회전 변환에 강인한 주파수 영역 로고 삽입 워터마크 방법

이 인 정* · 이 형** · 유 혜 림** · 민 준 영***

A Rotation Resistant Logo Embedding Watermark on Frequency Domain

In Jung Lee* · Hyoung Lee** · Hye Rim Yoo** · Joon Young Min***

Abstract

In this paper, we propose a rotation resistant robust logo embedding watermarking technique. Geometric manipulations make the detection process very complex and difficult. Watermark embedding in the normalized image directly suffers from smoothing effect due to the interpolation during the image normalization. This can be avoided by estimating the transform parameters using image normalization angle and moments, instead of embedding in the normalized image. Conventional rotation resistant schemes that use full frame transform. In this paper, we adopt DCT and calculate masking using a spatio-frequency localization of the 8×8 block DCT coefficients. Experimental results show that the proposed algorithm is robust against rotation process.

Keywords : Robustness, Watermarking

논문접수일 : 2006년 07월 27일 논문게재확정일 : 2007년 01월 09일

* 교신저자, 호서대학교 컴퓨터공학부, (336-795) 충남 아산시 배방면 세출리, e-mail : leeij@office.hoseo.ac.kr
** 대전대학교
*** 상지영서대학교

1. 서 론

디지털 정보와 전자적인 생산물인 정지영상, 오디오, 동영상, 문서 등의 복사를 방지하는 기술 중에 워터마크 기술은 텍스트, 이미지, 동영상, 오디오 등의 데이터에 원 소유주만이 알 수 있는 마크(Mark)를 삽입하여 사람의 육안이나 청력으로 구별할 수 없게 삽입하는 기술을 말한다.

일반적으로 더 강한 워터마크의 삽입은 영상 압축과 필터링 등의 공격에 대한 탐지 성능을 개선시킨다[7]. 그러나 기하학적인 공격은 이러한 공격과는 달리 워터마크 탐지기의 동기(同期)를 잃게 함으로써 워터마크가 여전히 영상에 존재함에도 불구하고 이 워터마크가 탐지되지 못하도록 만든다. 이러한 공격은 영상의 화질을 많이 훼손하지 않으면서 워터마크 탐지 과정을 매우 복잡하고 어렵게 한다는 점에서 중요한 공격이라고 할 수 있다. 스펙트럼 전개를 통해 회전이나 대칭 이동을 이용하여 워터마크를 삽입하는 기술[6]과 변환에 대응한 복원력을 워터마크 기술[5]에 도입하기도 하였다. DFT 도메인에서 순환적 대칭성을 이용한 워터마크 삽입방법[9]이나 변환에 저항하는 마크삽입기술[4,8]을 보이고 있으나 정규화된 영상에 직접 삽입하기 때문에 워터마크는 지워지지 않는다 해도 탐지가 쉽지 않는 단점이 있다. 2003년에 위상들 간의 상관관계와 로그-폴라맵에 기초한 회전-스케일링-전이를 이용한 워터마크가 소개[12] 되었는데 로그-폴라맵을 이용하여 변환하는 방법으로 직각좌표계 평면의 점 (x, y) 를 로그-폴라 평면의 점 (ξ, η)으로 다음과 같이 변환한다.

$$\xi = \log\sqrt[2]{x^2+y^2},\ \eta = \arctan(\frac{y}{x})$$

이 식은 기하학적 변환에서 변수의 범위가 유지되는 성질을 가지므로 기하학적 변환에도 삽입된 마크가 쉽게 손실되지 않는 점을 이용한 것이다.

본 논문에서는 영상의 회전변환 공격에 견딜 수 있는 강인한 로고 삽입 방법을 제안한다. 워터마크의 탐지과정에서 영상의 동기는 영상 정규화를 통해서 회복할 수 있다. Alghoniemy et al.에 의해 제안된 방법[1]의 문제점인 영상 보간을 피하기 위해 워터마크를 정규화 된 영상에 직접 삽입하는 대신, 워터마크의 삽입과 탐지가 원영상의 좌표계에서 수행 될 수 있도록 영상의 정규화를 이용하여 Affine 변환의 변환계수를 계산한다. 또한, 최소한의 시각적 화질 열화에 대해 최대 강도의 워터마크를 삽입하기 위해 8×8 블록 DCT 영역에서 마스킹 방법을 사용한다. 워터마크는 8×8 블록의 선택된 DCT 계수에 삽입된다. 8×8 DCT 블록은 3-레벨 웨이블릿 변환과 유사한 10개의 부대역을 가진다는 것이 알려져 있다[11]. DCT 블록의 부모-자식의 구조는 8×8 DCT 블록에서 공간-주파수 국부화 특성의 사용을 가능하게 한다. 따라서 블록 DCT 영역에서 화소 단위의 마스킹 방법[2]의 적용이 가능하다. 다중 소유권 분쟁(Multiple copyright ownership claims)에 관한 문제를 해결하기위해 제안된 방법은 워터마크의 탐지 과정에서 원영상을 사용하지 않는다[3].

2. 영상 정규화(Image Normalization)

변환 중에서 Affine 변환은 임의의 한 점 (a, b)를 (x, y)로 다음 식과 같이 변환하는 것을 말한다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

여기서 a_{ij}, $0 \le i, j \le 1$은 변환행렬의 원소다.

이때, 크기 변환 파라미터 회전각도 ϕ를 가지

는 Affine 변환은 다음과 같이 정의 된다[7].

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 (x, y)는 입력 영상의 화소 좌표이고, (x_a, y_a)는 변환된 영상의 화소 좌표이다. Affine 변환 파라미터는 영상의 모멘트(Moments)를 이용하여 추정할 수 있다. 이차원의 직각 좌표계에서 영상의 $p+q$차 모멘트는 다음과 같이 정의된다.

$$m_{p,q} = \sum_{y=0}^{N_2-1} \sum_{x=0}^{N_1-1} x^p y^q I(x, y) \quad (2)$$

영상의 중심은 영(零)차 모멘트와 일차 모멘트를 사용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\bar{x} = m_{10}/m_{00}$$
$$\bar{y} = m_{01}/m_{00}$$

영상에 가해진 이동 변환은 변환의 중심을 $(\bar{x}, \bar{y})$로 맞춤으로써 보상될 수 있다. $p+q$차 중심 모멘트 (Central moments)는 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_{p,q} = \sum_{y=0}^{N_2-1} \sum_{x=0}^{N_1-1} (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q I(x, y) \quad (3)$$

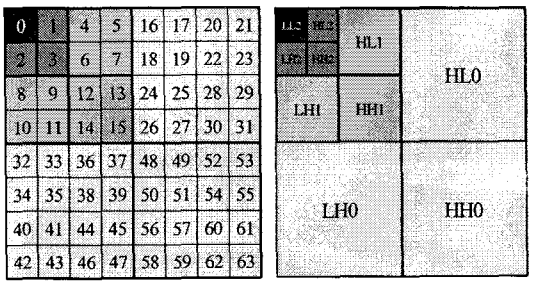
회전에 대한 영상 정규화는 텐서(Tensor) 이론을 이용하여 수행할 수 있다[12]. 영상 정규화를 위한 회전각도 ϕ는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$t^1 = \mu_{12} + \mu_{30}, \quad t^2 = \mu_{03} + \mu_{21}$$
$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{t^1}{t^2}\right) \quad (4)$$

식 (4)은 두 개의 가능한 해를 갖기 때문에, 유일 해를 보장하기 위해 $-t^1\sin\phi + t^2\cos\phi > 0$을 만족하는 ϕ를 회전 각도로서 선택한다. ϕ 그리고 $(\bar{x}, \bar{y})$를 사용하면 어떤 영상도 정규화된 영상으로 회전변환 할 수 있다.

3. 워터마크의 삽입

원영상을 8×8 블록 DCT 영역으로 변환하고 각각의 블록에 한 비트의 워터마크를 삽입한다. 비가시성과 강인성을 동시에 만족하기 위해 8×8 DCT 블록의 공간-주파수 국부화 특성을 이용하여 각 DCT 계수의 가중치를 계산한다. <그림 1>의 트리구조를 보면 DC 계수 {0}는 LL2 대역으로 이것은 트리 구조의 루트이다. 계수 {1}, {2}, {3}은 각각 HL2, LH2, HH2 대역이다. 이러한 방법으로 계수 집합 {4, 5, 6, 7}, {8, 9, 10, 11}, {12, 13, 14, 15}, {16, ···, 31}, {32, ···, 47}, {48, ···, 63}은 각각 대역 HL1, LH1, HH1, HL0, LH0, HH0이다. 1비트의 정보를 삽입하기 위해 블록 내에서 랜덤하게 선택된 계수들로 이루어진 두 개의 그룹으로 나누게 된다. 기하학적 처리에 대응하기 위해 영상의 영차 모멘트(m_{00})와 정규화 각도(ϕ)가 각각 계산되어 영상의 탐지 과정에서 사용된다.



(a) DCT 계수 (b) 10개의 부대역

<그림 1> 8×8 DCT 블록의 트리 구조

먼저, $N_1 \times N_2$ 크기의 입력영상 $I(x, y)$를 식 (5)과 같이 8×8 크기의 겹치지 않는 블록들로 나눈다.

$$I(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} B_k, \quad \bigcap_{k=0}^{K-1} B_k = \phi \tag{5}$$

여기서, B_k는 k번째 8×8 블록이고 $k = 0, 1, \cdots, K-1$이다. K는 영상에 있는 블록의 총 개수이다. 이후, 각 블록을 DCT 영역으로 변환하고 각 블록에 한 비트의 정보를 삽입한다.

비가시성을 만족하면서 최대 강도로 워터마크를 삽입하기 위해서 주파수 영역에서 영상의 지역적인 특성을 고려한 가중치 함수를 정의한다. 블록내의 주어진 좌표에 대한 가중치는 같은 대역의 다른 레벨의 해당 계수들의 에너지를 이용하여 계산한다. 가중치는 각 8×8 DCT 블록에서 다음의 수식으로 계산할 수 있다.

$$w_l^{\theta}(x, y) = \left\{ \sum_{k=0}^{2} \frac{1}{4^{3-k}} \sum_{i=0}^{2^{J}-1} \sum_{j=0}^{2^{J}-1} \left| C_{2-k}^{\theta} \left(\left\lfloor \frac{x}{2^{2-l-k}} \right\rfloor + i, \left\lfloor \frac{y}{2^{2-l-k}} \right\rfloor + j \right) \right| \right\}^{\beta} \tag{6}$$

여기서, $J = \lfloor 2^{l+k-3} \rfloor$ 이고, $\lfloor x \rfloor$ 는 x보다 작은 최대의 정수 값을 취하는 연산이다. β는 워터마크의 삽입 강도를 조절하는 파라미터이다. θ는 각각 부대역 HL, HH, LH에 대해 0, 1, 2이며, l은 부대역의 레벨을 나타낸다. C_l^{θ}는 원영상의 8×8 DCT 블록의 레벨 l에서 θ 방향의 계수이다.

워터마크 삽입 과정의 보안을 위해 이진로고 $S = \{s_0, s_1, \cdots, s_{M-1}\}$는 의사랜덤 비트열 $R = \{r_0, r_1, \cdots, r_{M-1}\}$에 의해 변조되어 변조된 워터마크 열 $P = \{p_0, p_1, \cdots, p_{M-1}\}$을 생성한다. 여기서, r_i, s_i, $p_i \in \{0, 1\}$이다. 변조는 비트 단위의 XOR 연산을 사용하여 수행한다.

$$p_i = r_i \oplus s_i$$

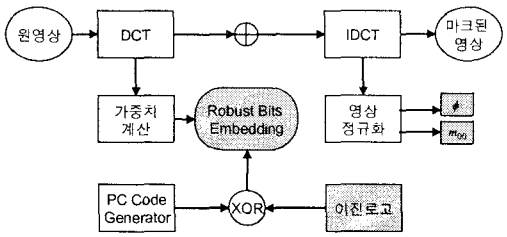
워터마크의 삽입은 두 집합 간의 연산을 기반으로 수행한다. 우선 8×8 블록 내의 선택된 DCT 계수를 임의의 두 그룹으로 나누고 이 두 그룹의 계수들 간의 절대 값의 합의 차이의 부호를 변경하여 한 비트의 정보를 삽입한다. G_X와 W_X를 각각 그룹 X의 선택된 DCT 계수와 그에 대응되는 가중치 값이라고 하면, 두 개의 그룹 G_A와 G_B는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$G_A = \{a_0, a_1, \cdots, a_{N-1}\} \quad W_A = \{u_0, u_1, \cdots, u_{N-1}\}$$
$$G_B = \{b_0, b_1, \cdots, b_{N-1}\} \quad W_B = \{v_0, v_1, \cdots, v_{N-1}\}$$

여기서, N은 각 그룹의 원소의 개수를 나타낸다. 정보 '1'을 블록 j에 삽입하는 경우, 그룹 G_A의 계수들의 절대값을 W_A의 대응되는 가중치 값만큼 증가 시키고 그룹 G_B의 계수들의 절대값을 W_B의 대응되는 가중치 값만큼 감소시키는데 이 과정을 $ASD_j(G_A, G_B)$(Absolute Sum Difference)가 0보다 크거나 또는 미리 정해진 어떤 반복 회수에 도달할 때까지 반복한다. 반대로 '0'을 삽입하는 경우, $ASD_j(G_A, G_B)$가 0보다 작거나 같을 때까지 또는 미리 정해진 어떤 반복 회수에 도달할 때까지 반복하여 그룹 G_A의 계수들의 절대값을 W_A의 대응되는 가중치 값만큼 감소시키고 그룹 G_B의 계수들의 절대값을 W_B의 대응되는 가중치 값만큼 증가시킨다. 블록 j에 대해 $ASD_j(G_A, G_B)$는 다음과 같이 정의된다.

$$ASD_j(G_A, G_B) = \sum_{i=0}^{N-1} |a_i| - \sum_{i=0}^{N-1} |b_i| \tag{7}$$

기하학적 공격을 역변환하기 위해서는 3개의 변환 파라미터를 계산해야 한다. 이동 파라미터는 영상의 중심을 계산함으로써 보상할 수 있다. 따라서 회전변환 공격의 역변환을 위해서 워터마크의 탐지 과정에서 워터마킹 된 영상의 m_{00}와 ϕ가 필요하다. 워터마크 삽입과정은 <그림 2>에 나타내었다.



〈그림 2〉 로고 삽입 과정의 블록도

4. 워터마크의 검출

의심되는 영상을 정규화 기하학적 변환 파라미터를 계산한다. 기하학적 공격의 역변환을 계산한 후에, 영상을 8×8 DCT 영역으로 변환하고 블록 단위로 비트 정보를 추출 한다. 각 블록 j에 대해 $ASD_j(G_A, G_B)$를 계산하여 만일 $ASD_j(G_A, G_B) \geq 0$ 이면, p'_j를 '1'로 복호화 하고 그렇지 않으면 '0'으로 복호화 한다. 로고의 추출 과정에 추가하여, 정규화된 교차 상관도(Normalized cross correlation)를 이용하여 원래의 워터마크와 복호된 워터마크 사이의 일치점수(Matching score)를 계산할 수 있다[10].

$$s = \frac{\sum_{j=0}^{M-1}(2p_j-1)(2p'_j-1)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{M-1}(2p_j-1)^2 \sum_{j=0}^{M-1}(2p'_j-1)^2}} = \frac{1}{M}\sum_{j=0}^{M-1}(2p_j-1)(2p'_j-1) \quad (8)$$

여기서 p_j와 p'_j는 각각 원래의 워터마크와 추출된 워터마크를 나타내며, M은 워터마크의 길이를 나타낸다. 만일 일치점수 s가 어떤 임계값 보다 크면 영상 내에 워터마크가 존재한다고 할 수 있다. 그러나 T_s의 값을 적절하게 결정해야 하는 문제가 발생한다. 본 논문의 문제의 경우, 워터마크 Y의 삽입 유무에 관계없이 p'_j의 분포가 동일하기 때문에 두 가지 경우를 동일하게 취급할 수 있다. 어떠한 경우이든, p'_j는 $\Pr(p'_j=0)=0.5$, $\Pr(p'_j=1)=0.5$의 확률로 균일분포(Uniform distribution)를 따른다. 중심극한정리(Central Limit Theorem)로부터 s가 평균 μ_s, 분산 σ_s^2을 가지는 정규분포를 따를 것으로 예상할 수 있다.

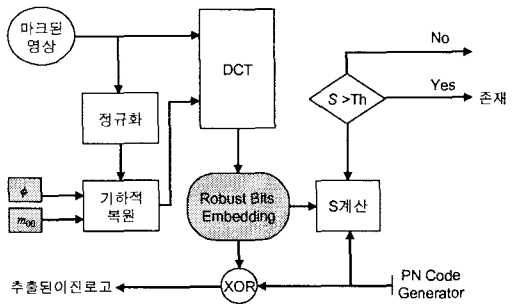
따라서 오 검출 확률 P_f는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_f = \frac{1}{2}erfc\left(\frac{T_s-\mu_s}{\sqrt{2}\sigma_s}\right) \quad (9)$$

s의 평균과 분산을 계산하면 $\mu_s=0$이고, $\sigma_s^2=1/M$이다. 그러므로 임계값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T_s = 4.5\sqrt{2/M} \quad (10)$$

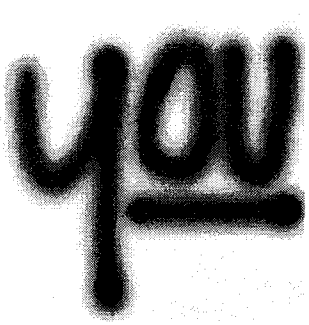
식 (10)으로부터 임계값은 삽입된 비트수에만 관계함을 알 수 있다. 로고추출과정은 <그림 3>에 나타내었다.



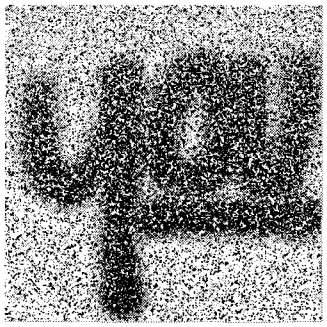
〈그림 3〉 로고 추출 과정의 블록도

5. 실험 결과

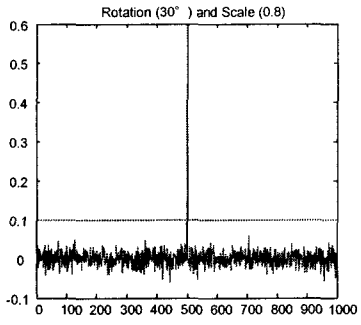
제안된 알고리즘의 강인성을 평가하기 위해, 회전변환 공격에 대한 모의실험을 수행하였다. 30회전을 수행하여 추출된 로고를 원본로고와 함께 <그림 4>에 나타내었다. 실험결과로부터 회전변환을 사용한 공격에 대해서 워터마크가 신뢰성 있게 탐지됨을 알 수 있다.



원본로고



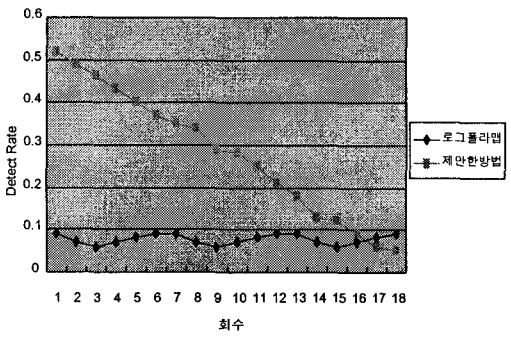
공격 후 찾아진 로고



탐지기 응답

〈그림 4〉 원본로고와 탐지된 로고 및 탐지기 응답

다음은 동일한 상황에서 회전변환을 18회 반복 실험하여 응답율을 조사한 결과이다. <그림 5>에서 보는것 처럼 제안된 방법이 로그-폴라 맵을 사용한 방법보다 응답률이 높음을 알 수 있다. 로그-폴라 맵은 DFT 변환을 사용하며 변환 후에도 변수의 일정범위 값이 유지되는 성질이 있어 반복을 여러차례 시도하여도 응답률에 변화가 없음을 보인다. 제안된 방법은 반복이 많아지면 응답률이 조금씩 낮아지고 있음을 보인다.



〈그림 5〉 동일한 상황에서 회전변환을 반복할 때 반복시마다 계산된 응답률 분포이다.

6. 결 론

본 논문에서는 영상의 정규화와 8×8 블록 DCT 영역에서의 마스킹 방법을 이용하여 회전변환에 강인한 워터마킹 방법을 제안하였다. 영상 정규화 과정에서 보간법으로 인해 발생하는 화질의 열화를 피하기 위해 워터마크를 정규화된 영상에 직접 삽입하는 대신, 영상 정규화를 이용하여 변환 파라미터를 계산하고 기하학적 공격에 대한 역변환을 수행한 후, 원래의 영상 좌표계에서 워터마크를 탐지하도록 하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 회전변환에 대해 우수한 성능을 보였다.

참 고 문 헌

[1] Alghoniemy, M. and Tewfik, A. H., "Geometric invariance in image watermarking", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 13, No. 2, February 2004, pp. 145-153.

[2] Barni, M., Bartolini, F., and Piva, A., "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking", *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol. 10, No. 5, May 2001, pp. 783-791.

[3] Craver, S., Memon, N., Yeo, B. L., and Yeung, M. M., "Resolving rightful ownerships with invisible watermarking techniques : limitations, attacks, and implica-

tions", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No 4, May 1998, pp. 573-586.

[4] Kutter, M., "Watermarking resisting to translation, rotation and scaling", *Proceedings of SPIE*, Vol. 3528, November 1998, pp. 423-431.

[5] Lin, C. Y., Wu, M., Bloom, J. A., Cox, I. J., Miller, M. L., and Lui, Y. M., "Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images", *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol. 10, No. 5, May 2001, pp. 767-782.

[6] O'Ruanaidh, J. J. K. and Pun, T., "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking", *Signal Processing*, Vol. 66, No. 3, May 1998, pp. 303-317.

[7] Pei, S. C. and Lin, C. N., "Image normalization for pattern recognition", *Image and Vision Computing*, Vol. 13, No. 10, December 1995, pp. 711-723.

[8] Pereira, S. and Pun, T., "Robust template matching for affine resistant image watermarks", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 9, No. 6, June 2000, pp. 1123-1129.

[9] Solachidis, V. and Pitas, I., "Circularly symmetric watermark embedding in 2-d DFT domain", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 10, No. 11, November 2001, pp. 1741-1753.

[10] Wong, P. H., Au, O. C., and Yeung, Y. M., "A novel blind multiple watermarking technique for images", *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 8, August 2003, pp. 813-830.

[11] Zhao, D., Zhang, D., and Gao, W., "Embedded image coding based on hierarchical discrete cosine transform", *Journal of Software*, Vol. 12, No. 9, September 2001, pp. 1287-1294.

[12] Zheng, D., Zhao, J., and Saddik, A. E., "RST-invariant digital image watermarking based on log-polar mapping and phase correlation", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 8, August 2003, pp. 753-765.

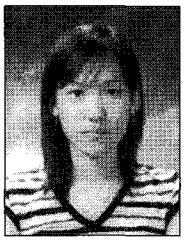
저자소개

이 인 정

전남대학교 수학과에서 학사, 중앙대학교 수학과에서 이학석사·박사, 아주대학교 전자공학과에서 공학박사를 취득하였다. 현재 호서대학교 컴퓨터공학부에서 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 영상신호처리, 수치해석, 인공지능 등이다.

이 형

서울대학교 사범대학 수학과에서 학사, 성균관대학교 전자계산학과에서 석사, 조선대학교 컴퓨터공학과에서 박사학위를 취득하였다. 현재 대전대학교 정보통신공학과에서 교수로 재직 중이다. 대전대학교 공과대학 학장, 한국정보기술응용학회 회장을 역임하였다. 주요 관심분야는 생체신호처리, 컴퓨터 그래픽 등이다.



유 혜 림

대전대학교 정보통신공학과에서 학사를 취득하였다. 현재. 대전대학교 정보통신공학과에서 석사 재학 중이다. 주요 관심분야는 컴퓨터 그래픽, 영상처리 등이다.

민 준 영

아주대학교 산업공학과에서 학사, 성균관대학교 정보처리학과에서 석사, 성균관대학교 통계학과에서 전산통계전공 박사학위를 취득하였다. 현재 상지영서대학에서 부교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 생체신호처리, ITS, 인공신경망 등이다.

◈ 이 논문은 2006년 07월 27일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2007년 01월 09일 게재확정되었습니다.