

논문 2004-41SP-4-11

국부 적응 샤프닝 조절을 사용한 오차확산 해프토닝

(The Error Diffusion Halftoning Using Local Adaptive Sharpening Control)

곽 내 정*, 양 운 모**, 윤 태 승*, 안 재 형*

(Nae-Joung Kwak, Wun-Mo Yang, Tae-Sung Yun, and Jae-Hyeong Ahn)

요 약

계조영상을 이진영상으로 변환하는 해프토닝 방법 중 오차확산법은 다른 방법에 비해 우수한 화질을 보이지만 워밍 현상, 샤프닝 현상 등의 단점이 있다. 이런 단점을 보완하는 방법으로 Kite는 임계값 변조 방식에 샤프닝 조절 파라미터를 추가하는 방법을 제안하였다. 그러나 여전히 계조값의 변화가 큰 경계부근에서 뭉쳐짐 현상이 남아있다. 따라서 본 논문에서는 국부적으로 존재하는 경계부분의 에지성분의 크기에 따라 파라미터의 양을 조절하는 방법을 제안하였다. 제안방법을 컴퓨터 시뮬레이션으로 검사한 결과 해프톤 영상의 샤프닝이 감소하였으며, 특히 계조의 변화가 큰 경계부근에서 탁월한 화질 개선을 볼 수 있었다.

Abstract

Digital halftoning is to quantize a grayscale image to binary image. The error diffusion halftoning generates high quality bilevel image. But that also has some defects such as warms effect, sharpening and etc. To reduce these defects, Kite proposed the modified threshold modulation that has a parameter to control sharpening. Nevertheless some degradation left near edges with large luminance change. In this paper, we propose a method to control the parameter in proportional to local edge magnitude. The results of computer simulation show more reductions of the sharpening in the halftone image. Especially there are great improvement of quality near edges with large luminance change.

Keywords : halftone, error diffusion, delta-sigma modulation, binary image

I. 서 론

디지털 해프토닝(halftoning)은 계조(gray-scale) 영상을 화소(pixel)당 1비트로 양자화하는 것으로 흔히 이진 장치에 영상을 표현하거나 프린트하기 위하여 사용한다^[1]. 이런 해프토닝 중 하나인 오차확산(error diffusion) 해프토닝은 계조 영상의 이진화 과정에서 생기는 양자화 오차를 인접한 화소들에 분배하여 시각적으로 좋은 계조 영상을 재현한다. 이런 오차확산 해프토닝의 성능

을 향상시키기 위하여 Floyd와 Steinberg는 4-계수 오차필터를 제시하였고^[2], Jarvis는 12-계수 오차필터로 확장하였다^[3]. 오차확산 해프토닝에 관한 적절한 모델링과 해석이 최근에 시도되었다. Anastassiou는 오차확산 해프토닝이 델타-시그마 변조방법과 유사함을 보였고^[4], Eschbach와 Knox는 오차확산에 의해 발생하는 샤프닝(sharpening)을 파라미터(parameter)로 제어하는 방법을 제안하였다^[5]. 또한 Knox는 해프토닝에 의해 발생한 양자화 오차는 입력 계조 영상과 상관성이 존재함을 보였다^[6]. Kite 등^[7]은 오차확산 해프토닝 양자화를 잡음이 더해지는 선형이득 시스템으로 모델링하였다. 이 모델은 물체 경계부분의 샤프닝 및 잡음 형상을 잘 설명하였다. 이후 Kite 등^[8]은 양자화 오차와 입력 영상의 상관성을 최소화하는 최적 파라미터를 구하는 방법을 제안하였다. 그러나 그들이 사용한 방법은 입력 영

* 정회원, 충북대학교 정보통신공학과
(Dept. of Computer and Communication Eng.
Chungbuk National University)

** 정회원, 한솔 LCD 연구원
(Hansol LCD Researcher)

접수일자: 2003년10월1일, 수정완료일: 2004년5월27일

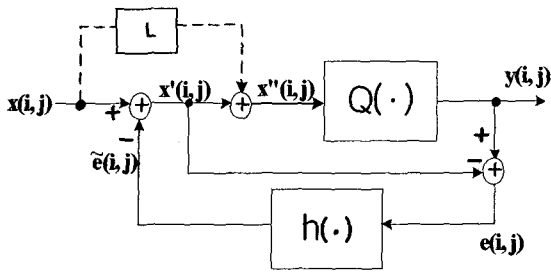


그림 1. 샤프닝 조절 곱 파라미터 L을 가진 오차확산 해프토닝

Fig. 1. Error diffusion halftoning with a multiplicative parameter L to control sharpening.

의 모든 화소에 최적치를 균일하게 적용하는 것이어서 일부 물체의 경계부분에서 뭉쳐짐 현상 등이 개선되지 않았다. 또한 최적 파라미터는 입력영상마다 달라져서 매번 계산해야하는 단점도 있었다. 따라서 본 논문에서는 이런 단점을 보완하기 위한 방법으로 영상의 국부적인 특성에 따라 파라미터의 값을 변화시키는 국부 적응 샤프닝 조절 해프토닝을 제안한다.

II. 샤프닝 조절 오차 확산 해프토닝

그림 1은 샤프닝 조절 파라미터를 가진 오차확산 해프토닝 회로이다^[5]. 먼저 입력 계조 영상의 한 화소 x(i,j)에 이전 화소에서 발생한 해프토닝 오차의 일정 부분이 더해져 x'(i,j)을 만든다. 여기에 샤프닝 조절 파라미터 L에 의해 원영상의 계조값이 일부분 추가되어 x''(i,j)이 되고, 이것이 양자화기로 입력된다. 양자화는 상수 0.5에 양자화 입력 x''(i,j)의 부호만을 추가하여 ±0.5를 갖는 y(i,j)를 출력한다. 이때 발생한 해프토닝 오차 e(i,j)는 수정 화소값 x'(i,j)과 양자화 출력 y(i,j)의 차이이다. 이 해프토닝 오차는 오차필터인 h(.)에 의해 주변 화소로 확산된다.

Kite 등은 해프토닝 양자화기를 다음 그림과 같이 선형 이득 K와 양자화 잡음 q(i,j)로 모델링하였다.^[7] 이 모델에서 실제 오차확산과 모델에 의한 양자화가 최소의 자승오차가 되는 최적 선형 이득은 L=0의 조건에서 다음과 같이 계산된다^[8].

$$K = \sum_{i,j} x'(i,j)y(i,j) / \sum_{i,j} x'(i,j)^2 \quad (1)$$

Kite는 오차확산 해프토닝이 저주파 역계 필터의 성질이 있으므로, 입력영상의 크기를 L배하여 양자화기의 입력에 더해지면 해프톤 영상의 샤프닝을 조절할 수 있

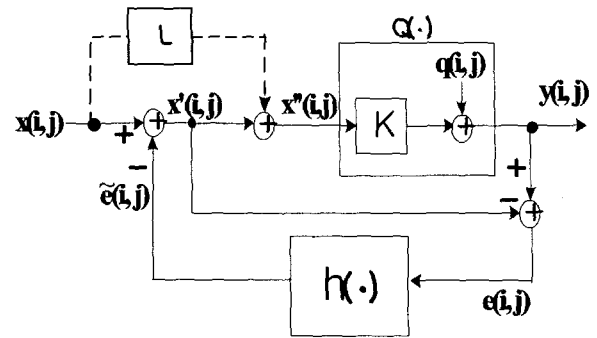


그림 2. 해프토닝 양자화기의 등가회로

Fig. 2. The equivalent circuit of halftoning quantizer.

음을 제안하였다^[8]. 이 때 사용되는 파라미터 L은 클수록 샤프닝이 커지고, 작을수록 뭉개짐(blurring) 현상을 일으킨다. 또한 그들은 해프톤 영상의 시각적인 화질이 입력영상과 가장 유사하게 되는 최적 파라미터를 다음과 같이 구하였다^[8].

$$L = (1 - K) / K \quad (2)$$

III. 국부 적응 샤프닝 조절 오차확산 해프토닝

Knox가 제안한 방법에 의한 해프토닝 영상은 경계가 강조되어 명확하게 보여지지만 경계를 강조하는 과정에서 샤프닝이 과다하게 발생하는 단점을 보인다. Kite 방법은 Knox 방법보다 해프토닝 영상에서 전체적으로 경계가 적당히 강조되고, 또한 샤프닝도 줄어들어 화질이 개선된다. 하지만 밝기의 차가 큰 경계부분에서는 국부적인 뭉쳐짐이 여전히 남아 있다. 우리는 이러한 단점을 개선하려고 한다. Kite는 최적 파라미터를 전체 영상에 대해 균일한 상수로 가정하여 테스트한 결과 오차 필터 및 입력 영상에 따라 큰 차이가 없음을 보였다^[7]. 그러나 그들이 테스트한 입력영상은 중간 계조값이 많은 보통 영상이었다. 그러므로 만약 입력영상이 중간 계조값이 적은 전체적으로 아주 어둡거나 또는 아주 밝은 특이한 영상이라면 최적 파라미터가 아주 다른 값일 수 있다. 특히 완전 흑색이나 백색인 경우에는 최적 파라미터는 0이어야 한다. 그림 3은 입력 계조영상이 단일 밝기(즉, x(i,j)=x)를 가진 경우에 식 (2)로 계산된 최적 파라미터 L을 표시한 것이다.

그림 3에서 만약 계조값 x가 [-0.4,0.4]의 범위에서는 최적 파라미터의 값을 상수로 취급할 수 있다. 그러나 아주 어둡거나(x<-0.4) 아주 밝은 계조(x>0.4)일 경우에는 최적 파라미터의 값이 지수함수에 가깝다. 그림 3

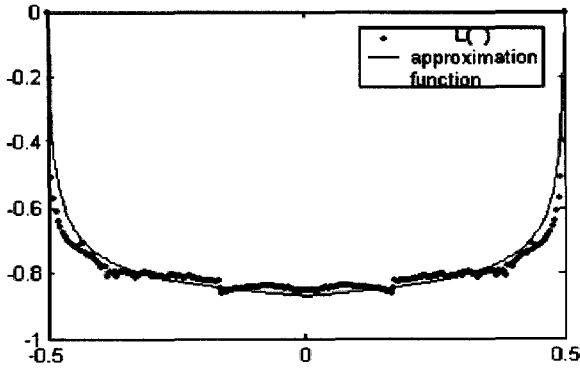


그림 3. 계조값에 따른 최적 파라미터 L
Fig. 3. The optimal parameter L according to luminance.

의 최적 파라미터 값들은 다음 식으로 근사화 할 수 있다.

$$L'(x) = -0.92 \times (0.5 - |x|^{0.09}) \quad (3)$$

Kite 등이 제안한 샤프닝 조절 방법은 평탄영역과 경계영역의 구분이 없이 동일한 방법이 사용된다. 따라서 평탄영역에는 영향을 주지 않으면서 경계부분에서만 샤프닝을 감소시키려면 경계부분에서 파라미터 L값을 증가시키면 된다. 경계부분의 검출은 흔히 소벨 연산자를 사용한다. 더욱이 소벨 연산자에 의한 경계 검출값은 경계부분의 계조차가 클 경우에 더욱 크므로 샤프닝 조절 값으로 사용하기에 적합하다. 다음 식은 경계부분의 계조차를 반영한 샤프닝 조절 파라미터이다.

$$L''[x(i,j)] = L'[x(i,j)] + \alpha S(i,j) \quad (4)$$

여기서 α 는 결합계수이며, $s(i,j)$ 는 화소 위치 (i,j) 에서의 계조 기울기값으로 다음 식과 같은 정규화된 소벨 연산자를 사용한다^[9].

$$s(i,j) = \frac{1}{4} \sqrt{s_h^2(i,j) + s_v^2(i,j)} \quad (5a)$$

$$s_h(i,j) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x(i-1,j-1) & x(i-1,j) & x(i-1,j+1) \\ x(i,j-1) & x(i,j) & x(i,j+1) \\ x(i+1,j-1) & x(i+1,j) & x(i+1,j+1) \end{bmatrix} \quad (5b)$$

$$s_v(i,j) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x(i-1,j-1) & x(i-1,j) & x(i-1,j+1) \\ x(i,j-1) & x(i,j) & x(i,j+1) \\ x(i+1,j-1) & x(i+1,j) & x(i+1,j+1) \end{bmatrix} \quad (5c)$$

여기서 *는 컨볼루션(convolution)을 의미한다.

표 1. 입력영상과 오차영상간의 상관계수

Table 1. The correlation coefficient between input image and error image.

입력영상 해프톤닝 방법	Pisa	Bridge	Baboon	Artificial
Kite	0.0602	0.0389	0.0205	0.010
제안방법	0.0152	0.0137	0.0021	0.003

IV. 실험 및 고찰

제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 시행하였다. 이 시뮬레이션에 사용한 컴퓨터는 개인용 컴퓨터로 펜티엄 4프로세서와 256MB의 메모리를 장착하였으며, 마이크로소프트의 Visual C++ 6.0을 이용하여 코딩하였다. 이때 사용한 검사영상은 256 × 256 픽셀을 가진 회색계조 영상 (Bridge, Pisa, Baboon) 과 실험실에서 합성한 인공영상(Artificial) 등이다. 오차 확산필터는 공통적으로 Jarvis 필터를 사용하였으며^[3], 식 (4)의 결합계수는 해프톤 영상의 화질이 가장 좋은 $\alpha=0.1$ 을 사용하였다.

해프톤 영상의 화질을 결정짓는 샤프닝은 입력영상과 오차영상의 상관성이 많을수록 커진다^[6]. 따라서 해프톤 영상의 샤프닝 척도로 다음과 같은 상관계수가 사용된다^[9].

$$\rho = \frac{\sum_{i,j} [x(i,j) - \mu_x][e(i,j) - \mu_e]}{\sqrt{\sum_{i,j} [x(i,j) - \mu_x]^2} \sqrt{\sum_{i,j} [e(i,j) - \mu_e]^2}} \quad (6)$$

여기서 μ_x 및 μ_e 는 각각 입력영상 및 오차영상의 평균 계조값이다. 표 1은 오차확산방법에 따른 상관계수를 나타낸 것이다.

표 1에 의하면 입력영상에 관계없이 제안방법이 Kite 방법보다 적은 상관성을 보인다. 특히 인공합성영상인 경우에는 상관성의 감소가 두드러진다. 이 사실은 제안방법이 기존 방법보다 좋은 화질의 해프톤 영상을 생성한다는 것을 의미한다.

해프톤 영상의 화질을 평가하기 위한 또 다른 객관적인 척도로는 인간의 시각적 인식특성을 적용한 다음과 같은 WSNR (Weighted Signal-to-Noise Ratio)이 있다^[8].

$$WSNR = \frac{\sum_{u,v} X(u,v)C(u,v)^2}{\sum_{u,v} [X(u,v) - Y(u,v)] C(u,v)^2} \quad (7)$$

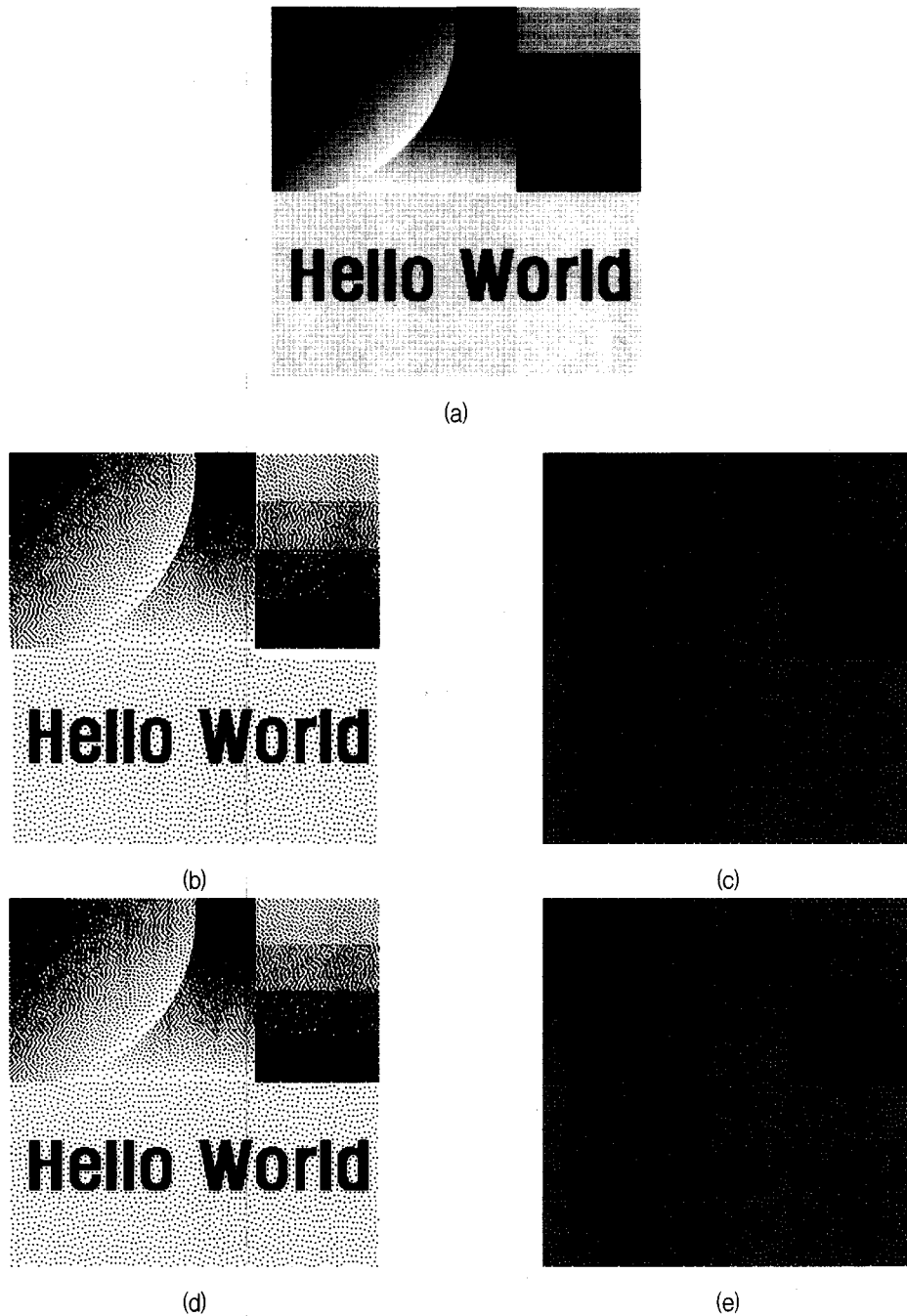


그림 4. 인공합성영상에 대한 해프토닝 영상 (a) 인공영상 (b) Kite 해프톤 영상 (L=-0.1331) (c) Kite 해프톤 오차영상 (d) 제안한 해프톤 영상 ($\alpha=0.1$) (e) 제안한 해프톤 오차영상

Fig. 4. The halftoned images of Artificial image (a) Artificial image (b) The halftoned image by Kite's method(L=-0.1331) (c) The error image by Kite's method (d) The halftoned image by proposed method ($\alpha= 0.1$) (e) The error image by the proposed method.

여기서 $X(u, v)$, $Y(u, v)$ 및 $C(u, v)$ 는 각각 입력영상과 해프톤 영상 및 대조감도함수(Contrast Sensitivity Function)의 푸리에 변환이며^[10], u 및 v 는 각각 수평 및 수직 공간주파수이다. 표 2는 해프토닝 방법에 따른 해프톤 영상의 WSNR을 나타낸 것이다.

표 2. 해프톤 영상에 대한 WSNR [dB]
Table 2. WSNR of halftoned images.

입력영상 \ 해프토닝 방법	Pisa	Bridge	Baboon	Artificial
Kite	34.06	34.98	38.53	31.68
제안방법	37.95	38.09	39.45	38.83

표 2에 따르면 제안 방법이 Kite의 방법과 비교하여 해프톤 영상의 WSNR이 대략 1.0 ~ 7dB정도 증가하였음을 알 수 있다. 이 WSNR 역시 인공합성영상에서 가장 탁월한 증가를 보여준다.

그림 4는 인공합성영상 및 오차확산 해프톤 영상들을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 원영상이며, (b)는 Kite가 제안한 방법에 의한 해프톤 영상이고, (c)는 제안방법에 의한 해프톤 영상이다. 그림 6의 (b)와 (c)를 비교해서 볼 때, 오른쪽 아래 부분에 위치한 검은색 띠의 밑부분에서 제안방법이 뭉쳐짐 현상을 두드러지게 개선시켰음을 알 수가 있다. 또한 오차영상인 (d)와 (e)를 보면 같은 부분에서 제안방법이 원영상과의 상관성이 더욱 없어졌음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

기존의 오차확산방법에 의해 생성된 해프톤 영상에는 물체의 경계부분이 제대로 해프토닝되지 않는 단점이 있었다. 이런 단점을 개선하기 위하여 우리는 국부 적응 샤프닝 조절 오차확산방법을 제안하였다. 이 방법은 Kite 등이 제안한 샤프닝 조절을 위한 곱 파라미터를 영상전체에 동일한 상수 대신에 화소 계조값에 종속적인 최적치로 대체하고, 국부적인 물체의 경계 크기에 비례하여 그 파라미터를 변동시키는 것이다. 제안방법을 컴퓨터 시뮬레이션으로 검사한 결과 해프토닝 오차영상과 원영상과의 상관성이 기존 방법보다 낮아졌으며, 객관적인 해프톤 영상의 화질 측정 척도인 WSNR도 1 ~ 7dB정도 개선되었다. 이 것은 제안방법에 의한 해프톤 영상의 샤프닝이 감소해 전반적인 화질이 개선되었음을 의미한다. 또한 인공합성영상에 대한 해프톤 영상을 비교한 결과 제안방법에 의한 것이 계조의 변화가 큰 경계부분에서 탁월한 성능 개선 효과가 있었다.

앞으로 더 연구할 내용은 오차확산필터의 변경에 따라 결합계수 등의 최적치를 추정하는 일과 더 빠른 처리속도를 추구하는 것 등이다.

참 고 문 헌

[1] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
 [2] R. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial grayscale," *Proc. Soc. Image Display*, vol. 17, no. 2, pp. 75-77, 1976.
 [3] J. Jarvis, C. Judice, and W. Ninke, "A survey of

technique for the display of continuous tone pictures on bilevel displays," *Comput. Graph. Image Process.*, vol. 5, pp 13-40, 1976.
 [4] D. Anastassiou, "Error diffusion coding for A/D conversion," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 36, pp. 1175-1186, Sept. 1989.
 [5] R. Eschbach and K. Knox, "Error-diffusion algorithm with edge enhancement," *J. Opt. Soc. Amer. A.*, vol. 8, pp. 1844-1850, Dec. 1991.
 [6] K. Knox, "Error image in error diffusion," in *Proc. SPIE Image Proc. Alg. Tech.*, vol. 1657, pp. 268-279, Feb. 1992.
 [7] T. D. Kite, B. L. Evans, and A. C. Bovik, and T. L. Scully, "Digital halftoning as 2-D delta-sigma modulation," in *Proc., IEEE Conf. Image Proc.*, vol. 1, pp. 799-802, Oct 1997.
 [8] T. D. Kite, B. L. Evans, and A. C. Bovik, "Modeling and quality assessment of halftoning by error diffusion," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 9, pp. 909-922, May 2000.
 [9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 2002.
 [10] T. Mitsa and K. Varkur, "Evaluation of contrast sensitivity functions for the formulation of quality measures incorporated in halftoning algorithms," *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Proc.*, vol. 5, pp. 301-304, Apr. 1993.

저 자 소 개



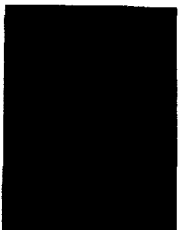
곽 내 정(정회원)
 1993년 2월 충북대학교
 정보통신공학과(학사)
 1995년 2월 충북대학교
 정보통신공학과(석사)
 1997년 9월~현재 충북대학교
 정보통신공학과 박사과정

<주관심분야: 영상통신, 영상정보처리 >



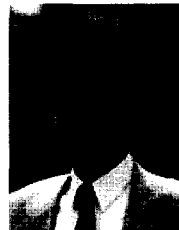
윤 태 승(정회원)
 1999년 2월 청주대학교
 정보통신공학과 (학사)
 2001년 2월 충북대학교
 정보통신공학과(석사)
 2001년 3월~현재 충북대학교
 정보통신공학과 박사 재학

<주관심분야: 영상통신, 컴퓨터 비전, HCI>



양 운 모(정회원)
 2001년 2월 충북대학교 전자공학과
 (공학사)
 2004년 2월 충북대학교
 정보통신공학과(공학석사)
 2003년 12월~ 현재 한솔 LCD 연구원

<주관심분야: 영상통신, 영상정보처리 >



안 재 형(정회원)
 1981년 충북대학교 전기공학과(학사)
 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자
 공학과(석사)
 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자
 공학과(박사)
 1987년~현재 충북대학교
 전기 전자공학부 교수

<주관심분야: 영상통신 및 영상정보처리, 멀티미디어 제작 및 정보제공, 인터넷 통신 및 프로그래밍>