

복소 웨이블릿 변환을 이용한 점진적 워터마킹[☆]

Incremental Watermarking using Complex Wavelet Transform

이 나 영* 김 원** 김 관 중*** 김 계 영****
Na-Young Lee Won Kim Kwan-Jung Kim Gye-Young Kim

요 약

일반적으로 디지털 영상의 저작권 보호를 위한 기존의 워터마킹 기법들은 기하학적 왜곡에 약할 뿐 아니라 왜곡의 정도에 관계없이 모든 워터마크 추출에 동일한 시간을 요구한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 복소 웨이블릿 변환을 이용한 점진적 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 점진적 워터마킹 기법은 원 영상을 복소 웨이블릿 변환하여 위상 성분에 워터마크를 삽입하며 워터마크가 삽입된 영상으로부터 단계적으로 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교하여 임계값이상이면 영상에 대한 저작권을 주장할 수 있다. 또한 단계적 워터마크의 추출은 왜곡의 정도와 왜곡정도에 따른 워터마크의 추출시간을 결정할 수 있게 한다. 성능평가를 통하여 본 논문에서 제안한 기법이 기존 웨이블릿 변환 기법보다 기하학적 왜곡에 강함을 증명하였다.

Abstract

Generally, the existing watermarking techniques for copyright protection of a digital image are fragile in geometric distortion and all watermark extractions need the same time regardless of degree of distortion. In this paper, we propose the incremental watermarking technique that used a Complex Wavelet Transform(CWT) in order to solve these problems. The proposed incremental watermarking technique embeds a watermark in a phase component after a CWT with an original image, and a watermark is extracted from an watermarked image by stages. A watermark owner can insist on copyright of an image after comparing a correlation between the extracted watermark and the original watermark if it is larger than the threshold. Also, the incremental watermark extraction determines the extraction time of a watermark by the level of distortion. The proposed technique through performance evaluation displayed that it was robust in geometric distortion than the existing watermarking technique.

Key words : copyright protection, digital watermarking technique, complex wavelet transform, geometric distortion

1. 서 론

정보통신 기술의 발전으로 컴퓨터 네트워크를 이용한 디지털 데이터의 전송이 용이하며 그 수요 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 그러나 멀티미디어 콘텐츠의 복사와 변형이 용이하고 원본과

복사본의 차이가 사라짐에 따라 저작권 문제가 크게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 현재 가장 많이 주목받는 것이 디지털 워터마크 기술이다. 디지털 워터마킹이란 멀티미디어 콘텐츠에 저작자의 서명이나 저작자임을 입증할 수 있는 정보(watermark)를 삽입하여 추후 저작권에 관한 논란이 일어났을 경우 저작권 정보를 추출하여 저작권 문제를 해결하는 방법이다[1].

워터마킹 기법은 크게 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 잡음이나 영상처리 기법에 의하여 워터마크가 손실될 위험부담이 크기 때문에 최근에는 주파수 영역에서 워터마크를

* 준회원 : 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정
nayoung4493@hanmail.net(제1저자)

** 정회원 : 전주기전여자대학 실용예술학부 교수
wkim@kijeon.ac.kr(공동저자)

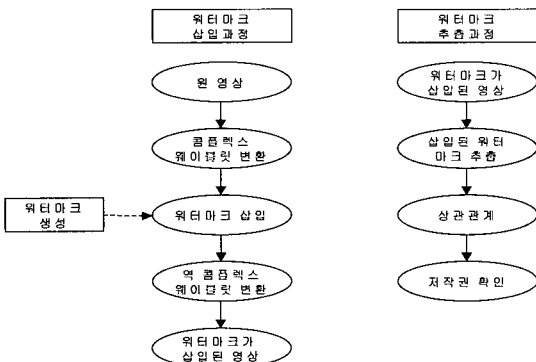
*** 정회원 : 한서대학교 컴퓨터정보학과 조교수
kimkj@hansco.ac.kr(공동저자)

**** 정회원 : 송실대학교 컴퓨터학과 교수
gykim@computing.soongsil.ac.kr(공동저자)

☆ 본 논문은 첨단정보기술연구센터(AITrc)를 통하여 과학재단의 지원을 받았음

삽입하는 방법이 활발히 연구되고 있다[2-5]. 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 디지털 데이터에 DCT(Discrete Cosine Transform), FFT(Fast Fourier Transform), WT(Wavelet Transform)등을 적용하여 변환된 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 특히 웨이블릿 변환은 다해상도 특성과 시간 및 주파수 특성을 동시에 해석할 수 있기 때문에 워터마킹 기법에서 가장 많이 사용된다. 그러나 웨이블릿 변환을 사용하여 워터마크된 영상을 이동할 경우에는 삽입된 워터마크 위치가 이동하여 정확한 워터마크 추출이 어렵게 된다. 따라서 본 논문에서는 웨이블릿 변환이 가지고 있는 문제를 해결할 수 있는 복소 웨이블릿 변환을 이용하여 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적 공격을 했을 때에도 워터마크 추출이 가능한 새로운 워터마킹기법을 제안하였으며 워터마크 추출시 워터마크를 점진적으로 추출함으로써 워터마크의 추출시간을 단축하였다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 워터마킹의 전체 수행과정을 나타낸 블록다이어그램이다. 워터마크의 삽입은 원 영상을 복소 웨이블릿 변환하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입하며 추출은 워터마크된 영상으로부터 점진적으로 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교해서 특정 임계값보다 크면 해당 워터마크의 소유자는 영상에 대한 저작권을 주장할 수 있다.



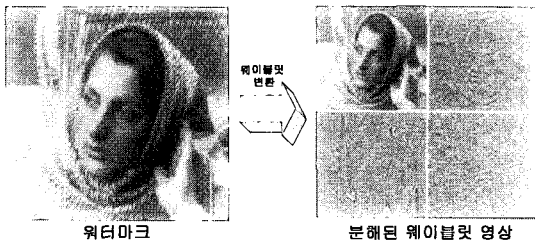
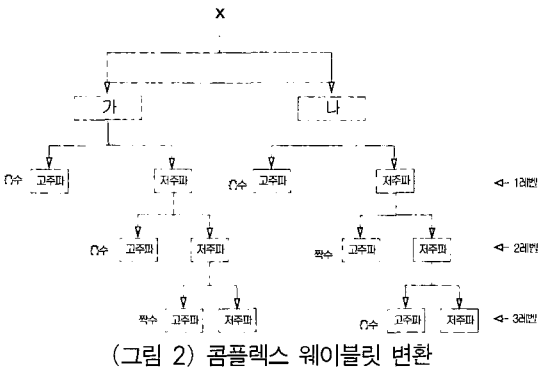
(그림 1) 제안한 워터마크의 추출과 삽입의 수행과정

본 논문은 모두 5절로 구성되며 각 절의 주요 내용은 다음과 같다. 제2절에서는 복소 웨이블릿 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법에 대하여 기술하고, 제3절에서는 삽입된 워터마크를 단계적으로 추출하는 방법에 대하여 설명한다. 그리고 제4절에서 실험 결과 및 성능평가를 수행하고 제5절에서는 결론에 대하여 기술한다.

2. 복소 웨이블릿 영역에서 워터마크 삽입

본 절에서는 복소 웨이블릿 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법에 관하여 기술한다. 웨이블릿 변환은 다해상도 특성과 시간 및 주파수 특성을 동시에 해석이 가능하기 때문에 워터마킹에서 많이 사용된다. 이러한 웨이블릿 변환은 고주파 영역을 제거하는 압축 방식에는 매우 유리하지만 신호를 분석하는데 있어서 다음과 같은 두가지 문제점을 가지고 있다. 첫째는 이동에 의존적인 것이고, 둘째는 웨이블릿 필터가 실수로 분리될 수 있기 때문에 대각선 특성을 가지는 방향성 선택의 문제에서 약한 선택성을 갖지는 것이다. 전자의 경우는 UDWT(Undecimated Discrete Wavelet Transform)으로 해결할 수 있지만 높은 시간 복잡도를 가지며 두 번째 문제는 해결할 수 없다. [6]에서는 영상을 복소 웨이블릿 변환한 후 역 변환할 때 원 영상과 매우 흡사하게 복원되도록 두 개의 트리로 구성된 복소 웨이블릿 변환을 제안하였다. 그림 2는 복소 웨이블릿 변환을 보여준다. 웨이블릿 변환은 하나의 트리로 구성되어있는 반면 복소 웨이블릿 변환은 웨이블릿 계수의 실수부와 허수부로 이루어진 두 개의 트리 형태로 구성되며 이동에 거의 변하지 않도록 두 개의 트리를 사용한다. 본 논문에서는 복소 웨이블릿 변환을 이용하여 선형적인 위상 성분에 워터마크를 삽입한다.

삽입하게 될 워터마크는 명암영상(grey scale image)을 웨이블릿 변환하여 얻어진 계수값을 사용함으



로서 영상에 대한 패턴 유추가 어려워 인위적인 공격에 강인하게 된다. 또한 영상을 주파수 영역으로 변환하면 대부분 중요한 정보가 저주파 영역에 집중하게 되므로 워터마크로 사용하고자는 명암영상을 웨이블릿 변환하여 얻어진 웨이블릿 계수값 중에서 저주파 정보만을 사용함으로써 영상의 크기를 줄일 수 있다. 그림 3은 명암영상을 1-레벨 웨이블릿 변환하였을 때 분해된 신호의 특성에 따른 웨이블릿 영상을 보여준다. 분해된 웨이블릿 영상 중에서 좌측상단에 있는 저주파 영역의 정보만을 사용하여 워터마크를 생성한다.

다음은 기하학적 변형에 강건하도록 워터마크를 삽입하는 단계이다. 본 논문에서는 복플렉스 웨이블릿 변환을 이용해서 3-레벨 웨이블릿 변환하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입하기 때문에 이동, 크기변환, 회전과 같은 기하학적인 변형에도 워터마크 추출이 가능하다. 이를 위하여 기하학적인 변형에 강건하도록 워터마크 삽입할 때, 이동, 크기 변환, 회전에 대한 인자 각각을 $(i_0, j_0), \sigma, \theta$ 로 설정한다.

식 (1)에서 $I(x, y)$ 는 $x \times y$ 크기의 원 영상을 나타내며 $v(i, j)$ 는 원 영상을 복플렉스 웨이블릿 변환(CWT)한 계수값을 나타낸다. 즉 공간 영역에 있는 원 영상을 주파수 영역으로 변환한다.

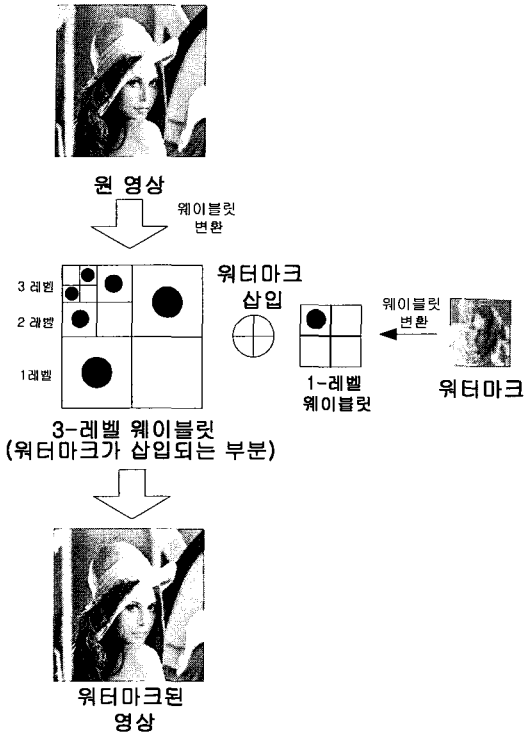
$$v(i, j) = CWT[I(x, y)] \quad (1)$$

식 (2)에서 w 는 워터마크 정보로 명암영상의 웨이블릿 계수값 중에서 저주파 영역에 해당하는 계수값이다. 그리고 α_k 는 각 k 레벨(1~3)마다 워터마크의 크기를 조절하기 위한 스케일 파라미터이다. 본 논문에서 사용한 α_k 의 파라미터는 0~1 사이의 값을 가지며 각 k 레벨마다 다른 값을 사용한다. 영상을 3-레벨 웨이블릿 변환하면 1-레벨에서 3-레벨로 갈수록 최저주파 영역에 가까워진다. 저주파 영역에 워터마크를 삽입하면 시각적으로 영상의 화질 저하가 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 α 값을 작게 조절한다. $\bar{v}_k(i, j)$ 는 원 영상을 복플렉스 웨이블릿 변환한 계수 중에서 위상 성분으로 이동, 크기 변환, 회전에 대한 각각의 파라미터를 가지고 있으며 각 k 레벨에서 임계값(T_k)보다 클 경우에만 워터마크를 삽입한다. $\check{v}_k(i, j)$ 는 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수이다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 워터마크를 삽입 과정을 도식화한 것이다.

$$\begin{aligned} \check{v}_k(i, j) &= \bar{v}_k(i, j) + \alpha_k \cdot w \\ \bar{v}_k(i, j) &= v_k(\sigma(i \cdot \cos \theta + j \cdot \sin \theta + j_0 \cdot \cos \theta) - j_0) \\ \text{where } \bar{v}_k(i, j) &> T_k \end{aligned} \quad (2)$$

3. 점진적 워터마크 추출

기존 방법에서는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 모든 워터마크를 추출하여 원 워터마크와 상관관계를 비교하기 때문에 워터마크 추출 시 많은 계산 양을 필요로 하였다. 본 논문에서는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 단계적으로 워터



마크를 추출하여 원 워터마크와 상관관계를 비교 함으로서 계산시간을 단축하였다.

식 (3)은 인증을 필요로하는 영상으로부터 삽입된 워터마크를 추출하는 방식으로 식 (2)로부터 획득된다. 식 (3)에서 w 는 원 영상으로부터 추출된 워터마크이며 \hat{w} 는 원 워터마크이다.

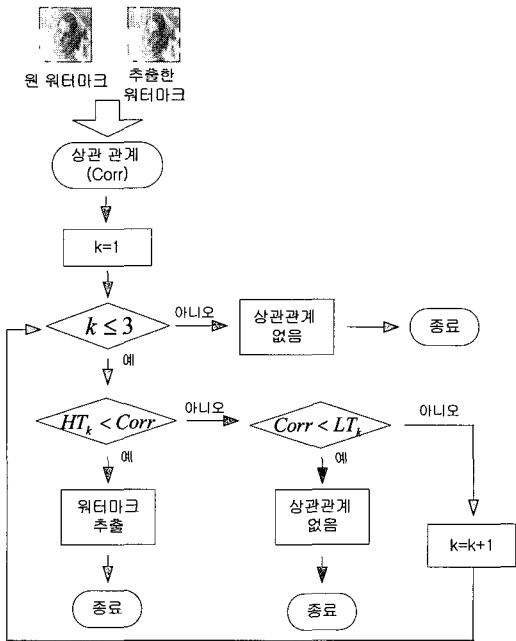
$$\hat{w} = \frac{\hat{v}_k(i, j) - \bar{v}_k(i, j)}{a_k} \blacksquare \quad (3)$$

식 (4)에서 c_{orr} 은 추출된 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교하기 위한 함수이며 각 k 레벨마다 두개의 임계값 (HT_k, LT_k)을 사용한다.

$$C_{orr} = \frac{\sum_y \sum_x w \cdot \hat{w}}{\sum_y \sum_x (w)^2} \blacksquare \quad (4)$$

where $LT_k < c_{orr} < HT_k \blacksquare$

원 영상을 3-레벨 웨이블릿 변환해서 워터마크를 삽입하였다면 워터마크 추출 시 워터마크가 삽입된 영상을 1-레벨 웨이블릿 변환하여 추출한 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교한다. 비교한 상관관계 값이 임계값(HT_1)보다 크다면 추출한 워터마크와 원 워터마크가 동일한 것으로 간주하여 저작권을 인정하며 임계값(LT_1)보다 작을 경우 상관관계가 없다고 간주해서 저작권을 인정하지 않는다. 그리고 상관관계 값이 임계값(HT_1)과 임계값(LT_1) 사이에 존재하면 모호한 것으로 간주하여 워터마크가 삽입된 영상을 2-레벨 웨이블릿 변환해서 워터마크를 추출한다. 이와 같이 계층적으로 추출한 워터마크와 원 워터마크의 상관 관계를 비교하기 위해서 앞 과정을 반복하여 처리함으로써 기존의 높고 확실적인 시간 복잡도를 개선하였다. 영상의 크기가 $n \times n$ 이라하고 영상을 3-레벨 웨이블릿 변환하면 각 k 레벨마다 4개의 (LL_k, HL_k, LH_k, HH_k) 부대역으로 나누어진다고 하자. 먼저 1-레벨 웨이블릿 변환후 워터마크 추출은 HL_1, LH_1 영역에 대해서 수행하므로 추출영역은 $\frac{n^2}{2}$ 이다. 이 영역에서의 상관관계 값이 상한 임계값 (HT_1)을 넘거나 하한 임계값 (LT_1)보다 작으면 종료된다. 상관관계 값이 상한 임계값보다 클려면 원 워터마크와 추출된 워터마크가 매우 유사하다는 것을 의미하는 것이고 이는 인위적 변경이 되어지지 않는 대부분의 영상에서 1-레벨 웨이블릿 변환 후 워터마크 추출이 가능하다는 것을 의미한다. 임계값내에 존재하던 2-레벨 웨이블릿 변환을 시행하게 되고 HL_2, LH_2 영역인 $\frac{n^2}{8}$ 에 대해서 워터마크를 추출하게 된다. 따라서 2-레벨 후 추출영역은 $\frac{5n^2}{8}$ 이다. 2-레벨 웨이블릿 변환으로도 워터마크의 진위여부를 판단할 수 없다면 3-레벨 웨이블릿 변환을 시행하게 된다. 추출영역은 HL_3, LH_3 로 $\frac{n^2}{32}$ 이며 총 추출영역은 $\frac{21n^2}{32}$ 이다. 이 영역은 기존의 웨이

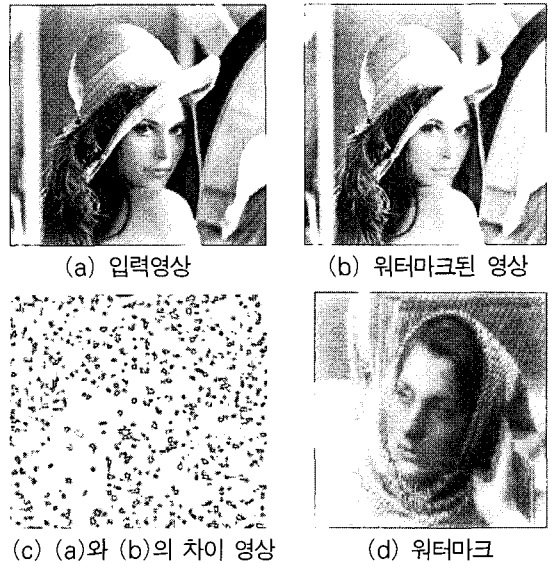


(그림 5) 제안한 워터마크 추출 과정

블릿 변환후 워터마크 추출영역과 동일한 것으로 기존 방법들은 기하학적 변형의 강도에 관계없이 항상 3-레벨 웨이블릿 변환 후 워터마크를 추출한다. 그러나 본 논문에서 제안한 점진적 추출 방법은 기하학적 변형이 없는 대부분의 영상에서 고속추출이 가능하며 기하학적 변형이 매우 심한 최악의 경우에도 기존의 방법과 동일한 성능을 보이게 된다. 또한 변형의 정도에 따라 추출강도를 조절하는 것이 가능하다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 워터마크의 추출과정을 보여준다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 워터마킹 기법이 다양한 영상처리 기법과 기하학적인 변형에 강함을 보이기 위해서 실험을 통해 증명한다. 실험을 위해서 사용한 컴퓨터는 인텔의 Pentium III 1GHz이고 운영체제는 마이크로소프트사의 윈도우 XP를 사용하였으며 컴파일러는 VC++6.0을 사용하였다. 실험영상으로 사용된 원 영상의 크기는 512×512이



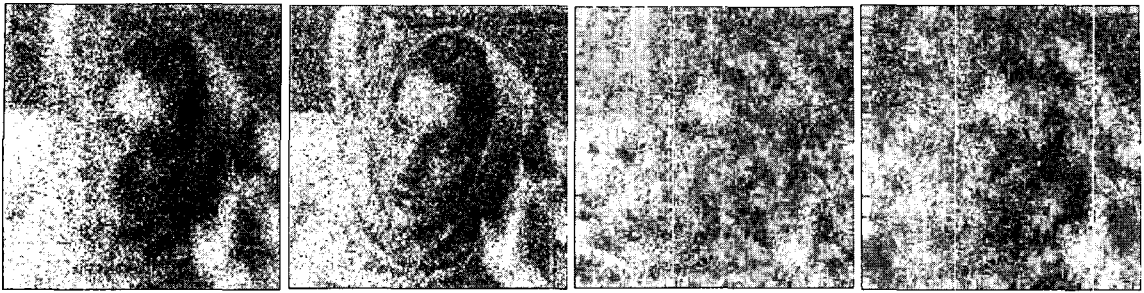
(그림 6) 워터마크 삽입 결과

며 워터마크로 사용된 명암영상의 크기는 32×32인 영상을 사용하였다.

그림 6는 본 논문에서 제안한 복플렉스 웨이블릿 변환을 사용하여 위상 성분에 워터마크를 삽입한 결과를 보여준다. (a)는 원 영상이며 (b)는 복플렉스 웨이블릿 변환을 사용하여 워터마크가 삽입된 영상이다. 그리고 (c)는 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상의 차이를 보여주며 (d)는 워터마크로 사용된 명암영상이다. 실험을 통하여 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상의 차이는 시각적으로 구별되지 않는 것을 알 수 있다.

기하학적인 변형에 강건함을 증명하기 위해서 웨이블릿 변환을 사용한 워터마킹 기법과 본 논문에서 제안한 복플렉스 웨이블릿 변환을 사용한 워터마킹 기법에 동일한 기하학적 공격을 하였다.

그림 7은 웨이블릿 변환을 이용하여 워터마크가 삽입된 영상에 여러 공격을 하였을 때 워터마크의 추출 결과를 보여준다. (a)와 (b)의 경우와 같이 블러링 효과나 잡음을 첨가했을 경우에는 워터마크가 추출되는 것을 알 수 있으나 (c)와 (d)처럼 크기 변화나 회전 그리고 이동을 했을 경우에는 워터마크가 추출되지 않았음을 확인할 수 있다.



(a) 블러링 효과 (b) 잡음 첨가 (c) 우측 아래로 이동 (d) 축소하여 45도 회전
(그림 7) 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 추출 결과



(a) 블러링 효과 (b) 잡음 첨가 (c) 우측 아래로 이동 (d) 축소하여 45도 회전
(그림 8) 복소 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 추출 결과

그림 8은 본 논문에서 제안한 복소 웨이블릿 변환을 사용하여 워터마크가 삽입된 영상에 여러 가지 공격을 하였을 때 워터마크 추출 결과를 보여준다. 공격에 의하여 워터마크가 부분적으로 손상되지만 모든 경우에 워터마크가 추출됨을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법이 이동, 회전, 크기 변환과 같은 기하학적인 변형에 강인함을 확인할 수 있었다.

하도록 하였다. 그리고 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크를 점진적으로 추출하여 상관관계를 비교함으로써 기존 방법의 높고 확실적인 시간 복잡도를 개선하였다.

향후연구과제는 워터마크를 추출할 때, 원 영상을 사용하지 않는 방법에 대한 연구와 동영상과 오디오에도 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 복소 웨이블릿 변환을 이용하여 기하학적인 왜곡에 강건한 워터마킹 기법을 제안하였다. 워터마크 삽입 단계에서는 원 영상을 복소 웨이블릿 변환하여 선형적인 위상 성분 중 중요한 위치에 워터마크를 삽입함으로써 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 왜곡에 강건

참고 문헌

- [1] M. D. Swanson, M. Kobayasi and A. Tewfik : Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies. Proc. Of IEEE, Vol. 86, No. 6, 1998.
- [2] A.Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proceedings of

- ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Oct., 26-29, Vol. I, pp. 520~523, 1997.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, 6, 12, pp. 1673~1687, 1997.
- [4] J. J. K. O' Ruanaidh, W. J. Dowling, F. M. Boland, "Watermarking digital images for copyright protection," *IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing*, 143(4), pp. 250~269, Aug., 1996.
- [5] J. J. K. O' Ruanaidh, T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", *Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Oct., 26-29, Vol. I, pp. 536~539, 1997.*
- [6] Nick Kingsbury, "Image Processing with Complex Wavelets," in *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1997.

● 저자 소개 ●



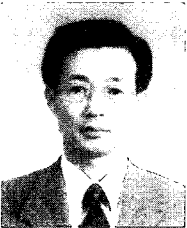
이 나 영

2000년 청운대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사)
2002년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
2003년~현재 : 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정
관심분야 : 컴퓨터비전, 영상 및 신호처리, 워터마크 etc.
E-mail : nayoung4493@hanmail.net



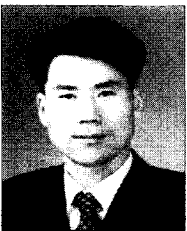
김 원

1988년 송실대학교 전자계산학과 졸업(학사)
1993년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
1997년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
1993년~1995년 송실대학교 전자계산학과 시간 강사
1995년~현재 : 전주기전여자대학 실용예술학부 교수
관심분야 : 멀티미디어 통신, 멀티미디어 저작권 보호 etc.
E-mail : wkim@kijeon.ac.kr



김 관 중

1983년 송실대학교 전자계산학과 졸업(학사)
1988년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
1998년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
1997년~현재 : 한서대학교 컴퓨터정보학과 조교수
관심분야 : 컴퓨터구조, 마이크로프로세서, 병렬처리, VLS 설계 etc.
E-mail : kimkj@hanseo.ac.kr



김 계 영

1990년 송실대학교 전자계산학과 졸업(학사)
1992년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
1996년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
1996년~1997년 한국전자통신연구원(Post Doc.)
1997년~2001년 한국전력공사 전력연구원(선임연구원)
2001년~현재 : 송실대학교 컴퓨터학과 교수
관심분야 : 컴퓨터비전, 형태인식, 생체인식, 증강현실, 영상 및 신호처리 etc.
E-mail : gykim@computing.soongsil.ac.kr