고 입력된 영상의 처리과정을 구현한 일관성 있는 모델을 제안한다. 제안된 모델은 시각시스템의 초기입력인 시세포부터 최종 출력인 신경절 세포까지 영상의 처리과정을 살펴본다. 그리고 양극세포에서 출력된 경계선정보에 대하여 영역대비를 강조하는 일시적 무축삭세포의 기능을 기반한 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 시각시스템을 살펴보고, 3장에서는 인간시각을 기반한 제안된 모델을 구성하며, 4장에서는 영상의 처리과

정을 분석하고, 끝으로 결론을 맺는다.

2. 인간시각정보처리

인간의 시각정보 처리과정은 여러 단계로 구성되어 있으며, 그 일차적인 정보처리는 인간의 망막에서 이루어진다. 인간의 망막은 그림 1과 같이 빛에너지를 전기 화학적 에너지로 변환하는 과정뿐만 아니라, 그 정보를 시각경로(visual path)로 전달하는 역할을 하고 있다[3]. 망막(retina)에서 신경절세포(ganglion cell)로 정보 전송시 중요한 정보(Critical Information)의 손실은 최소화하면서 전체정보량을 최대를 축소시키는 압축을 한다[4]. 즉, 인식에 관련된 무엇(what)에 관련된 정보는 최소의 손실로, 어디(when)에 관련된 정보는 최대를 압축되어진다. 따라서 인간시각은 무엇에 관한 정보에 민감하고, 어디에 관한 정보에 둔감하다. 그리고 망막의 수평세포와 신경절세포 사이에는 양극세포(bipolar cell)가 존재하는데, 이 세포에 의해서 입력정보를 무엇에 관련된 정보와 어디에 관련된 정보로 나뉜다. 나누어진 정보들은 각각 P-type ganglion cell(P-cell)과 M-type ganglion cell(M-cell)로 전달된다. P-cell은 영상의 주요정보(무엇)를 what path way를 통해서 외측슬상핵(LGN)으로 전달되고, M-cell은 영상의 형태정보(edge information)를 외측슬상핵으로 전달되기 전에 무축삭세포(amacrine cell)로 전달된다. 무축삭세포는 영상의 형태정보를 영역대비를 이용하여 영상을 강조하는 기능이 있다. 강조된 영상의 형태정보는 외측슬상핵으로 전송되고 외측슬상핵에 입력된 정보는 후두엽에 있는 시각피질로 전송되어 인식과정을 거치게 된다[4-5].

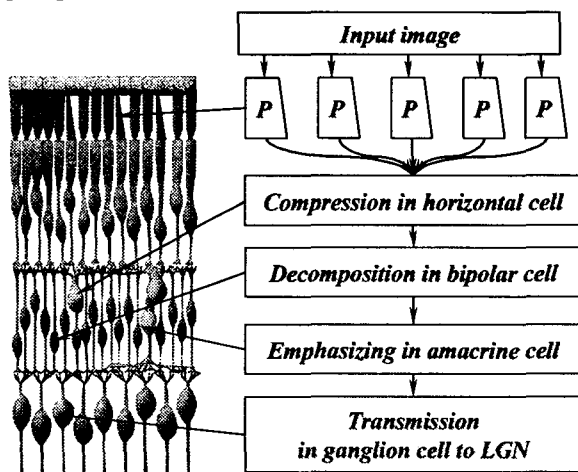


그림 1. 망막에서의 정보처리

시각시스템에 관한 많은 연구가 진행되고 있으

며, 그중 Shah의 모델이 실제의 망막의 생리학적 기능을 가장 잘 반영하고 있다. Shah는 기존의 다른 망막모델의 기전들을 통합한 계산론적 망막 모델(computer retina model)을 제안하였다[2]. 망막 각층에서의 단일 광자극에 의한 시물레이션 결과와 실제 망막의 시각신호를 조도의 강도에 따라 다양하게 비교해 놓고 있다. 광수용기에서 비격자형의 중심와 샘플링(foveated sampling)에 의한 망막의 정보축약은 LPM (log-polar mapping)을 이용하여 모델링하였다. 그러나 망막내의 무축삭세포에 대한 기능을 포함하지 않아 망막의 가장 중요한 특징 중의 하나인 움직임에 대한 반응특성을 나타낼 수 없었다[1]. 따라서 망막의 부분적인 특징만을 이용하지 않고 일관성 있는 통합된 모델이 필요하다.

3. 영역대비에 의한 시각정보처리

기존의 영상처리에서는 획득한 영상의 특징을 추출하여 물체를 인식하는 과정을 거치게 된다. 즉 인간 시각의 특징정보 추출과정을 모방하여 물체를 인식하고는 있으나 실제 그 응용 과정 중에 인간의 시각정보처리과정과는 상이한 형태로 발전되어지고 있다.

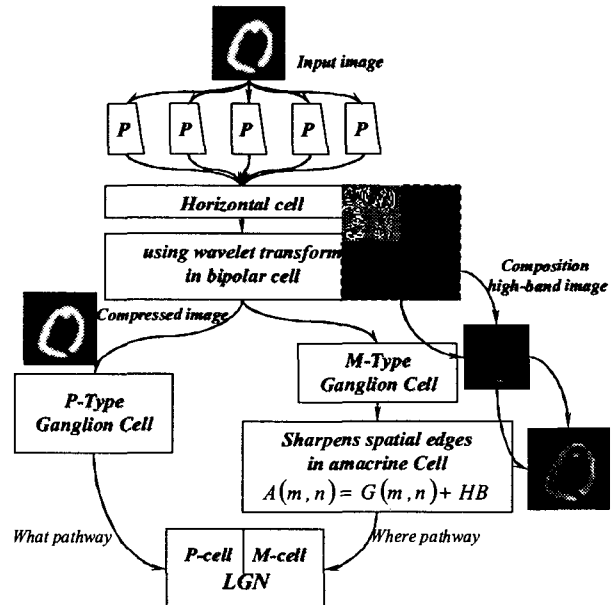


그림 2. 제안된 망막의 정보처리

인간의 시각시스템은 그림 1과 같이 광수용기(photoreceptor)에서 1차적인 정보처리인 압축이 일어난다. 정보압축은 주의집중에 의한 세포들 간의 반응으로 중심부인 중심와는 영상을 고화질로 표현하며, 주변영역은 압축된 영상을 저화질로 표현한다. 그리고 양극세포에서는 흥분과 억

제반응에 의한 2차적인 정보처리가 일어난다. 흥분과 억제반응에 의해서 물체의 형태정보가 생성된다. 따라서 양극세포에 의해서 물체의 영상정보와 형태정보로 나뉘지고 이 정보는 신경절세포로 전달된다. 양극세포에서 출력된 형태정보는 일시적 무축삭세포에 의해서 영역대비에 의한 영상을 강조하는 3번째 정보처리가 일어난다. 제안된 알고리즘은 그림 2과 같이 인간의 시각시스템에서 일어나는 3가지 정보처리를 통합하여 입력된 영상의 처리과정을 구현하였다.

$$\begin{aligned} g_0(n) &= (-1)^n h_1(n-1) \\ g_1(n) &= (-1)^{n-1} h_0(n-1) \end{aligned} \quad (1)$$

원영상에 대해 가로방향과 세로방향으로 저주파필터와 고주파필터를 적용하여 대역을 나누었으며 저대역 구간에 대해 다시 반복적으로 필터링을 2번 적용하였다. 대역분할은 3 level mallat tree를 이용하였으며, 고대역은 98%가 대역분할을 차지하므로, 부호화하기 위하여 각 대역에 따른 수평, 수직, 대각방향을 고려하여 지그재그 스캔(Zigzag Scan)하여 부호화하였다. 부호화된 영상을 다시 복호화과정과 역양자화과정을 거쳐서 압축률 20:1의 압축된 물체의 영상정보를 구하였다.

망막의 M-cell은 물체의, 형태정보를 where pathway를 통해 정보를 전달받고 무축삭세포에 의해서 물체의 형태정보는 보다 정확하게 파악하기 위해 영역대비를 강조하는 3차 정보처리가 일어난다. 이러한 무축삭세포의 특성은 신경절세포에서의 전달된 물체의 형태정보에 대해 시각 자극의 변화(change)를 감지하는 역할을 한다. 즉, 물체의 형태정보에 대해 공간에지(경계선)의 정보를 날카롭게 한다. 본 논문에서는 양극세포에서 출력된 영상에 영역대비를 강조하는 일시적 무축삭세포의 기능을 제안한다. 일시적 무축삭세포의 기능을 구현하기 위하여 식. 2와 같이 Unsharp mark와 유사한 새로운 고주파지원 필터(high-boost)를 제안한다. Unsharp mask는 색상의 경계 부분은 색상 대비를 높이고 경계에 근접한 부분은 흐릿하게 처리하는 특징이 있다. 그러나 영상의 세세한 부분을 강조시키게 된다면 영상의 변화율이 너무 높아지기 때문에 잡음(noise)이 많이 생기게 되는 단점이 존재한다. 따라서 적절한 조율(trade-off)이 필요하며, 본 논문에서는 식. 2과 같이 일시적 무축삭세포의 기능을 고려한 새로운 알고리즘을 제안한다.

$$A(m, n) = G(m, n) + HB \quad (2)$$

$$\text{where, } HB = \begin{bmatrix} -a/9 & -a/9 & -a/9 \\ -a/9 & -W/9 & -a/9 \\ -a/9 & -a/9 & -a/9 \end{bmatrix},$$

$$W = 9a - 1$$

여기서, HB 는 고주파지원 필터이며, $A(m,n)$ 은 변환된 무축삭세포의 출력, $G(m,n)$ 은 신경절세포의 출력으로 무축삭세포의 입력이 된다. 식. 2에서 보는 바와 같이 고주파지원 필터된 영상을 다시 가산함으로써 경계부분의 색상대비를 강조하게 된다. M-cell로부터 영상을 입력받은 무축삭세포는 3차 정보처리가 일어난 후 외측슬상핵으로 영상을 전달한다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안하는 연구방법은 Pentium 2.4Ghz와 Windows XP, Matlab 6.0의 환경에서 구현되었다. 실험영상으로는 영상처리의 표준영상으로 많이 쓰이는 HIPR Image Library, SIPI Image Database를 이용하여 256×256, 512×512크기의 각종 영상에 대해 테스트하였다. HIPR Image Library는 영국의 edinburgh대학에 인공지능센터로 각종 인지과학 및 영상처리실험에 많이 쓰이는 700여 개의 영상이 분류되어 있다. 그리고 SIPI Image Database는 미국의 Southern California대학에 있는 신호 및 영상처리연구소에서 제공하는 것으로, 산업 및 연구 분야에 기본적인 자료를 제공하고 있다.



(a)

(b)

(c)

(d)

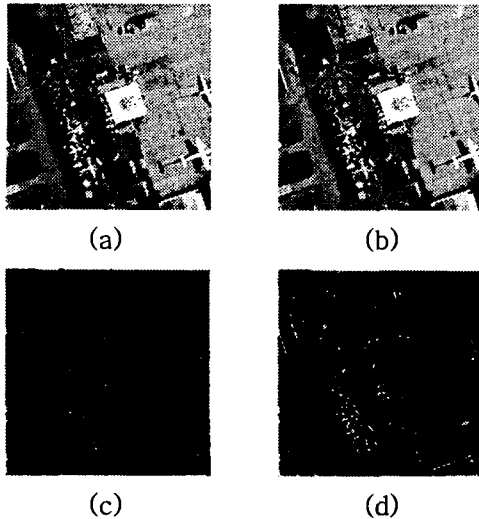


그림 3. 각 영상에 대한 망막의 정보처리
 (a) 입력영상, (b) 압축된 물체의 영상정보
 (c) 물체의 형태정보, (d) 무축삭세포의 출력

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 망막에서 일어나는 1,2차 정보처리과정인 압축과 영상분해를 구현하였다. 그림과 같이 입력된 영상정보(a)는 웨이블릿을 이용하여 망막의 1차 정보처리인 영상압축하였다. 웨이블릿 변환시 분해된 영상(c)는 영상의 형태정보(고주파정보)이며 망막의 2차 정보처리인 양극세포의 기능을 처리하였다. 양극세포의 반응에 의해 처리된 영상의 형태정보는 무축삭세포로 전송되어 3차 정보처리에 의해 (d)와 같이 영역대비가 강조된다. 실험결과, 그림. 3의 (c)영상보다 (d)영상이 경계선대비가 강조되었다. 이러한 영상의 운동정보는 외측슬상핵에 전송되기 전에 무축삭세포에 의해서 공간정보, 즉 경계선부분의 정보를 날카롭게 처리하여 외측슬상핵으로 전송된다. 이러한 영상의 형태정보는 물체에 대한 움직임을 파악하는데 중요한 역할을 한다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 초기 망막에서 일어나는 정보처리부터 망막의 마지막 부분인 신경절세포의 출력까지 영상의 변화를 살펴볼 수 있었다. 망막에 입력된 영상은 광수용기에서 1차적인 정보처리인 정보압축이 일어난다. 압축에 의해서 인간시각은 주의 집중된 영상은 고해상도로 표현하며, 무관심영역은 저해상도로 표현한다. 이러한 압축에 의한 정보처리는 보다 넓은 영역은 동시에 처리할 수 있는 특징이 있다. 그리고 인간시각은 물체의 움직임을 처리하기 위해 양극세포에서 흥분

과 억제반응에 의한 물체의 운동정보를 추출한다. 추출된 물체의 형태정보는 무축삭세포에 의해서 영역대비를 강조되는 3차 정보처리가 일어난다. 인간의 시각시스템에서 일어나는 3가지 정보처리를 구현하여 인공시각 시스템을 위한 새로운 망막모델을 구성하였다. 향후 로봇 시각시스템에 응용할 수 있도록 움직이는 물체를 추적하는 알고리즘개발과 인공 망막보철물(artificial retina prosthesis)에 응용되는 눈의 임상적 진단과 손상된 시력회복을 위한 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

- [1] 이수영, "뇌정보처리에 기반한 인공 시정각 시스템 연구," 한국과학기술원, 뇌과학연구개발과제 보고서, 98-J04-01-01-A-01, 2001.
- [2] S. Shah and M. D. Levine, "Information Processing in Primate Retina: Experiments and results," TR-CIM-93-19, Centre for Intelligent Machines, McGill University, Montreal, December, 1993.
- [3] D. Hubel, and T. N. Wiesel, Brain Mechanisms of Vision, Neuro-Vision, IEEE Press, 1994.
- [4] D. Marr and E. C. Hildreth, "A theory of edge detection", Proceeding of Society, London, B207, pp.151-180, 1981.
- [5] J. E. Dowling, The Retina: An Approachable Part of the Brain, Press of Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [6] J. M. Shapiro. "Embedded Image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Trans. on Signal Procsseing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [7] S. Mallat, "Multi-Frequency Channel Decomposition of Images Wavelets Models," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 11, no. 7, July 1992.
- [8] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital image processing, Second edition, Prentice Hall, 2001