

DCT의 DC 계수에 워터마크 삽입하는 디지털 워터마킹

신용달[†] · 권성근^{**}

요 약

본 논문에서는 DCT의 DC 계수에 워터마크를 삽입하는 DCT 기반 디지털 워터마킹을 제안하였다. 본 논문에서는 8×8 블록 DCT를 수행하였으며, 워터마크 신호는 평균 0, 분산 1, 길이 1000인 정규분포 랜덤시퀀스를 사용하였다. 워터마크 신호 중에서 작은 값을 갖는 워터마크 신호들을 DC 계수에 삽입하고, 나머지 워터마크 신호들은 AC의 상위 계수 값에 삽입하였다. 제안한 방법의 성능을 확인하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 수행한 결과, 제안 방법이 기존의 워터마크 방법보다 비가시성 및 견고성 면에서 우수하였다.

Embedding DC Digital Watermarking in the DCT

Yong-Dal Shin[†] and Seong-Geun Kwon^{**}

ABSTRACT

In this paper, we proposed DC term embedding digital watermarking in the DCT domain. We computed a 8×8 block DCT. The watermark signal is composed of a random number sequence of length 1000, which obeys normal distribution with zero mean and unit variance $N(0,1)$. We embedded watermark signal in DC term for small watermark signal, the other watermark signal embedded in the largest AC coefficients. Experiment show that the invisibility and robust of the proposed method better than those of the conventional methods.

Key words: DCT, digital watermarking, DC

1. 서 론

디지털 워터마킹은 디지털화 된 오디오, 정지영상, 비디오 등과 같은 디지털 콘텐츠의 저작권보호, 복사 보호 등의 분야에서 사용되고 있다. 이러한 분야에서 사용되는 워터마킹은 각 응용분야에 따라 서로 다른 필요조건들이 요구되나 비가시성(invisibility), 견고성(robust) 등을 만족하여야 한다.

디지털 워터마킹 알고리즘은 공간영역(spatial domain)[1]과 주파수 영역(frequency domain)[2-11]에서 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 공간 영

역에서는 비가시성이 우수하나, 견고성 면에서는 조금 떨어진다. 최근에는 주파수 영역에서의 방법인 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT) 및 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform: DCT)을 이용한 디지털 워터마킹 방법들이 연구되고 있다[2-11].

이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 이용한 디지털 워터마크에 관한 연구는 다음과 같다[2-5]. Podilchuk[3]은 인간시각의 JND를 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 DWT를 이용하여 비가시성을 위해서 기저대역(baseband)을 제외한 고주파 부대역에 워터마크를 삽입하였다. Dugad 등[4]은 DWT를 이용하여 3-레벨로 영상을 분해하여 기저대역을 제외한 모든 고주

접수일 : 2002년 12월 12일, 완료일 : 2003년 4월 11일

[†] 정회원, 영동대학교 정보통신공학과

^{**} 정회원, 삼성전자 무선통신사업부

과 부대역에 특정 문턱값보다 큰 계수들을 선택하여, 이 계수값들의 절대값에 비례하는 워터마크 삽입방법을 제안하였다. 또한 Lumini 등[5]은 워터마크가 삽입되는 영상에 따라 다른 가중치를 갖는 워터마킹 알고리즘을 제시하였다.

한편, DCT를 이용한 워터마크 삽입 방법으로는 입력영상 $N \times N$ 크기로 DCT를 수행하는 방법[6-9]과 블록으로 나누어 DCT를 수행하는 방법[10-11]들이 있다.

DCT를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법으로는 DC를 제외한 중간주파수 영역과 DC를 제외한 DCT 계수가 큰 값을 갖는 주파수 영역에 워터마크를 삽입하였다[6-11]. 만약에 DC 영역에 무조건 워터마크를 삽입하면 DC 값이 증가하게 된다. 이와 같이 증가된 DC 계수에 대하여 Inverse DCT를 행하면 복원된 영상에서 블록화 현상(block effect)이 나타나서 화질이 매우 열화된다. 따라서 DC 계수에 워터마크를 삽입한 후 복원한 영상의 화질이 열화 되지 않으면서, 비가시성 및 견고성이 우수한 워터마크 삽입에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 DCT 영역에서 DC 계수에 워터마크 신호를 삽입하는 DCT 기반 디지털 워터마킹을 제안하였다. 제안 방법에서는 8×8 블록으로 나누어서 DCT를 수행하였으며, 삽입하는 워터마크 신호는 길이 1000, 평균 0, 분산 1을 갖는 정규분포 랜덤시퀀스를 갖는 신호를 사용하였다. 제안 방법에서는 워터마크 신호 중에서 작은 값을 갖는 워터마크신호들은 DCT의 DC 계수영역에 삽입하고, 나머지 워터마크신호들은 DCT의 상위 AC 계수 영역에 삽입하였다. 이와 같이 워터마크를 DC 영역에 삽입하더라도 워터마크의 삽입 강도가 작아서 화질에는 큰 영향을 미치지 않는다. 제안 방법의 성능을 확인하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 제안 방법이 기존의 워터마크 방법보다 비가시성이 우수하였으며, 또한 낮은 JPEG quality 및 다양한 공격에 대해서 견고성이 우수함을 확인할 수 있었다.

2. 디지털 워터마킹 알고리즘

2.1 워터마크 삽입

디지털 데이터에 워터마크 삽입 방법은 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다[6].

$$v_i' = v_i + \alpha x_i \tag{1}$$

$$v_i' = v_i \times (1 + \alpha x_i) \tag{2}$$

$$v_i' = v_i \times e^{\alpha x_i} \tag{3}$$

여기서, v_i' , v_i , α 및 x_i 는 각각 워터마크가 삽입된 신호의 크기, 원 신호의 크기, 워터마크의 삽입강도, 워터마크 데이터를 나타낸다. 식 (1)에서는 워터마크의 크기에 가중치를 두어 원 신호에 더함으로써 워터마크가 삽입된 신호를 얻기 때문에, 워터마크의 검출 과정은 워터마크의 삽입과정의 역 과정에 의하여 항상 가능하게 된다. 그러나 식 (2) 및 식(3)은 워터마크가 원 신호와의 곱의 형태로 삽입되기 때문에, 원 신호의 크기가 0 이외의 값을 가질 경우에만 워터마크의 검출이 가능하다.

2.2 이산여현변환(DCT)을 이용한 디지털 워터마킹

DCT를 이용한 기본적인 디지털 워터마킹 알고리즘은 그림 1과 같다. 이 그림에서 입력 영상 $I(x, y)$ 를 8×8 블록으로 나누어 DCT를 수행하여 주파수 영역인 $I'(u, v)$ 를 만든다. 주파수 영역인 $I'(u, v)$ 에 워터마크 $W(k)$ 를 삽입한 후, 역변환 DCT (Inverse DCT)를 실행하여 워터마크가 삽입된 영상 $I_w(x, y)$ 을 얻는다.

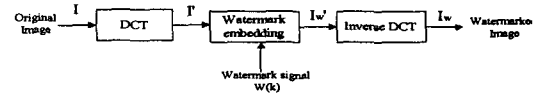


그림 1. DCT를 이용한 워터마킹 삽입 알고리즘

본 논문에서 사용한 디지털 워터마킹 알고리즘에서의 DCT 및 IDCT는 다음 식과 같다.

먼저 DCT는

$$I(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \cos\left[-\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[-\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \tag{4}$$

$$C(u) = \sqrt{1/N} \text{ for } u=0 \tag{5}$$

$$C(u) = \sqrt{2/N} \text{ for otherwise} \tag{6}$$

여기서, N은 블록 DCT를 수행하기 위한 블록크기 N을 나타낸다.

Inverse DCT (IDCT)는

$$I(x, y) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I'(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (7)$$

이다.

3. 제안한 디지털 워터마킹 알고리즘

DCT를 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘들은 워터마크된 영상의 화질 열화를 막기 위해 DC 계수를 제외한 주파수 영역에 워터마크를 삽입한다 [6-11].

본 논문에서는 워터마크된 영상의 비가시성 및 견고성을 만족하기 위한 DCT 기반 디지털 영상 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 기존의 알고리즘과 달리 우수한 견고성을 위해서 DCT의 DC 계수 및 주파수 영역의 상위 DCT 계수에 워터마크를 삽입하였다.

본 논문에서 사용한 워터마크는 길이 1000, 평균 0, 분산 1인 정규분포 랜덤 시퀀스를 이용하였으며, 우수한 비가시성 및 견고성을 유지하기 위해서 다음과 같이 DC 계수 및 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하였다.

- a) DC 계수에 워터마크 삽입 방법
 1. 입력영상을 8×8 블록 크기로 나누어서 DCT를 수행한다.
 2. 블록의 DC 계수 값이 문턱값 TH_DC 보다 큰 블록을 선택한다.
 3. 식 (2)에 있는 워터마크 삽입강도 $|a x_i| \leq th_1$ 를 만족하는 워터마크 데이터 값에 대하여 2번에서 선택한 블록의 DC 계수에 워터마크를 삽입한다.
- b) AC 계수에 워터마크 삽입 방법
 1. 입력영상을 8×8 블록 크기로 나누어서 DCT를 수행한다.
 2. 주파수 영역의 AC 계수 중에서 상위 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다.

위의 DC 및 AC 계수에 워터마크 삽입 방법의 흐름도는 그림 2와 같다.

이와 같이 워터마크의 삽입 강도 $|a x_i| < th_1$ 경우

에는 삽입강도가 매우 작아 DC 계수에 워터마크를 삽입하더라도 화질에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 $|a x_i| > th_1$ 경우에는 삽입강도가 매우 커서 DC 계수에 워터마크를 삽입하게 되면 DC 계수 값이 증가되어 워터마크 삽입된 영상은 블록화 (block effect) 현상이 나타나서 화질이 매우 나쁘게 된다.

워터마크를 검출(extract)하는 방법은 다음과 같다.

1. 워터마크를 삽입한 영상 및 원 영상의 DCT 계수 각각 I_w', I_o 를 구한다.
2. 다음 식을 이용하여 삽입한 워터마크 X^* 를 검출한다.

$$X^* = \frac{I_w' - I_o}{aI_o} \quad (8)$$

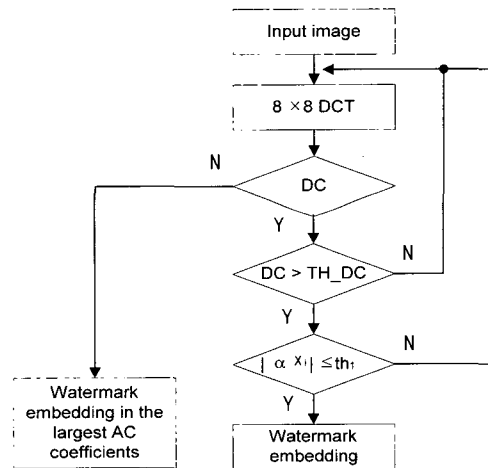


그림 2. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘 흐름도

4. 컴퓨터 모의실험

본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용한 실험 영상은 그림 3과 같이 8비트, 512×512 화소크기를 갖는 LENA, BARBARA, 및 MAN 영상데이터이다.

LENA 영상은 수직, 수평 및 대각선 에지 등의 다양한 패턴들이 존재하지만 큰 크기를 갖는 고주파 성분은 많이 존재하지 않고, BARBARA 영상은 바지, 테이블 보, 스카프 및 의자 부근에 큰 크기를 갖는 대각선 성분이 존재한다. 그리고 MAN 영상은 LENA 영상과 비슷하게 다양한 패턴을 갖지만 큰 크기의

고주파 성분들이 많은 특징을 갖는다.

실험에서 사용한 워터마크 데이터는 길이가 1000, 평균이 0, 분산이 1인 정규 분포를 갖는 랜덤 시퀀스 이었으며, 식 (2)의 삽입강도 α 는 Cox 등[6]의 방법에서 사용한 $\alpha = 0.1$ 이다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 Podilchuk [3] 및 Lumini[5] 방법과 비교하였다.

제안한 방법에서 적당한 문턱값 TH_DC 및 th_1 을 선정하기 위해서 여러 차례 문턱값을 변경하면서 워터마크 된 영상데이터의 화질열화를 살펴보았다. 이와 같이 수십 차례 반복 실험해서 TH_DC=100.0 및 $th_1=0.032$ 이 가장 적당한 문턱값으로 선정하였다.

또한 비가시성에 대한 성능평가의 기준으로 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 척도로 사용하였으며, 객관적인 견고성 비교를 위해서 식 (9)와 같이 정규화 된 유사도 (normalized similarity) NS를 사용하였다.

$$NS(X, X^*) = \left(\frac{\langle X \cdot X^* \rangle}{\sqrt{\langle X^* \cdot X^* \rangle} \cdot \sqrt{\langle X \cdot X \rangle}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

여기서, X 는 원래의 워터마크 신호이고, X^* 는 검출된 워터마크 신호이며, $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터의 내적을 나타낸다. 식 (9)에서는 워터마크를 삽입한 영상에서 추출한 워터마크가 원래의 워터마크 데이터와 동일

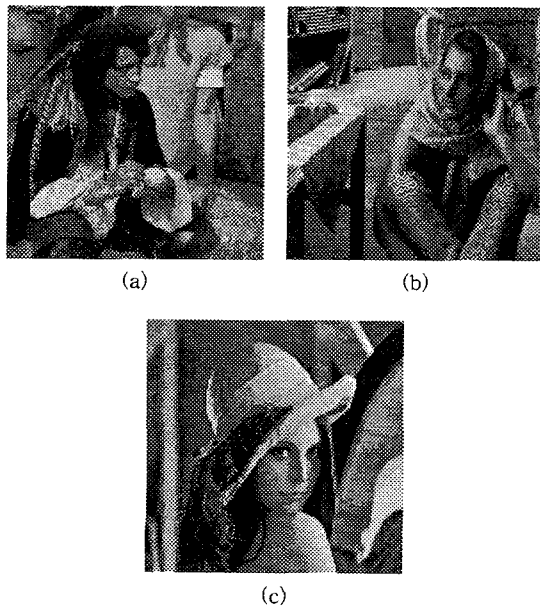


그림 3. 실험 영상들 (a) MAN (b) BARBARA, 및 (c) LENA

할 경우 정규화 된 유사도는 100%가 된다.

각 방법에 대한 견고성을 평가하기 위해서 절단 (cropping), 스케일링 (scaling), 디더링 (dithering) 및 JPEG quality [%]에 대한 유사도를 표 1 및 그림 4, 5, 및 6과 같다. 여기서 절단은 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 영상 크기의 1/4에 해당하는 부분은 획득한 영상으로, 나머지 부분은 원 영상으로 구성을 하는 것을 나타낸다. 스케일링은 획득한 영상을 수평 및 수직 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부 표본화 한 후, 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 디더링은 획득한 영상의 4x4 블록과 문턱값을 나타내는 4x4 행렬의 각 값을 비교하여 이진 영상을 만드는 것을 나타낸다. 본 논문에서 사용한 4x4 디더링 행렬 D는 다음과 같다.

$$D = \begin{bmatrix} 176 & 112 & 160 & 96 \\ 48 & 240 & 32 & 224 \\ 114 & 80 & 192 & 128 \\ 16 & 208 & 64 & 256 \end{bmatrix}$$

표 1. 다양한 공격에 대한 정규화 된 유사도

Images	Attack	Proposed method	Podilchuk method	Lumini method
BARBARA	Dithering	26.53%	20.41%	1.93%
	Scaling	6.43	17.41	5.68
	Cropping	53.04	49.10	24.42
LENA	Dithering	22.88	22.12	2.20
	Scaling	39.50	34.99	6.01
	Cropping	65.49	67.78	19.30
MAN	Dithering	20.32	20.59	5.82
	Scaling	36.10	32.98	15.50
	Cropping	55.10	53.07	35.83

이 표에서 제안방법의 BARBARA 영상에 대한 scaling 공격은 Podilchuk 방법보다 약간 떨어지지만, 나머지 다른 실험 영상의 디더링, 스케일링, 절단 부분에서 비슷하거나 약간 우수함을 나타내고 있다. 그리고 Lumini 방법과 비교하면 모든 영상에서 디더링, 스케일링, 절단 부분에서 우수한 성능을 보이고 있다.

또한 각 영상에 대한 JPEG quality [%] 유사도의 결과는 그림 4, 5 및 6과 같다. 이 그림에서 제안 방법은 기존의 방법들 보다 낮은 JPEG quality에서 우수

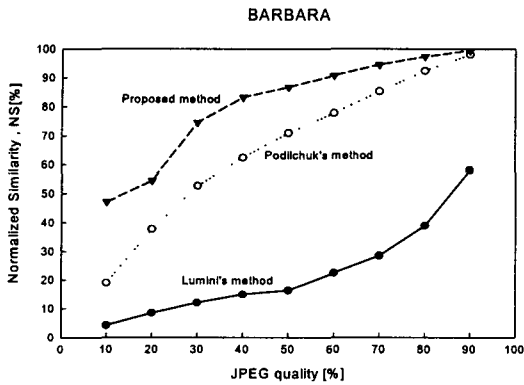


그림 4. BARBARA 영상에 대한 다양한 JPEG quality에 따른 정규화된 유사도.

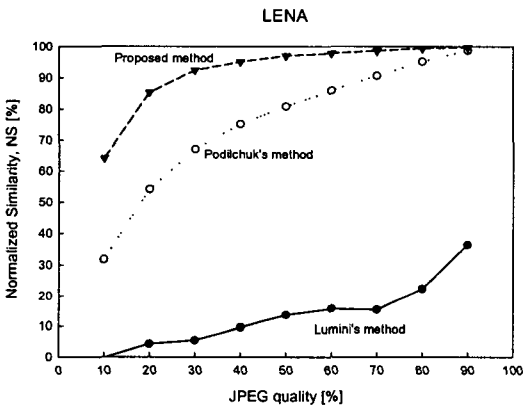


그림 5. LENA 영상에 대한 다양한 JPEG quality에 따른 정규화된 유사도.

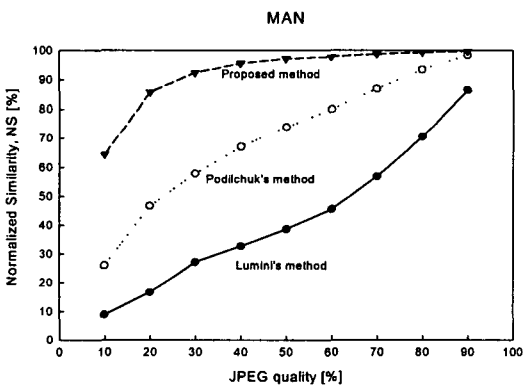


그림 6. MAN 영상에 대한 다양한 JPEG quality에 따른 정규화된 유사도.

한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이 제안 방법에서 우수한 성능을 얻을 수 있는 이유는 작은 값을 갖는 워터마크 데이터에서 DC 계수에 워터마크를

삽입함으로써 비록 낮은 JPEG quality 일지라도 삽입한 워터마크가 잘 보존되어 유사도가 높게 되었다. 또한 DC 계수에 작은 값의 워터마크 데이터를 삽입하여 얻은 영상의 화질은 크게 열화되지 않았다.

표 2는 제안한 방법과 기존의 방법에 대하여 비가시성에 대한 성능 평가이다. 이 표에서 제안방법은 기존의 Podilchuk 및 Lumini 방법보다는 PSNR이 높아 비가시성이 매우 우수함을 알 수 있다.

표 2. 워터마크가 삽입된 영상에 대한 PSNR (No attack)

Method \ Image	Proposed method	Podilchuk's method	Lumini's method
LENA	46.60 dB	38.67 dB	36.97 dB
BARBARA	46.51	35.53	36.59
MAN	47.12	36.11	34.95

5. 결 론

본 논문에서는 DCT의 DC 계수에 워터마크를 삽입하는 DCT 기반 디지털 워터마킹을 제안하였다. 본 논문에서는 평균 0, 분산 1, 길이 1000인 정규분포 랜덤시퀀스를 갖는 워터마크를 사용하였으며, 8 × 8 블록 DCT를 수행하였다. 워터마크 데이터 중에서 작은 값을 갖는 워터마크 데이터들을 DC 계수에 삽입하고, 나머지 워터마크 데이터들은 DCT의 상위 계수 값에 삽입하였다. 제안한 방법의 성능을 확인하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 제안 방법이 기존의 워터마크 방법보다 비가시성이 우수하였으며, 또한 낮은 JPEG quality에서 견고성이 우수함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] I. Pitas, "A method for watermark casting on digital images," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, vol. 8. no. 6, pp. 775~780, Oct. 1998.

[2] 하인성, HVS 및 DWT 기반 고신뢰 디지털 영상 워터마킹, 경북대학교 대학원 박사학위논문 2001년 6월.

[3] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive

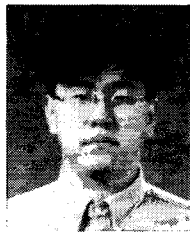
- watermarking using visual models," IEEE Trans. on Selected Areas of Communications, vol. 16, no. 4, pp. 525~539, May 1998.
- [4] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet based scheme for watermarking images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 2, pp. 419~423, 1998.
- [5] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet-based image watermarking scheme," Proc. of Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing, pp. 122~127, 2000.
- [6] I. J. Cox and J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, 1997.
- [7] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proc. of the IEEE Int. Conf. Image Processing, Santa Barbara, California, pp. 520~527, Oct. 1997.
- [8] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "Robust watermarking of still images for copyright protection," Proc. of the Digital Signal Processing, vol.2, pp. 499~502, 1997.
- [9] O. H. Kwon, Y. S. Kim, and R. H. Park, "Watermarking for still images using the human visual system in the dct domain," Proc. of the ISCAS, vol.4, pp. 76~79, 1999.
- [10] S. D. Lin, C. F. Chen, "A robust dct-based watermarking for copyright protection," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 46, no.3, pp. 415~421, Aug. 2000.
- [11] C. T. Hsu, J. L. Wu, "Hidden digital watermarks in images," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, Jan. 1999.



신 용 달

1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1996년 3월~현재 영동대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야: 정보보호, 영상신호처리, 멀티미디어통신



권 성 근

1996년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
 2002년 8월 경북대학교 전자공학과 박사
 2002년 11월~현재 삼성전자 무선사업부

관심분야: 영상처리, 영상통신, 정보보호

교신저자

신 용 달 370-800 충북 영동군 영동읍 설계리 산12-1
 영동대학교 정보통신공학과