

영역대비강조에 의한 계산론적 망막모델

제성관* · 김광백** · 조재현*** · 차의영*

Computational Retinal Model by emphasizing region contrast

Sung-kwan Je* · Kwang-back Kim** · Jae-hyun Cho*** · Eui-young Cha*

요 약

기존의 기계시각의 문제점을 극복하기 위해 최근에는 인간시각의 모델에 관한 연구가 진행 중이다. 인간시각에 관한 연구의 시발점으로 생리학과 생물학적 연구를 바탕으로 망막의 메커니즘에 대해서 분석한다. 망막에서는 정보축약, 경계선검출, 영역대비강조 등 3가지 정보처리가 일어나며, 각 정보처리에 의해 가공된 영상을 뇌로 전달되어 인식하게 된다. 본 논문에서는 웨이블릿을 이용하여 정보축약과 경계선을 검출하고, 영역대비강조에 의한 망막의 메커니즘을 제안한다. 실험에서는 각 단계에서의 세포의 결과를 모의실험하고, 제안된 알고리즘에 의해 영역이 강조된 결과영상을 비교하였다.

ABSTRACT

Recently many researches have been studied in the human vision model to solve the problem of the machine vision. Starting from research on the human visual system, first, we investigate the mechanisms of retina through physiological and biological evidence. In retina, input data was processed information processing that was data reduction, edge detection, and emphasizing region. The processed image was recognized by brain. In this paper, we proposed retinal algorithms that process data reduction and edge detection by the wavelet transform and emphasize region contrast. In experiments, the proposed model simulates processing the retina outputs in the levels and compares with outputs.

키워드

Retinal mechanism, data reduction, edge detection, contrast region

I. 서 론

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 환경에

서 응용되고 있으며, 제한된 응용범위 때문에 정보처리과정 또한 인간의 시각 시스템과는 상이한 형태로 발전하고 있다[1]. 그리고 망막의 특정한 부분의 기능만을 일반화하여 연구자의 편의나 직관에 의하여 개발되어 왔다. 이러한 시스템은 주어진 환경에서 특정목적을 달성하는데에는 효율적이지만, 인간과 같이 일반적인 상황에서 시각장면을 분석하고 이해하는데에

* 부산대학교 전자계산학과

접수일자 : 2005. 8. 25

** 신라대학교 컴퓨터공학과

*** 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부

는 한계가 있다[1-2].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 인공시각시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인간시각은 기존의 영상처리보다 우수한 성능을 가진 시스템이라는 것이 밝혀져, 기존의 영상처리에서는 어렵고 복잡하고 애매한 패턴들의 처리문제를 다루는데 이용하고 있다. 이러한 인공시각 시스템의 목적은 시각장애자인에게 시각정보를 제공하고 더 나아가 이러한 모델들을 구현하여 움직이는 물체를 추적할 수 있는 로봇 시각시스템의 개발과 새로운 영상신호처리 알고리즘의 개발에 있다.

본 논문에서는 인각시각 시스템의 메커니즘들을 살펴보고 망막의 영상처리과정을 구현한 모델을 제안한다. 망막에서의 3가지 정보처리를 구현하여 시각시스템의 초기입력인 시세포부터 최종 출력인 신경절세포 까지 영상의 처리과정을 모의실험한다. 2장에서는 시각시스템을 살펴보고, 3장에서는 인간시각을 기반한 제안된 모델을 구성하며, 4장에서는 영상의 처리과정을 모의실험하고, 끝으로 결론을 맺는다.

II. 인간시각정보처리

인간의 시각정보 처리과정은 여러 단계로 구성되어 져 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]. 사람이 사물을 응시(주의집중)하면 초점은 망막의 중심와에 투사하게 되며, 투사된 부위가 가장 자세하게 보인다. 이러한 특징은 중심와에서부터 멀어질 수록 해상도가 떨어지는(foveated sampling) 구조를 가진다. 이것은 망막의 정보축약(data reduction)을 나타내며, 보다 넓은 영역을 동시에 볼 수 있는 특징이 있다[3]. 즉, 영상을 전송할 때 중요한 정보(critical information)인 중심와영역의 손실은 최소화하면서 전체정보량을 최대로 축소시키는 압축을 한다. 인식에 관련된 무엇(what)에 관련된 정보는 최소의 손실로, 어디(where)에 관련된 정보는 최대로 압축되어진다. 따라서 인간시각은 무엇에 관한 정보에 민감하고, 어디에 관한 정보에 대해서는 다소 둔감한 특징이 있다[4].

망막의 수평세포와 신경절세포 사이에는 양극세포(bipolar cell)가 존재하는데, 양극세포는 영상의 움직임 정보를 파악하기 위해 입력영상에 대하여 경계선검출의 과정을 거치게 된다. 추출된 경계선정보는 물체의 형태정보이며, M형태 신경절세포(M-cell)로 전달된다. 그리고 물체의 영상정보는 P형태 신경절세포(P-cell)로 전달된다. P-cell에서는 물체의 영상정보를 다시 what pathway를 통해서 외측슬상핵(LGN)으로 전달하고, M-cell에서는 물체의 형태정보를 외측슬상핵으로 전달되기 전에 무축삭세포(amacrine cell)로 전달한다. 전달된 영상의 형태정보는 무축삭세포에서 영역대비에 의하여 영상이 강조된다. 강조된 영상의 형태정보는 외측슬상핵으로 전송되고 외측슬상핵에 입력된 정보는 후두엽에 있는 시각피질로 전송되어 인식과정을 거치게 된다[3-4].

인간시각시스템에 대한 연구 중 Shah의 모델이 실제의 망막의 생리학적 기능을 가장 잘 반영하고 있다.

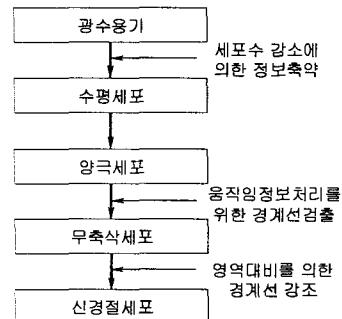


그림 1. 망막에서의 정보처리
Fig. 1 Information processing in retina

Shah는 기존의 다른 망막모델의 기전들을 통합한 계산론적 망막모델(computer retina model)을 제안하였다[2]. 망막 각층에서의 단일 광자극에 의한 시뮬레이션 결과와 실제 망막의 시각신호를 조도의 강도에 따라 다양하게 비교해 놓고 있다. 광수용기에서 비격자 형의 중심와 샘플링(foveated sampling)에 의한 망막의 정보축약은 LPM (log-polar mapping)을 이용하여 모델링하였다. 그러나 이 모델에서는 망막내의 무축삭세포에 대한 메커니즘이 반영되지 않음으로써 망막메커니즘의 가장 중요한 특징 중의 하나인 움직이는 자극에 대한 반응을 나타낼 수 없는 한계점을 가지고 있다[1].

따라서 본 논문에서는 무축삭세포의 움직임정보를 포함한 망막의 3가지 정보처리를 기반한 계산론적 망막 모델을 제안한다.

III. 망막의 3가지 정보처리

기존의 영상처리에서는 획득한 영상의 특징을 추출하여 물체를 인식하는 과정을 거치게 된다. 그러나 인간 시각의 특징정보 추출과정을 모방하여 물체를 인식하고는 있으나 실제 처리과정은 인간의 시각정보처리 과정과는 상이한 형태로 발전되어지고 있다. 즉, 인간 시각의 획득에서 인식까지 처리되는 과정 중 일부분만을 연구자의 편의에 의해 개발되었다. 따라서 인간시각시스템을 구현하기 위해 일관성 있고 통합된 모델이 필요하다.

인간의 시각시스템은 그림 1과 같이 광수용기 (photoreceptor)에서 수평세포로 정보가 전달되면서 일차 정보처리인 정보축약이 일어난다. 이러한 정보축약은 주의집중에 의한 세포들 간의 반응으로 중심부인 중심와는 영상을 고화질로 표현하며, 주변영역은 압축된 영상을 저화질로 표현한다. 본 논문에서는 이러한 정보축약을 처리하기 위해 웨이블릿을 이용하였다. 웨이블릿 압축은 원영상에 대해 가로방향과 세로방향으로 저주파필터와 고주파필터를 적용하여 대역을 나누었으며 저대역 구간에 대해 다시 반복적으로 필터링을 2번 적용하였다[5-6].

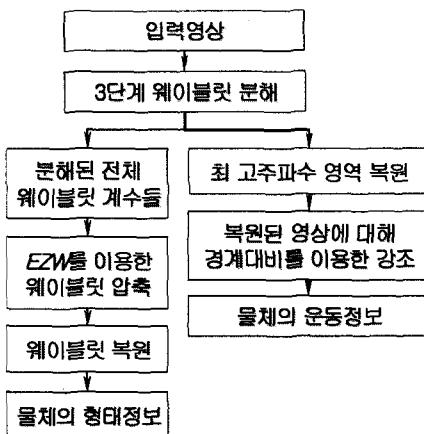


그림 2. 제안된 망막의 정보처리

Fig. 2 Proposed information processing in retina

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.

양극세포에서는 홍분과 억제반응에 의한 망막의 2차 정보처리가 일어난다. 물체의 움직임을 파악하기 위해 양극세포에서는 홍분과 억제반응이 일어나며, 이러한 물체의 형태정보는 물체의 경계선정보를 가지고 있다. 즉 양극세포는 물체의 움직임정보를 처리하기 위해 경계선정보를 검출한다. 본 논문에서는 물체의 경계선정보를 검출하기 위해 일차정보처리과정에서 웨이블릿 분해시 사용되었던 최저주파수 LH_1 영역을 제외하고 최 고주파영역만을 복원하였다. 고주파영역은 영상의 경계선정보를 포함하고 있으므로 식. 1, 2와 같이 분해된 정보를 다시 복원하면 영상의 경계선정보를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Edge_x[i,j] &= 0 + LH_1[i,j] \\ Edge_x[i,j+1] &= 0 + LH_1[i,j] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Edge_y[i,j] &= HL_1[i,j] + HH_1[i,j] \\ Edge_y[i,j+1] &= HL_1[i,j] - HH_1[i,j] \\ Edge[i,j] &= Edge_x[i,j] + Edge_y[i,j] \\ Edge[i,j+1] &= Edge_x[i,j] - Edge_y[i,j] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $Edge[i,j]$ 는 검출하고자 하는 경계선 정보이며, $LH_1[i,j]$, $HL_1[i,j]$, $HH_1[i,j]$ 는 각각 웨이블릿 분해시 1단계에서 검출되어진 수평, 수직, 대각선 정보이다.

식. 1, 2를 이용하여 영상을 복원하면, 저주파수영역이 없는 영상이므로 영상의 경계선정보를 구할 수 있다. 그러나 검출된 경계선은 다른 경계선검출 알고리즘인 Sobel이나 Prewit 마스크를 이용한 방법보다 경계선정보가 다소 적다. 따라서 본 논문에서는 인간시각의 정보처리 매커니즘을 이용하여 경계선정보를 강조하고자 한다.

검출된 물체의 경계선정보는 신경절세포로 전달된다. 망막의 3차 정보처리는 무축삭세포에서 일어나며,

J. Richter에 의하면 영상의 움직임정보를 처리하기 위해 시각자극의 변화를 감지하고 경계대비를 이용하여 영상을 강조한다[7]. 본 논문에서는 움직임을 처리하기 위해 초기영상의 반응인 일시적인 사점(t)을 처리하였다. 동영상의 경우에는 ($t+1$)시점과 (t)시점에서의 영상의 변화를 이용한다. 그러므로 일시적인 시점(t)일 때는 정지영상을 이용하여 무축삭세포의 메커니즘을 처리할 수 있다. 무축삭세포의 메커니즘을 구현하기 위하여 식. 3와 같이 Unsharp mark와 유사한 새로운 고주파지원 필터(hight-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. 3과 같이 영상의 경계대비를 이용하여 경계선정보를 강조하였다.

$$A(m, n) = G(m, n) + HB \quad (3)$$

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

$$W = 9a - 1$$

여기서, HB 는 고주파지원 필터이며, $A(m, n)$ 은 변환된 무축삭세포의 출력, $G(m, n)$ 은 신경절세포의 출력으로 무축삭세포의 입력이 된다. 식. 3에서 보는 바와 같이 고주파지원 필터 처리된 영상을 다시 가산함으로써 영상의 경계대비를 강조할 수 있다. 망막의 3차 정보처리를 처리함으로써 물체의 움직임을 더욱 효율적으로 파악할 수 있다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안하는 연구방법은 Pentium 2.4Ghz와 Windows XP, Visual C++의 환경에서 구현되었다. 실험영상으로는 영상처리의 표준영상으로 많이 쓰이는 HIPR Image Library, SIPI Image Database를 이용하여 256×256 , 512×512 크기의 각종 영상에 대해 테스트하였다. HIPR Image Library는 영국의 edinburgh대학에 인공지능센터로 각종 인지과학 및 영상처리실험에 많

이 쓰이는 700여 개의 영상이 분류되어 있다. 그리고 SIPI Image Database는 미국의 Southern California대학에 있는 신호 및 영상처리연구소에서 제공하는 것으로, 이 연구소는 1971년에 설립하여 산업 및 연구 분야에 기본적인 자료를 제공하고 있다. 일시적인 사점에 대한 일시적 무축삭세포의 메커니즘을 처리하기 위해 실험영상으로는 정지영상을 사용하였다.

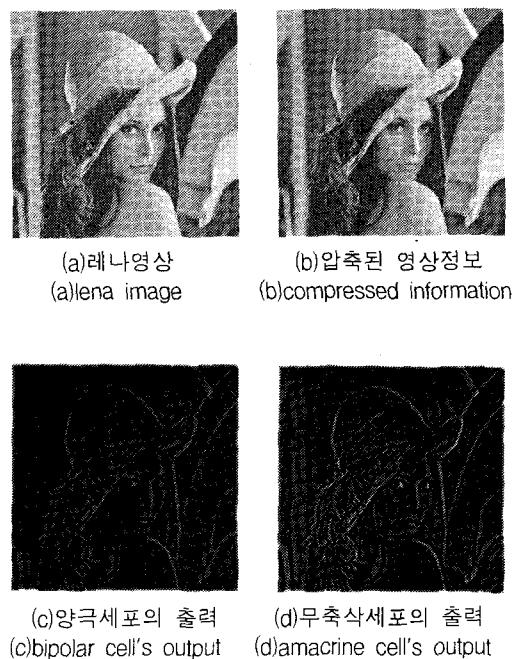
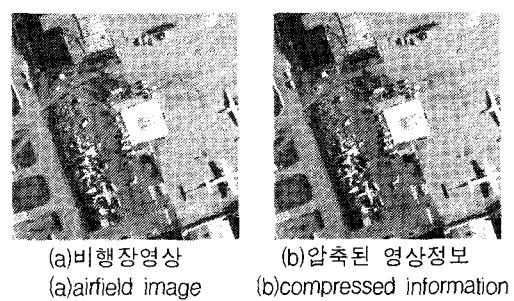
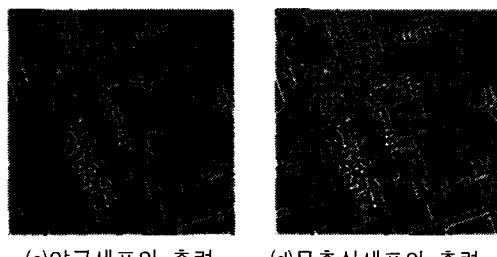


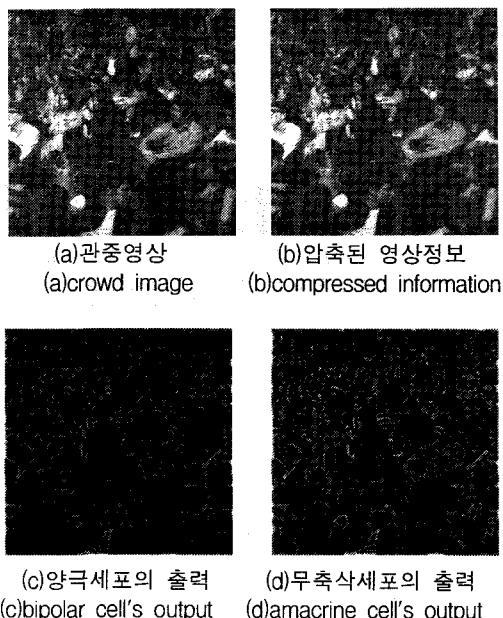
그림 3. 레나영상에 대한 각 세포의 출력
Fig. 3 Each cell's output about the lena image





(c) 양극세포의 출력
(c)bipolar cell's output
(d) 무축삭세포의 출력
(d)amacrine cell's output

그림 4. 비행장영상에 대한 각 세포의 출력
Fig. 4 Each cell's output about the airfield image



(a) 관중영상
(a)crowd image

(b) 압축된 영상정보
(b)compressed information

(c) 양극세포의 출력
(c)bipolar cell's output

(d) 무축삭세포의 출력
(d)amacrine cell's output

그림 5. 관중영상에 대한 각 세포의 출력
Fig. 5 Each cell's output about the crowd image

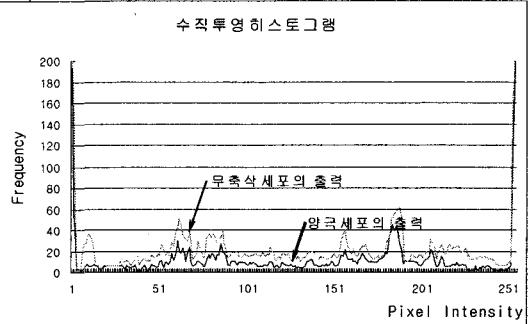
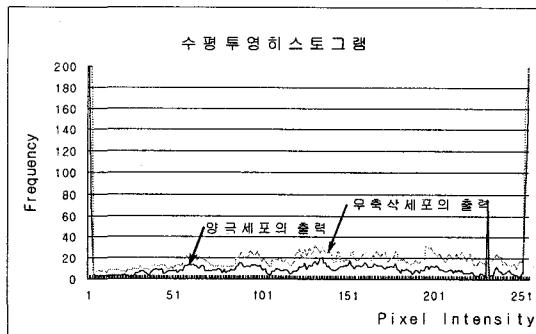


그림 6. 양극세포와 무축삭세포의 수직, 수평 히스토그램
Fig. 6 Vertical and horizontal histogram between in bipolar cell and amacrine cell

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 각 입력 영상 그림 3, 4, 5 (a)에 대하여 망막에서 일어나는 1 차 정보처리과정인 정보축약을 처리하였다. 망막의 2 차 정보처리는 정보축약된 영상(b)에 대하여 흥분과 억제반응에 의해 경계선이 검출된다. 웨이블릿을 이용하여 최 고주파영역을 복원한 영상(c)는 영상의 형태 정보(경계선정보)를 가진다. 검출된 경계선정보는 그림 3, 4, 5의 (c)와 같이 검출된 경계선이 다른 경계선 알고리즘보다 적게 나타남을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 무축삭세포의 메커니즘을 이용하여 경계선 정보를 강조하여 영상의 영역대비를 강조하였다.

검출된 영상의 경계선정보는 무축삭세포로 전송되며, 3차 정보처리에 의해 (d)와 같이 영역대비가 강조된다. 모의실험결과, 그림 6에서 살펴본 바와 같이 양극세포의 출력인 경계선정보가 무축삭세포의 메커니즘을 처리함으로써 경계선정보가 강조된 것을 수평, 수직 투영히스토그램을 이용하여 알 수 있다. 이러한 영상의 경계선정보는 무축삭세포에 의해서 공간정보, 즉 경계선부분의 정보를 날카롭게 처리하여 외측슬üş핵으로 전송된다. 이러한 영상의 경계선정보는 물체에 대한 움직임을 파악하는데 중요한 역할을 하게 된다.

V. 결 론

본 논문에서는 초기 망막에서 일어나는 정보처리부터 망막의 마지막 부분인 신경절세포의 출력까지 영상

의 변화를 모의실험하였다. 망막에 입력된 영상은 광수용기에서 1차 정보처리인 정보축약이 일어난다. 그리고 물체의 움직임을 처리하기 위해 양극세포에서 홍분과 억제반응에 의한 물체의 운동정보를 추출하는 2차 정보처리가 일어난다. 추출된 물체의 형태정보는 무축삭세포에 의해서 영역대비를 강조되는 3차 정보처리가 일어난다. 본 논문에서는 인간의 시각시스템에서 일어나는 3가지 정보처리를 구현하여 인공시각 시스템을 위한 새로운 망막모델을 구현하여 모의실험하였다. 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.

참고문헌

- [1] 이수영, "뇌정보처리에 기반한 인공 시청각 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. M. Shapiro. "Embedded Image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [6] S. Mallat, "Multi-Frequency Channel Decomposition of Images Wavelets Models," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 11, no. 7, July 1992.
- [7] J. Richter and S. Ullmom, "A model for the temporal organization of X and Y type receptive fields in the primate retina," Biological Cybernetics, Vol.43, pp.127-145, 1982.

저자소개



제성관(Sung-Kwan Je)

2000년 2월 대구대학교 전산계산학과 졸업
2002년 2월 부산대학교 전자계산학과 석사
2002년 9월 ~현재 부산대학교 전자계산학과 박사과정

※관심분야 : 신경망, 컴퓨터비전, 인공시각 시스템



김광백(Kwang-baek Kim)

1993년 2월 부산대학교 전자계산학과 석사
1999년 2월 부산대학교 전자계산학과 이학박사
1996년 ~ 1997년 동의공업대학 사무자동화과 전임강사

1997년 ~현재 신라대학교 컴퓨터공학과 부교수
2005년 ~현재 한국지능정보시스템학회 이사 및 운영 위원

2005년 ~현재 한국해양정보통신학회 인공지능 및 지능정보시스템 분과위원장, 논문지 편집위원

※관심분야 : Neural Networks, Image Processing, Fuzzy Logic, Biological Signal Processing and Biomedical System, Support Vector Machines

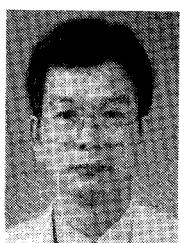


조재현(Jae-Hyun Cho)

1986년 2월 부산대학교 계산통계학과 학사
1989년 2월 숭실대학교 전자계산학과 석사
1998년 2월 부산대학교 전자계산학과 이학박사

2001년 3월 ~현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 조교수

※관심분야 : 신경회로망, 인공시각시스템, 영상처리



차의영(Eui-Young Cha)

1979년 2월: 경북대학교 전산공
학과 졸업
1982년 2월 : 서울대학교 계산통계학
과 석사
1998년 8월: 서울대학교 컴퓨터공학
과 공학박사

1985년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
※ 관심분야 : 영상처리, 신경회로망, 신호처리