

論文2002-39TE-3-5

비선형 특성을 이용한 디지털 영상 워터마킹 방법

(A Digital Image Watermarking Method using Non-linear Property)

高成植*, 鄭用德**, 金正和***

(Sung-Shik Koh, Yong-Duk Chung and Chung-Hwa Kim)

요약

본 논문에서는 영상을 구성하는 픽셀 정보의 비선형 분포 특성을 이용하여 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법의 기본 원리는 원 영상을 일정한 단위의 블록으로 분할하면 분할된 블록 내 픽셀들은 서로 상관성이 없이 비선형적 특성을 가진다는 것을 이용하는 것이다. 즉 비선형 특성이 강한 블록은 영상 정보의 변화가 많기 때문에 정보의 변화에 따른 인간의 시각적 차이는 크지 않고, 비선형 특성이 약한 블록은 영상 정보의 변화가 적지만 미소한 정보의 변화는 시각적 차이를 쉽게 느끼게 된다. 따라서 원 영상에 워터마크를 삽입하기 위해 분할된 블록 내 픽셀 변화량이 많으면 워터마크를 강하게 삽입하고, 반면에 픽셀 변화량이 적으면 워터마크를 약하게 삽입하여 비선형적으로 워터마킹을 하였다. 실험적 결과를 통해 워터마크가 삽입된 영상은 다양한 영상 처리의 공격에 대해 강인성을 유지시킬 수 있어 소유권 주장을 보다 명확히 할 수 있음을 증명하였다.

Abstract

This paper describes embedding non-linearly watermark data in the components of pixel intensities in the spatial domain of an image. The principle of the proposed method is that when an image is segmented regularly to the blocks, the pixels of the block have the non-linear properties without any similarity. That is, for the block with strong non-linear property human can't feel the visual different to the modified pixel values, on the other hand for the block with weak non-linear property human can feel the visual different to the a little modified pixel values. Thus we could embed the watermark data according to the non-linear property of the blocks. As the result of the simulation, against some general image processing attacks our algorithm could keep robust and be responsible for the copyright certainly.

* 正會員, 朝鮮理工大學 光電子情報學部

(Dev. of Photonics · Electronics & Information,
Chosun College of Science & Technology)

** 正會員, 朝鮮理工大學 컴퓨터情報科

(Dept. of Computer & Information, Chosun College of
Science & Technology)

*** 正會員, 朝鮮大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Chosun University)

※ 이 논문은 2001년도 조선이공대학 학술연구비 지원을
받아 연구되었음

接受日字:2002年5月13日, 수정완료일:2002年8月2日

I. 서론

정보 기술의 급속한 발달과 더불어, 전자 출판은 더욱 더 발전해가고 있다. 이로 인해 소유권 침범에 대한 저작권 보호 필요성이 절박하게 요구되고 있다. 그래서 영상 처리 분야에서 영상 워터마크와 서명을 위한 다양한 워터마킹 알고리즘이 새롭게 빠르게 연구되고 있다. 워터마크는 소유자의 소유권을 확인하기 위해 사용되고, 허가되지 않은 디지털 영상의 불법 복제 배포를 보호하는데 사용된다. 저작권 보호 목적을 위해, 워터마크는 은밀하게 삽입하여야 하고 원 영상과 부호화된 영상 사이에서 시각적 차이가 없어야 한다. 또한 강인한 워터마킹은 영상 처리와 손실 영상 압축과 같은 여러 가지 공격에서도 소유권을 주장할 수 있어야 한다.

영상 워터마킹 방법은 주파수 영역 기술^[1-4]과 공간 영역 기술^[5-8]로 분류될 수 있다. 주파수 영역 기술은 변환된 계수 값을 수정하는 반면에 공간 영역 기술은 선택된 픽셀의 농도 값이나 칼라 값을 직접 수정한다. 주파수 영역 기술은 공간영역의 픽셀 정보를 주파수 영역 계수로 영상을 변환하는 기술이다. 변환 방법에는 DCT^[1-2], 푸리에 변환^[3], 그리고 웨이블릿 변환^[4] 등이 있다. 공간 영역 기술은 가장 간단한 워터마킹 기술 중 하나인 최소 유효 비트(LSB)에 워터마크를 삽입 방법, 비밀키를 의사 랜덤 발생기^[6]를 이용하여 삽입하는 방법, 프랙탈을 기반으로 한 방법^[7], 그리고 적응적 워터마킹 방법^[8] 등이 있다. 이러한 공간 영역에서 사용되는 워터마크 방법들은 공격에 대해 쉽게 강인성을 저하시킨다.

본 논문에서는 적응적 워터마킹 방법^[8]의 저주파 영역에서는 적응적인 처리가 되지 않은 문제점이 있기 때문에 비선형적으로 워터마크를 삽입하는 방법으로 개선하여 일반적 영상 처리에 강인성을 갖는 워터마킹 기술을 제안한다. 삽입 방법은 원 영상의 블록 내 픽셀들의 그레이레벨 값을 비선형적으로 수정하여 워터마크를 삽입한다.

II. 비선형 워터마킹 삽입

본 논문에서는 워터마크를 공간 영역에서 비선형적으로 삽입하고, 워터마크 데이터는 분쟁 시 쉽게 소유권을 주장할 수 있도록 시각적으로 중요한 소유자의

사진과 텍스트로 구성된 2진 영상을 이용한다. 공간 영역에서 픽셀의 LSB에 워터마크를 삽입하면 인간의 시각적 시스템에 민감한 차이가 없을지라도 그 워터마크는 영상에 대해서 손실 압축과 필터링과 같은 공격 후에 쉽게 손실된다. 그래서 어떤 공격에서도 강인성을 유지하기 위해서는 보다 중요한 비트에 워터마크가 삽입되어야만 한다. 제안한 방법은 강인성과 시각적 비인식성을 위해, 영상 블록의 픽셀 농도 값의 비선형적 변화에 비례해서 픽셀 값을 수정하여 워터마크를 삽입한다. 즉 영상 블록이 에지가 많이 포함된 복잡한 블록일 경우, 픽셀 농도 차이가 많기 때문에 픽셀 농도 변화에 따른 시각적 민감성이 떨어진다. 이러한 특성을 이용하여 픽셀 농도 값을 많이 수정한다. 반면에 에지가 포함되지 않아서 픽셀 농도 차이가 거의 없는 복잡하지 않은 블록일 경우, 블록 내 픽셀 값의 차이가 적기 때문에 픽셀 농도 값의 적은 변화도 쉽게 인지된다. 그래서 픽셀 농도 값을 적게 수정한다.

또한 다양한 변경이나 미허가 접근을 막기 위해 워터마크를 삽입하기 전에 랜덤하게 스캐램블링하여 암호화한다. 이 방법은 영상회전이나 영상절단과 같은 영상의 일부가 제거되는 영상 처리에 대해 강인성을 유지시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입 절차 블록 다이어그램은 그림 1과 같다. 원 영상 X 와 워터마크 데이터 W 를 다음 식(1), 식(2)와 같이 나타낸다.

$$X = \{x(i, j), 0 \leq i, j \leq N\} \quad (1)$$

$$W = \{w(i, j), 0 \leq i, j \leq M\} \quad (2)$$

여기서 $x(i, j) \in \{0, 1, 2, \dots, 2^l - 1\}$ 는 원 영상의 픽셀들의 농도 값이고 l 은 각각의 픽셀에서 할당된 비트 수이다.

$w(i, j) \in \{0, 2^l - 1\}$ 은 워터마크의 픽셀 농도 값이다.

삽입 전에 워터마크의 픽셀은 시스템의 비밀키인 랜덤 초기값 k 을 사용함으로써 다음 식(3)과 같이 랜덤하게 스캐램블 시킨다.

$$W_s = \{ \text{scramble}(w(i, j), k), 0 \leq i, j \leq M \} \quad (3)$$

워터마크를 삽입하기 위해 원 영상 X 는 $M \times M$ 블록으로 분해하여 워터마킹한다.

워터마크 W 의 각 픽셀이 b_{ij} 일 때, 스캐램블링된 워터마크 W_s 의 각 픽셀을 b_{ij} 라 하자. 원 영상 X 에서 선택된 임의의 블록이 $B_{M \times M}$ 이고, $B_{M \times M}$ 블록에서 최대

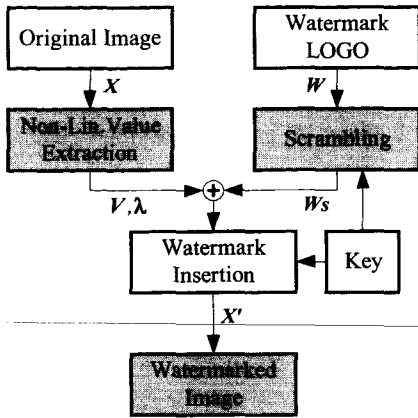


그림 1. 워터마크 삽입 시스템
Fig. 1. System for Watermark Embedding.

농도값, 최소 농도값, 그리고 평균값을 각각 p_{min} , p_{max} , 그리고 p_{ave} 라 할 때 블록 내 영상정보의 변화량에 따라 워터마크 데이터 b_{ij} 를 비선형적으로 삽입하기 위해 비선형 워터마크 계수값을 정의해야한다. 영상정보의 변화량이 없는 블록은 비선형적으로 워터마크를 할 수 없다. 따라서 이러한 블록의 워터마킹은 시각적인 차이가 없도록 블록 내 모든 픽셀들을 적응적 워터마킹 방법에서 이용한 다음 식(4)의 계수를 이용해서 워터마크를 삽입시킨다.

$$\lambda_{ij} = \{ \max(D_{th}, (p_{max} - p_{min})), 0 \leq i, j \leq N/M \} \quad (4)$$

여기서 D_{th} 는 비선형 특성의 역치값이다. λ_{ij} 는 블록 $B_{M,M}$ 내 픽셀들의 변화가 역치값 보다 작은 영상 정보 성분이 포함된 블록에 이용되는 계수이고 워터마크를 삽입 할 때 원 영상의 픽셀 값의 변화를 설정된 계수값으로 변형시킨다.

반면에 영상 정보의 변화량이 많은 블록일 경우 블록 내 픽셀들의 농도 변화 정도에 따라 워터마크 데이터를 제안한 식(5)을 이용하여 비선형적으로 삽입한다.

$$V_{ij} = \{ \sqrt{(p_{ij} - p_{ave})^2}, 0 \leq i, j \leq N/M \} \quad (5)$$

여기서 p_{ij} 는 $B_{M,M}$ 블록에서의 각 픽셀의 농도값이다. V_{ij} 는 블록 $B_{M,M}$ 내 픽셀들의 변화가 역치값 이상의 영상 정보 성분이 포함된 블록에 이용되는 픽셀 농도 변화의 비선형적 계수이고, 워터마크를 삽입할 때 원 영상의 픽셀 값의 변화를 비선형적으로 변형시킨다.

디지털 워터마크 데이터 W_s 는 2진 영상이고 삽입할

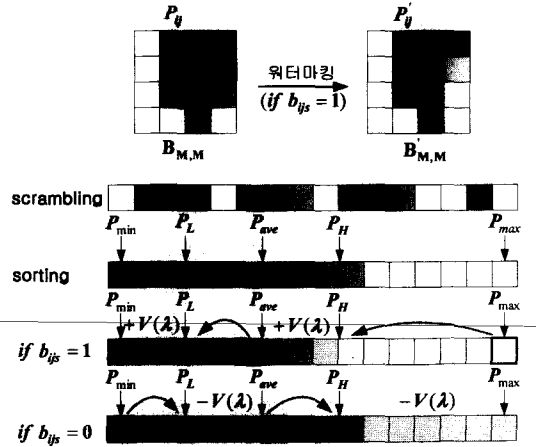


그림 2. 비선형 픽셀 농도에 따른 워터마크 삽입의 예
Fig. 2. Example for Watermark Embedding by Non-linear Pixel Intensity.

픽셀 b_{ij} 역시 2진 값으로 취한다. 그림 2는 비선형 픽셀 농도 값에 따른 워터마크 삽입의 예를 나타낸 그림이다.

여기서 P_H 와 P_L 는 다음 식(6), 식(7)과 같이 정의한다.

$$P_H = \{ \text{average}(P_{ave}, P_{max}) \} \quad (6)$$

$$P_L = \{ \text{average}(P_{min}, P_{ave}) \} \quad (7)$$

삽입 과정은 다음 법칙에 따라서 비선형적으로 $B_{M,M}$ 블록의 픽셀 농도를 변형한다.

- if $b_{ij} = 1$
 - $p_{ij} = p_{max}$, if $p > p_H$
 - $p_{ij} = p_{ave}$, if $p_L < p \leq p_{ave}$
 - $p_{ij} = p_{ij} + V_{ij}$, otherwise and if $p_{max} - p_{min} > D_{th}$
 - $p_{ij} = p_{ij} + \lambda_{ij}$, otherwise and if $p_{max} - p_{min} \leq D_{th}$
- if $b_{ij} = 0$
 - $p_{ij} = p_{min}$, if $p < p_L$
 - $p_{ij} = p_{ave}$, if $p_{ave} < p \leq p_H$
 - $p_{ij} = p_{ij} - V_{ij}$, otherwise and if $p_{max} - p_{min} > D_{th}$
 - $p_{ij} = p_{ij} - \lambda_{ij}$, otherwise and if $p_{max} - p_{min} \leq D_{th}$

여기서 p'_{ij} 은 비선형으로 변형된 원영상의 픽셀 농도값이다. 블록 $B_{M,M}$ 내의 픽셀 농도값의 변화가 비선형적

특성을 지니면 p_{ij} 는 변형되는 정도가 클 것이고 그렇지 않으면 p_{ij} 는 변형 정도가 작게된다. 따라서 제안된 알고리즘은 한 블록 내 픽셀값을 비선형적으로 수정할 수 있게 된다. B'_{MM} 은 p_{ij} 로 구성된 워터마킹 영상 X' 의 블록이다.

III. 워터마크 추출

삽입된 워터마크의 추출은 원 영상을 필요로 한다. 추출 순서는 워터마크를 삽입하는 절차의 역과 같다. 워터마크 추출의 전반적인 블록 다이어그램은 그림3과 같다.

추출된 워터마크 비트 값 b'_{ij} 는 원 영상 블록 B_{MM} 과 워터 마크된 영상 사이의 블록인 B'_{MM} 과 차이 값으로부터 얻을 수 있다. 만약 삽입된 워터마크의 픽셀값 b_{ij} 가 1 이었다면, B'_{MM} 의 픽셀 농도의 합은 B_{MM} 보다 더 크게 되고, 반면에 픽셀 값 b_{ij} 가 0이었다면, B'_{MM} 의 농도 합은 B_{MM} 보다 더 작게 된다. 즉 워터마크 비트값 b'_{ij} 는 다음 규칙에 의해 추출된다.

if $(B_{MM} - B'_{MM}) \leq 0$, then $b'_{ij} = 1$

if $(B_{MM} - B'_{MM}) > 0$, then $b'_{ij} = 0$

추출된 워터마크 W'_s 는 비밀키를 이용해서 역스크램블링을 하는 과정을 거친 후 오리지널 워터마크 W^o 를

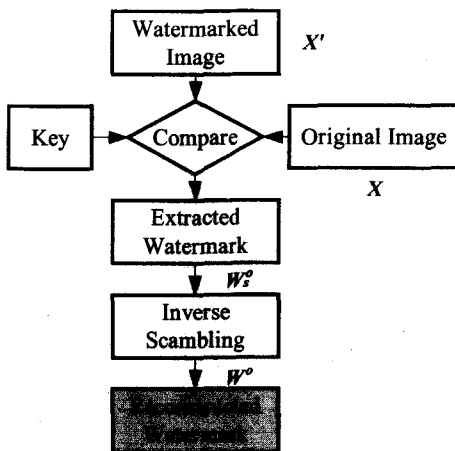


그림 3. 워터마크 추출 시스템
Fig. 3. System for Extraction of Watermark.

구성한다. 워터마크의 소유자는 이와 같은 과정으로 재구성된 워터마크 W^o 에 의해 소유권을 주장할 수 있다.

IV. 실험 결과

이 장에서는 실험 결과를 통해 본 논문에서 제안한 비선형 워터마킹 방법의 강인성을 검증하고자 한다. 그림 4(a)는 크기가 128×128인 2진 워터마크 데이터 영상이고 그림 4(b)는 크기512×512 인 256 그레이레벨(8bits/pixel)의 원 영상이다.

$X \times Y$ 의 영상에 대하여 정의되는 두 영상의 유사성은 다음 정규화된 상관관계식(Normalized Correlation) (8)과 PSNR 식(9)을 이용한다.

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{X-1} \sum_{j=0}^{Y-1} W_{ij} W'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{X-1} \sum_{j=0}^{Y-1} [W_{ij}]^2}} \times 100[\%] \quad (8)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} [dB] \quad (9)$$



(a) 워터마크 영상 128×128



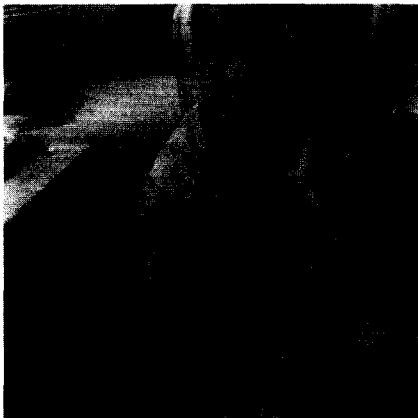
(b) Barbara 영상 512×512

그림 4. 원 영상과 워터마크 영상
Fig. 4. Watermark Image and Original Image.

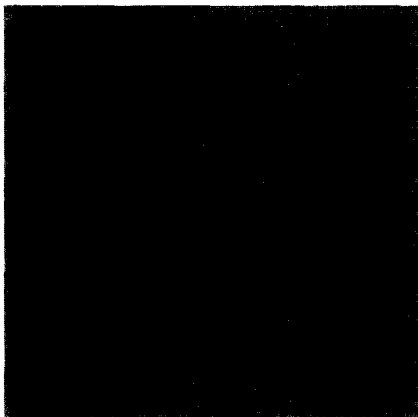
$$MSE = \frac{1}{X \times Y} \sum_{i=0}^{X-1} \sum_{j=0}^{Y-1} (x(i,j) - \hat{x}(i,j))^2$$

여기서 w_p 과 w_p^o 는 소유자의 오리지널 워터마크 영상과 공격 후 추출된 워터마크 영상이고 $x(i,j)$ 는 원영상의 픽셀값이고 $\hat{x}(i,j)$ 는 추출된 영상의 픽셀값이다.

그림5(a)는 워터마크가 삽입된 PSNR 32.14dB영상이고, 그림5(b)는 워터마크가 삽입된 그림과 원영상과의 차영상이고, 공간 영역에서 비선형적으로 픽셀들이 변화되는 정도에 따라 워터마크를 삽입하기 때문에, 픽셀 변화가 적은 저주파 부분은 원 영상과의 차이가 거의 없고 픽셀 변화가 많은 고주파 부분은 비선형적으로 워터마킹이 되어 원영상과 차이가 크다는 것을 확인할 수 있다.



(a) 워터마크가 삽입된 영상(PSNR 32.14dB)



(b) 원 영상과 삽입된 워터마크 영상의 차 영상

그림 5. 워터마크가 삽입된 영상과 차 영상
Fig. 5. Watermarked Image and Different Image.

표 1. 다양한 공격 후 추출된 워터마크의 데이터

Table 1. Data of Extracted Watermark after Various Attacks

| | Extracted watermarks | | | | | | | |
|-----------|----------------------|-------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | Barbara (32.25dB) | | Barbara (32.14dB) | | Lenna (34.61dB) | | Lenna (34.55dB) | |
| | adaptive | | nonlinear | | adaptive | | nonlinear | |
| | PSNR | NC | PSNR | NC | PSNR | NC | PSNR | NC |
| Median | 14.33 | 92.29 | 14.36 | 92.32 | 13.05 | 89.81 | 13.10 | 89.85 |
| Lowpass | 10.80 | 82.71 | 10.83 | 82.74 | 11.55 | 85.53 | 11.59 | 85.61 |
| Rotation | 11.74 | 86.35 | 11.77 | 86.38 | 12.07 | 87.48 | 12.12 | 87.51 |
| Rescaling | inf | 100 | inf | 100 | inf | 100 | inf | 100 |
| JPEG90 | inf | 100 | inf | 100 | 39.06 | 99.93 | 39.13 | 99.97 |
| JPEG80 | 37.34 | 99.93 | 37.37 | 99.96 | 30.97 | 99.78 | 31.00 | 99.83 |
| JPEG70 | 27.20 | 99.57 | 27.23 | 99.60 | 24.94 | 99.28 | 24.98 | 99.34 |
| JPEG60 | 22.29 | 98.74 | 22.32 | 98.78 | 20.58 | 98.07 | 20.62 | 98.18 |
| JPEG40 | 16.44 | 95.25 | 16.47 | 95.29 | 15.36 | 93.91 | 15.41 | 93.98 |
| JPEG20 | 9.34 | 75.71 | 9.37 | 75.76 | 8.50 | 70.72 | 8.54 | 70.77 |

표 1은 적응적 워터마킹 방법과 제안한 비선형 특성을 이용한 워터마킹 방법의 강인성의 비교 데이터이다. 제안된 워터마킹 기술이 적응적 워터마킹 방법보다 다양한 영상 처리와 손실 JPEG 영상 압축과 같은 공격에 대해 강인성이 견고함을 알 수 있다.

그림 6은 Median Filter 처리를 한 후 PSNR 24.68B 영상을 나타내고 이때 추출된 워터마크는 NC 92.32% PSNR 14.36dB이다.

그림 7은 JPEG 80% 압축된 PSNR 31.32dB 영상이고 이때 추출된 워터마크는 NC 99.96%와 PSNR 37.37dB이다.

그림 8은 다양한 영상 처리에 대해 제안한 방법으로 추출된 워터마크 데이터 영상이다.

따라서 제안한 비선형 특성을 이용한 워터마킹 방법



그림 6. Median filtering된 영상(PSNR 24.65dB)
Fig. 6. Image by Median Filtering.



그림 7. JPEG 80% 압축된 영상(PSNR 31.32dB)
Fig. 7. Compressed Image by JPEG 80%.



(a)Median (b)Low-pass (c)Rotation(-25°) (d)Rescaling(50%)



(a)JPEG 80% (b)JPEG 60% (c)JPEG 40% (d)JPEG 20%

그림 8. 다양한 영상 처리 후 추출된 워터마크(원 영상: Barbara image)
Fig. 8. Extracted Watermark after Various Image Processing.

이 일반적인 영상 처리와 손실 JPEG 압축 공격에 대해 강인성을 유지시킬 수 있어 원영상의 소유자를 보다 쉽게 인증할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 공간 영역에서 픽셀 정보의 비선형 특성을 이용하여 워터마크를 삽입하는 디지털 영상 워터마킹을 제안했다. 제안된 방법은 원 영상에 워터마크를 삽입하기 위해 블록 내 픽셀 변화량이 많으면 워터마킹을 강하게 삽입하고, 반면에 픽셀 변화량이 적으면 워터마킹을 약하게 삽입하여 영상 정보에 비선형적으로 워터마킹을 함으로서 적응적 워터마킹 방법과 동일한 화질 손실로 워터마크가 삽입될 때 보다 견고하게

삽입되었다.

실험적 결과를 통해 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법이 적응적 워터마킹 방법 보다 다양한 공격에 대해 강인성을 유지시킬 수 있어 소유권을 명확히 주장할 수 있음을 증명할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Chiou-Ting Hsu, Ja-Ling Wu, "DCT-based watermarking for video", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, Feb 1998, pp. 206~216.
- [2] Marc Schneider and Shih-Fu Chang, "A robust content based digital signature for image authentication", Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 1996, pp. 227~230.
- [3] J. J. K. O'Ruanaih, W J. Dowling, and F M. Boland, "Phase watermarking of digital images", Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, 1996, pp. 239~242.
- [4] J. Ohnishi and K. Matsui, "Embedding a seal into a picture under orthogonal wavelet transform", in Proceeding of Multimedia, 1996, pp. 514~521.
- [5] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A Digital watermark", Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 1, 1994, pp. 86~90.
- [6] K. Matsui and K. Tanaka, "Video-Steganography: How to Embed a Signature in a Picture", in Proceedings of IMA Intellectual Property, Jan. 1994, Vol. 1, NO. 1, pp. 187~206.
- [7] P. Davern and M. Scott, "Fractal based image steganography", in Proceedings of First International Workshop on Information Hiding, 1997, pp. 279~294.
- [8] Gunnar Saanum Gulstad Kristoffer Bruvold, "An Adaptive Digital Image Watermarking Technique For Copyright Protection", ECE178, University of California, 2001.

저 자 소 개



鄭用德(正會員)

1973년 : 조선대학교 전기공학과(공학사). 1986년 : 조선대학교 산업대학원 산업공학과(공학석사). 2001년~현재 : 조선대학교 전자공학과 박사과정. 1977년~현재 : 조선이공대학 컴퓨터정보과 교수. <주관심

분야 : 정보통신, 프로그래밍 언어, 디지털 워터마킹 분야 임>



金正和(正會員)

1979년 : 조선대학교 전자공학과(공학사). 1981년 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1991년 : 숭실대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1979년~현재 : 조선대학교 전자정보통신공학과 교수.

<주관심분야 : 영상처리, 디지털 워터마킹, 신호처리 및 시스템 분야 임>

高成植(正會員) 第38卷 TE編 第2號 參照