

할선법의 FP-ICA를 이용한 기하학적 변형에 강건한 디지털영상 워터마킹

조 용 현[†]

요 약

본 논문에서는 할선법에 기초한 고정점 알고리즘의 ICA를 이용하여 기하학적 변형에 강건한 디지털 영상의 워터마킹을 제안하였다. 여기서 할선법의 고정점 알고리즘은 빠르면서도 개선된 추출성능을 얻기 위함이고, ICA의 이용은 검출 및 추출 과정에서 워터마크의 위치나 크기 등과 원본 및 키 영상에 대한 사전 지식의 요구를 없애기 위함이다. 제안된 기법을 256×256 픽셀의 원 영상(레나), 키 영상, 그리고 문자 워터마크 및 가우스잡음 워터마크에 각각 적용한 결과, 뉴턴법의 고정점 알고리즘 ICA 워터마킹보다 빠른 추출시간과 개선된 추출성능이 있음을 확인하였다. 또한 제안된 할선법의 고정점 알고리즘 ICA에 의한 워터마킹은 크기와 회전 및 자름과 같은 기하학적 변형에 견고한 성능이 있음을 확인하였다. 특히 영상들 상호 간에 상관성이 적은 가우스잡음 워터마크가 문자 워터마크에 비해 우수한 추출성능이 있음도 확인하였다. 한편 워터마크의 검출 및 추출과정에 원본 영상들에 대한 사전지식도 요구되지 않았다.

Robust Watermarking for Digital Images in Geometric Distortions Using FP-ICA of Secant Method

Yong-Hyun Cho[†]

ABSTRACT

This paper proposes a digital image watermarking which is robust to geometric distortions using an independent component analysis(ICA) of fixed-point(FP) algorithm based on secant method. The FP algorithm of secant method is applied for better performance in a separation time and rate, and ICA is applied to reject the prior knowledges for original image, key, and watermark such as locations and size, etc.. The proposed method embeds the watermark into the spatial domain of original image. The proposed watermarking technique has been applied to lena, key, and two watermarks(text and Gaussian noise) respectively. The simulation results show that the proposed method has higher speed and better rate for extracting the original images than the FP algorithm of Newton method. And the proposed method has a watermarking which is robust to geometric distortions such as resizing, rotation, and cropping. Especially, the watermark of images with Gaussian noise has better extraction performance than the watermark with text since Gaussian noise has lower correlation coefficient than the text to the original and key images. The watermarking of ICA doesn't require the prior knowledge for the original images.

키워드 : 워터마킹(Watermarking), 할선법(Secant Method), 고정점 알고리즘(Fixed-point Algorithm), 독립성분분석(Independent Component Analysis), 기하학적 변형(Geometric Distortions)

1. 서 론

디지털 네트워크, 디지털 도서관, 그리고 웹 등의 빠른 보급에 따라 디지털컨텐츠의 보급이 용이해지고, 이들의 불법적인 복사나 수정, 그리고 전송 등이 문제로 대두되고 있다[1-4]. 이러한 디지털 컨텐츠의 보호를 위해서는 인증을 이용한 접속 제어, scrambling이나 암호화를 이용한 사용제어, 그리고 워터마킹(watermarking)을 이용한 내용제어 방법이 이용된다[1, 2]. 일반적으로 워터마킹은 저작권 보호나 복사자의 추적, 그리고

내용의 조작이나 변경 등을 확인하는데 널리 이용되고 있다. 특히 디지털 워터마킹 기술은 DVD(digital video disk)와 VOD(video on demand) 등의 표준화에도 사용될 전망이어서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

디지털 컨텐츠 보호를 위한 워터마킹 기술은 다음과 같은 필요조건들을 만족하여야 한다[1-4]. 첫째는 비가시성으로 워터마크의 삽입에 의해 원 영상의 화질이 저하되지 않아야 한다. 이는 화질의 저하가 영상의 가치를 하락시키는 요인이 되기 때문이다. 일반적으로 워터마크의 삽입량이 많으면 화질이 저하되고 견고성은 증가하며, 그렇지 않으면 상반된 결과가 나타나게 된다. 둘째는 견고성으로 여러 가지 영상처리에도

[†] 정 회 원 : 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
논문접수 : 2004년 10월 4일, 심사완료 : 2004년 10월 27일

워터마크 정보는 그대로 유지되어야 하는 것이다. 예를 들면, JPEG 압축, 기하학적 변환(회전, 잘림, 축소/확대 등), 저역/고역 필터링 등의 영상신호 변화에도 워터마크 신호의 손상은 적어야 한다. 셋째는 유일성으로 영상의 저작자나 사용자가 유일하게 특정되어야 하는 것이다. 이는 워터마크가 삽입된 영상의 조작에 따른 워터마크의 모호성에 주로 의존한다. 넷째는 보안성으로 정확한 키(key)를 알아야 워터마크의 검출과 추출이 가능한 것이다. 이는 관련 알고리즘이 공개되어도 키를 알아야 워터마크의 추출을 가능하여 불법적인 사제나 변경이 불가능하도록 하는 것이다. 이상의 필요조건 외에도 무결성 등과 같은 조건들이 추가로 요구된다.

워터마킹은 워터마크 삽입과정과 검출 및 추출 과정으로 구성된다. 삽입과정은 원 영상에 워터마크를 삽입하는 과정이며, 검출과정은 워터마크의 존재여부를 확인하는 과정이고, 추출 과정은 삽입된 워터마크를 원래의 워터마크로 재구성하는 과정이다. 특히 검출 및 추출 과정에는 워터마크의 위치나 크기 등에 대한 사전 지식이 요구되며, 원 영상과 키에 대한 지식도 요구되고 있다. 따라서 on-line 상에서 워터마킹을 이용하기 위해서는 이들에 대한 사전 지식이 없이도 워터마크의 검출과 추출이 가능하도록 하여야 한다.

한편 독립성분분석(independent component analysis : ICA)은 신호의 통계적 성질을 고려한 다차원의 선형변환 기법이다 [5-9]. 이는 비가우스 분포의 신호분석에 이용되는 기법으로 주요성분분석(principal component analysis : PCA)의 제약을 해결하기 위한 것이다. ICA는 통신이나 신호 및 영상 처리 등에서 은닉신호분리(blind source separation : BSS)나 특징추출에 널리 이용되고 있다. 특히 BSS는 혼합된 신호로부터 원래의 신호를 추출하는 것으로 다양한 분야에 응용될 수 있다.

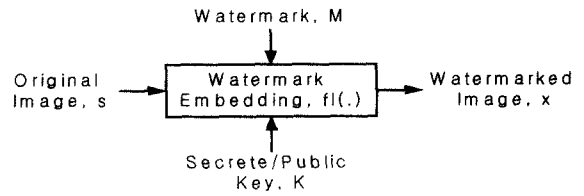
본 연구에서는 할선(secant)법[9, 10]에 기초한 고정점(fixed-point : FP) 알고리즘의 ICA를 이용하여 기하학적 변형에 강건한 디지털 영상의 워터마킹 방안을 제시한다. 여기서 할선법의 FP 알고리즘은 빠른 추출과 우수한 추출성능을 얻기 위함이고, ICA의 이용은 워터마크의 검출과 추출 과정에 워터마크의 위치나 크기, 원 영상과 키 등에 대한 사전지식의 요구를 없애기 위함이다. 제안된 기법을 256×256 픽셀(pixel)을 가지는 원본 영상에 적용하여 그 타당성과 성능을 확인하였으며, 기존의 뉴우턴(Newton)법에 기초한 FP 알고리즘과도 성능을 비교·검토하였다. 또한 크기, 회전, 자름과 같은 기하학적 변환에 대한 견고성을 분석하였다.

2. 워터마킹

저작권 정보나 사용자 정보 등의 워터마크를 디지털 정보 내에 삽입하는 정보은닉에 기반을 둔 워터마킹은 삽입과 검출 및 추출과정으로 구성된다[1, 2].

먼저 워터마크 삽입은 워터마크와 키를 원 영상에 삽입하는

과정으로 결과는 워터마크된(워터마크가 삽입된) 영상 x 가 얻어진다. 다음의 (그림 1)은 삽입과정을 도시한 것이다. 여기서 워터마크와 키 신호가 삽입되는 원 영상의 영역에 따라 공간영역과 주파수 영역의 워터마킹으로 나누어진다. 원 영상의 픽셀을 직접 조작하는 공간영역의 워터마킹은 구현이 용이하고 이동과 자름(cropping)에 강하나 압축이나 필터링(filtering) 등에 비교적 약한 특성을 가진다. 반면에 주파수 영역의 워터마킹 대부분은 신호처리 공격에 더 강하나 주파수 변환과 역변환에 따른 계산이 요구되는 제약이 있다.



(그림 1) 워터마크 삽입과정

공간영역의 삽입에는 단순히 원 영상, 워터마크, 그리고 키 신호의 선형적 결합이나 convolution을 이용한다. 삽입을 위한 선형결합은 다음 식 (1)과 같다.

$$x = s + aK + bM \tag{1}$$

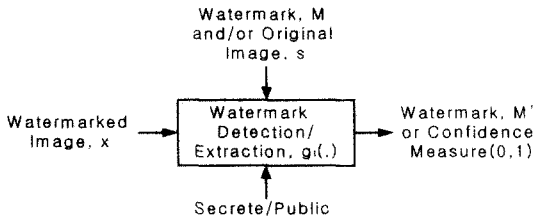
여기서 s, K, M 은 각각 원 영상, 키 신호, 워터마크이고, a 와 b 는 각각 작은 가중치들이다. 식 (1)의 선형결합에서는 삽입된 키 신호와 워터마크가 보이지 않도록 하기 위하여 원 영상의 에너지보다 충분히 작은(보통 10~100배정도) 에너지의 키 신호와 워터마크를 이용한다. 이를 위한 방법으로 가중치 a 와 b 는 작은 값을 취한다. 또한 convolution을 이용하는 방법은 다음 식 (2)와 같다.

$$x = s + aK + b * M \tag{2}$$

여기서도 a 는 작은 가중치이고, b 는 이용되는 필터의 계수이며, $*$ 는 convolution을 나타낸다. 식 (2)의 convolution 방법에서는 주로 2차원 필터가 이용되며, 계수 b 를 가진 필터의 크기에 따라 워터마킹의 성능도 달라진다. 본 연구에서는 구현이 용이한 식 (1)의 선형결합에 의한 공간영역에 기반을 둔 워터마크 삽입알고리즘을 이용한다.

다음으로 워터마크 검출 및 추출과정에서 검출은 워터마크된 영상으로부터 워터마크의 존재 여부를 확인하는 과정이며, 추출은 삽입된 워터마크를 추출하여 원래의 형태로 재구성하는 과정이다. 일반적으로 추출과정에 검출과정은 포함되어 이루어진다. (그림 2)는 비공개와 공개의 워터마크 추출과정을 도시한 것이다. 여기서 비공개 추출은 워터마크된 영상, 원 영상, 키 신호를 입력신호로 하여 추출 알고리즘에 의해 워터마크를 추출하는 형태이다. 또 다른 형태로는 이상의 3가지 입

력신호에다 원래의 워터마크를 동시에 이용하여 워터마크 존재 유무의 확신척도인 1과 0을 추출하는 형태도 가능하다. 또한 공개 추출은 그림에서 워터마크된 영상과 키 신호만을 입력으로 하여 추출 알고리즘에 의해 워터마크를 추출하는 형태이다.



(그림 2) 워터마크 검출/추출과정

일반적으로 기존의 워터마킹에서는 워터마크의 검출과 추출 과정에 상관검출기(correlation detector)를 이용하고 있다. 하지만 상관검출기에서 신호의 상관성 계산을 위해서는 원 영상이나 키 신호에 대한 사전지식이 요구된다. 특히 비공개 추출에서는 이들 입력신호에 대한 사전지식이 반드시 요구되어 워터마킹을 on-line으로 이용할 수 없는 제약이 있다. 따라서 입력신호들에 대한 별도의 사전지식 없이 워터마크의 검출과 추출이 가능한 추출 알고리즘의 제안이 요구된다.

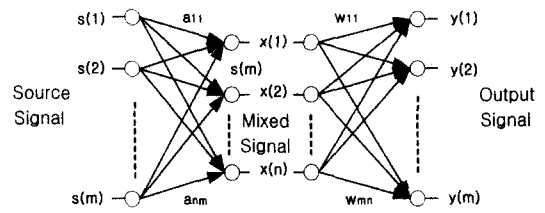
3. 할선법의 고정점 알고리즘 ICA에 의한 워터마킹

은닉신호의 분리나 특징추출에 널리 이용되고 있는 ICA는 m개의 입력신호 s로부터 선형적으로 혼합된 n개의 혼합신호 x가 알려져 있을 때, 혼합된 신호로부터 역으로 m개의 독립인 입력신호를 찾는 기법이다[6-9]. 하지만 입력신호들을 혼합하는데 이용된 혼합행렬 A는 알려져 있지 않으며, 혼합과정에서 잡음 N이 추가 될 수도 있다. 이때 혼합신호와 입력신호와의 관계는 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{n} = \sum_{i=1}^m s(i)\mathbf{a}(i) + \tilde{\mathbf{N}} \quad (3)$$

여기서 N은 보통 입력신호와 구별되지 않기 때문에 생략할 수도 있으며, $\mathbf{A} = [\mathbf{a}(1), \mathbf{a}(2), \dots, \mathbf{a}(m)]$ 으로 a(i)는 ICA의 basis vector이다. 결국 ICA는 알려진 혼합신호로부터 혼합행렬의 역행렬 $\mathbf{A}^{-1}(=\mathbf{W})$ 을 찾는 기법으로 혼합행렬 A와 역혼합행렬 W에 대하여 상세히 살펴보면 다음 (그림 3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s}$ 이고, $\mathbf{y} = \mathbf{W}\mathbf{x}$ 이다.

일반적으로 좀 더 효과적인 ICA를 위해 영평균과 whitening의 전처리 과정을 수행한다[6, 7]. 신호의 영평균은 신호벡터 x에서 평균값 \mathbf{x}^* 를 뺀 차로 식 (4)와 같다.



(그림 3) 혼합행렬과 역혼합행렬의 구성도

$$\mathbf{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^* \quad (4)$$

whitening은 신호 x의 공분산행렬을 단위행렬 $E(\mathbf{x}\mathbf{x}^T)=I$ 가 되도록 한다. 이를 위해 PCA가 널리 이용되며, 이때의 PCA에 의한 whitening 행렬 V는 다음 식 (5)가 된다[7].

$$\mathbf{V} = \mathbf{D}^{(-1/2)}\mathbf{E}^T \quad (5)$$

여기서 D는 고유값으로 구성되는 대각행렬이며, E는 고유벡터로 구성되는 직교행렬이다.

한편 독립성분분석을 위한 엔트로피(entropy) 최적화에 기초한 FP 알고리즘은 알려진 기법 중 가장 빠른 학습속도를 가진다[8]. 이는 신호 내에 포함된 상호정보를 최소화함으로써 ICA의 해를 구하는 기법이다. 특히 FP 알고리즘은 한 단계에 많은 수의 데이터들이 이용되는 batch mode로 계산을 수행하며, 신경망으로 구현될 수 있는 알고리즘이다. 이러한 FP 알고리즘을 위한 역혼합행렬 W 경신에는 기존의 수치적 계산법인 뉴우턴법이나 할선법이 이용된다. 뉴우턴법의 FP 알고리즘에 의한 근사화된 반복기법의 역혼합행렬 W 경신식은 다음 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}^+ &= \mathbf{W} - [E\{\mathbf{x}g(\mathbf{W}^T\mathbf{x})\} - \beta\mathbf{W}] / [Eg'(\mathbf{W}^T\mathbf{x}) - \beta], \\ \mathbf{W}^* &= \mathbf{W}^+ / \|\mathbf{W}^+\| \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 W+는 W의 새롭게 경신된 값이고, $\beta = E\{\mathbf{W}^T\mathbf{x}g(\mathbf{W}^T\mathbf{x})\}$ 이다. 한편 할선법의 FP 알고리즘에 의한 근사화된 반복기법의 역혼합행렬 W 경신식은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} f(\mathbf{W}^*) &= [E\{\mathbf{x}g(\mathbf{W}^{*T}\mathbf{x})\} - \beta\mathbf{W}^*] \\ f(\mathbf{W}) &= [E\{\mathbf{x}g(\mathbf{W}^T\mathbf{x})\} - \beta\mathbf{W}] \\ \mathbf{W}^+ &= \mathbf{W} - f(\mathbf{W}) / \{f(\mathbf{W}) - f(\mathbf{W}^*)\} \\ \mathbf{W}^* &= \mathbf{W}^+ / \|\mathbf{W}^+\| \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 W+는 바로 전에 계산된 W의 값이다. 또한 식 (6)과 식 (7)의 경신식에서 g(·)는 비선형함수로 (·)³과 tanh(·)의 함수를 이용한다. 여기서 (·)³를 이용하였다.

식 (7)에서의 할선법은 현재의 함수 값과 바로 이전의 함수 값만을 이용하여 해를 구할 수 있어 식 (6)의 뉴우턴법에서처럼 1차 미분 계산이 요구되지 않는다. 이는 할선법의 FP가 뉴우턴법의 FP에 비해 상대적으로 빠른 성분분석 시간과 좀 더

정확한 성분분석을 가능하게 하는 것이다[9].

따라서 ICA가 가지는 은닉성분분석의 속성을 이용하면 워터마크된 영상으로부터 워터마크와 원 영상, 그리고 키 신호의 분리가 가능하다[5]. 워터마크된 영상들을 입력으로 ICA를 수행함으로써 은닉되어 있는 원 영상, 워터마크, 그리고 키 신호들을 추출할 수 있다. 여기서는 기존의 워터마크 검출 및 추출에서 요구되는 원 영상이나 키 신호, 워터마크 등의 사전지식을 요구하지 않는다. 결국 ICA를 이용하면 워터마크된 신호로부터 별도의 키 신호에 대한 정보없이 공개적으로 워터마크를 추출할 수 있다. 이를 위해 ICA에서 입력신호의 개수는 원본 신호의 수와 같거나 그 이상이어야 한다[6-8]. 이를 위해 본 논문에서는 식 (1)의 워터마크된 영상에 키 신호와 원 영상 각각을 다시 더한 3개의 입력영상을 다음 식 (8)과 같이 생성하였다.

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}, \quad \mathbf{x}_2 = \mathbf{x} + c\mathbf{K}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{x} + d\mathbf{s} \quad (8)$$

여기서 c 와 d 는 임의의 작은 실수값이다.

따라서 제안된 워터마킹의 수행과정을 요약하면 다음과 같다.

- 단계 1 : 워터마크와 키 신호를 생성한다.
- 단계 2 : 선형결합에 의해 원 영상에 워터마크와 키 신호를 삽입한다.
- 단계 3 : 워터마크된 영상을 이용하여 식 (8)을 이용하여 3개의 신호를 생성한다.
- 단계 4 : 생성된 신호들을 영평균과 whitening의 전처리를 수행한다.
- 단계 5 : 할선법의 고정점 알고리즘 ICA를 수행한다.
 - (1) $\mathbf{W}(0) = \text{rand}(\cdot)$ 로 설정한다.
 - (2) $\mathbf{W} = \mathbf{W}(0) / \|\mathbf{W}(0)\|$ 계산한다.
 - (3) $\mathbf{W}^* = 0$ 로 설정한다.
 - (4) $\|\mathbf{W} - \mathbf{W}^*\| > \epsilon$ 이고 $\|\mathbf{W} + \mathbf{W}^*\| > \epsilon$ 이면 경신식 (7)에 따라 \mathbf{W} 를 경신하고, 그렇지 않으면 단계 5를 종료한다.
- 단계 6 : 구해진 역혼합행렬 \mathbf{W} 로부터 원 영상, 워터마크, 키 신호를 구성한다.
- 단계 7 : 필요에 따라 추출된 워터마크의 인증을 수행한다.

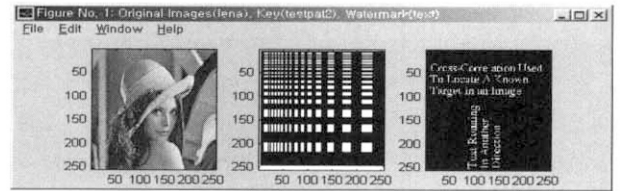
4. 실험 및 결과고찰

할선법의 고정점 알고리즘 ICA를 이용한 제안된 워터마크 기법의 타당성과 성능을 평가하기 위해 레나(lena)의 원 영상과 시험패턴의 키 영상을 이용하여 실험하였다. 이때 워터마크는 문자영상과 잡음영상을 각각 이용하였다. 추출된 원 영상, 워터마크, 그리고 키 영상의 성능을 평가하기 위해 각 영상의 평균절대오차(mean absolute error : mae)와 정규상관계수(normalized correlation coefficient : ncc)

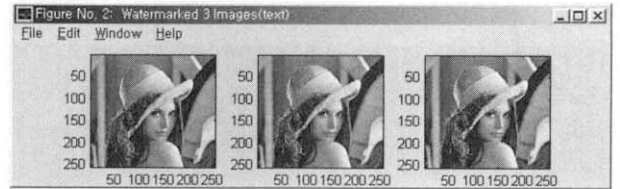
를 각각 정의하였다. 여기서 $\text{mae} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} |x_i - y_i|$ 와 $\text{ncc} =$

$\frac{\sum_{i=1}^{N^2} x(i)y(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} x(i)^2 \sum_{i=1}^{N^2} y(i)^2}}$ 로 정의하였다. x_i 와 y_i 는 각각 원본영상과 추출영상의 i 번째 픽셀값이며, N^2 은 픽셀의 총수이다. 시뮬레이션은 펜티엄IV-2.2G 컴퓨터 상에서 Matlab 5.1로 실행하였다.

(그림 4)는 워터마크 삽입전의 256×256 픽셀의 원 영상, 키 영상, 워터마크(문자)를 이용하여 식 (8)의 선형결합에 의해 생성된 워터마크된 영상을 각각 나타낸 것이다. 특히 (그림 4)(b)의 워터마크된 영상들에서 워터마크와 키 영상에 대한 정보는 알 수 없으며, 워터마크의 삽입에 따른 원 영상의 화질 저하도 보이지 않는다. 좀 더 효과적인 ICA를 위해 워터마크된 영상들을 영평균과 whitening한 후 이용하였다.



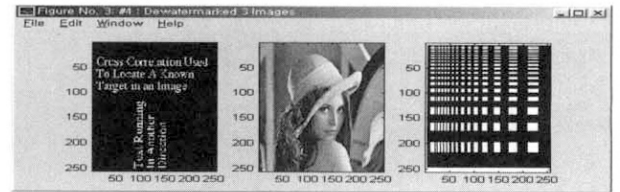
(a) 원본 영상(원 영상, 키 영상, 워터마크(문자))



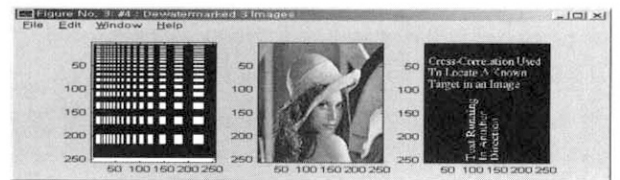
(b) 워터마크된 영상

(그림 4) 문자 워터마크를 포함한 256×256 픽셀 영상

(그림 5)는 (그림 4)(b)의 워터마크된 영상들로부터 뉴우턴법과 할선법의 FP 알고리즘 ICA(FP-ICA)를 각각 수행하여 추출한 영상들이다. 그림에서 보면 영상들의 추출순서가 두 기법 상호간 및 원본영상과 일치하지 않음을 알 수 있다. 이는



(a) 뉴우턴법(워터마크, 원 영상, 키 영상)



(b) 할선법(키 영상, 원 영상, 워터마크)

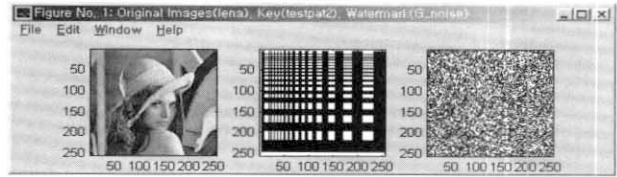
(그림 5) 독립성분분석에 의해 추출된 영상들

ICA에서 독립성분을 추출할 때 순서를 고려하지 않는 속성이 반영되었기 때문이다. 원본영상과 추출된 영상을 순서에 맞추어 서로 육안으로 비교하면 상당히 유사함을 알 수 있다. 추출된 영상들은 각각 워터마크된 영상의 독립성분들이며, 여기서 원본영상들을 분리하는데 소요되는 알고리즘의 총 반복수는 뉴우턴법의 경우 약 20회, 활선법의 경우는 약 11회 각각 소요되었다.

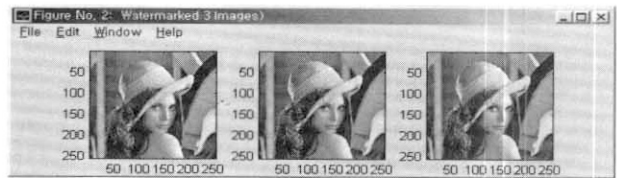
한편 <표 1>은 워터마크된 영상을 대상으로 뉴우턴법과 활선법의 FP-ICA를 각각 50회 시행한 후 학습반복수 n, CPU 시간인 추출시간 t, 평균절대오차 mae, 그리고 정규상관계수 ncc의 평균을 나타낸 것이다. 정규상관계수의 경우는 $-1 \leq ncc \leq 1$ 의 범위로 -1은 원래 영상과 추출된 영상사이의 부호가 반대임을 의미하며, 1은 완전한 일치이고 0은 상관성이 전혀 없음을 의미한다. 표에서 활선법은 뉴우턴법과 동일한 약 0.9995의 평균 정규상관계수를 가지나, 평균절대오차에서는 3개의 원본영상 모두에 대해 약 0.2693과 약 0.0573으로 약 4.7배 정도 개선된 정도를 보인다. 이는 활선법이 뉴우턴법에 비해 좀 더 정확한 영상 추출성능이 있음을 보여 주는 것이다. 또한 두 방법 모두의 ncc는 평균 0.9995로 아주 우수한 워터마크 추출성능이 있음을 알 수 있다. 일반적으로 워터마크의 추출에서 정규상관계수가 0.7이상이면 우수한 추출성능이 있는 것으로 알려져 있다[2]. 한편 3개의 원본 영상들을 모두 분리하는데 소요되는 학습반복수와 추출시간은 뉴우턴법과 활선법 각각에서 약 18.3회와 약 4.08초 및 약 14.4회와 약 3.87초가 소요됨을 알 수 있다. 결국 학습반복수와 추출시간에서 활선법은 뉴우턴법에 비해 평균적으로 약 1.3배와 약 1.1배 정도 각각 개선되었다. 이는 활선법의 FP-ICA 워터마킹이 뉴우턴법의 FP-ICA 워터마킹보다 우수한 추출성능과 원본 영상들의 빠른 추출속성을 보여준다. 또한 뉴우턴법에서는 원 영상이 활선법에서는 키 영상의 추출시간이 가장 오래 걸림도 알 수 있다. 결국 제안된 활선법의 FP-ICA 워터마킹 기법에 의해 빠르면서도 정확하게 워터마크, 키 영상, 원 영상의 추출이 가능함을 알 수 있다.

(그림 6)은 256×256 픽셀의 원 영상, 키 영상에 워터마크로 가우스잡음(평균=0, 분산=0.01)을 사용한 원본 영상과 선형결합에 의한 워터마크된 영상을 나타낸 것이다. 여기에서도 (그림 4)(b)에서처럼 워터마크된 영상들에는 워터마크와 키 영상에 대한 정보를 알 수 없으며, 워터마크의 삽입에 따른 원 영

상의 화질저하도 보이지 않는다. 또한 원본영상의 전처리로 영평균과 whitening을 수행하였다.



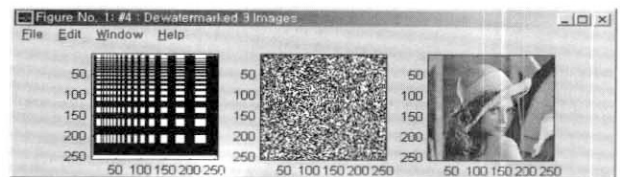
(a) 원본 영상(원 영상, 키 영상, 워터마크(가우스잡음))



(b) 워터마크된 영상

(그림 6) 가우스잡음 워터마크를 포함한 256×256 픽셀 영상

(그림 7)도 (그림 6)(b)의 3개 워터마크된 영상들로부터 뉴우턴법과 활선법의 FP-ICA 각각에 의해 워터마킹 기법으로 추출된 영상들이다. 여기에서도 영상들의 추출순서가 두 기법 상호간 및 원본 영상과 일치하지 않으며, 특히 활선법의 경우 추출된 레나의 원 영상은 부호도 반대임을 알 수 있다. 이 또한 ICA에서의 독립성분 추출순서와 부호를 고려치 않는 속성 때문이다. 특히 원본 영상들과 추출된 영상들을 순서에 맞추어 서로 비교하면 상당히 정확하게 추출되었음을 알 수 있다.



(a) 뉴우턴법(키 영상, 워터마크, 원 영상)



(b) 활선법(워터마크, 원 영상, 키 영상)

(그림 7) 독립성분분석에 의해 추출된 영상들

<표 1> 문자워터마크에서 FP-ICA에 의한 추출성능

원본 영상	뉴우턴법의 FP 알고리즘				활선법의 FP 알고리즘			
	학습반복수, n	추출시간, t	평균절대오차, mae	정규상관계수, ncc	학습반복수, n	추출시간, t	평균절대오차, mae	정규상관계수, ncc
원 영상	8.4	1.87	0.0552	0.9993	6.4	1.72	0.0227	0.9993
키 영상	5.2	1.16	0.0258	0.9992	6.8	1.83	0.0234	0.9993
워터마크	6.7	1.49	0.1883	0.9999	1.2	0.32	0.0112	0.9999
계/평균	18.3/6.1	4.08/1.36	0.2693/0.0898	0.9995	14.4/4.8	3.87/1.29	0.0573/0.0191	0.9995

〈표 2〉 가우스 잡음 워터마크에서 FP-ICA에 의한 추출성능

원본 영상	뉴우턴법의 FP 알고리즘				할선법의 FP 알고리즘			
	학습반복수, n	추출시간, t	평균절대오차, mae	정규상관계수, ncc	학습반복수, n	추출시간, t	평균절대오차, mae	정규상관계수, ncc
원 영상	10.4	2.32	0.0064	0.9999	2.8	0.85	0.0307	0.9992
키 영상	2.6	0.58	0.0388	0.9989	2.6	0.79	0.0167	0.9996
워터마크	3.1	0.69	0.0042	0.9999	5.8	1.82	0.002	0.9999
계/평균	16.1/5.37	3.59/1.2	0.0494/0.0165	0.9996	11.4/3.8	3.46/1.15	0.0494/0.0165	0.9996

원본 영상들을 분리하는데 소요되는 뉴우턴법과 할선법의 알고리즘 각각의 총 반복수는 약 19회와 약 11회 각각 소요되었다.

〈표 2〉도 뉴우턴법과 할선법의 FP-ICA를 각각 50회 시행하고, 그에 따른 학습반복수 n, 추출시간 t, 평균절대오차 mae, 그리고 정규상관계수 ncc의 평균을 나타낸 것이다. 여기서 원 영상의 ncc는 절대값으로 계산된 값을 나타낸 것이다. 표에서도 할선법은 뉴우턴법과 평균적으로 동일한 평균절대오차와 정규상관계수를 가진다. 이는 두 방법에 의한 원본영상들의 추출성능은 동일하며, 두 방법 모두 우수한 워터마크 추출성능이 있음을 알 수 있다. 그러나 뉴우턴법에서는 키 영상이 할선법에서는 원 영상이 다른 영상에 비해 추출성능이 다소 떨어짐을 알 수 있다. 한편 학습반복수와 추출시간에서 뉴우턴법과 할선법은 각각 약 16.1회와 약 3.59초 및 약 11.4회와 약 3.46초 정도 소요되었다. 그러므로 할선법은 뉴우턴법에 비해 학습반복수와 추출시간에서 약 1.4배와 약 1.1배 정도 각각 개선되었다. 이는 동일한 추출성능에서 할선법이 뉴우턴법의 FP-ICA에 의한 워터마크보다 빠르게 원본 영상들을 추출할 수 있음을 알 수 있다. 또한 뉴우턴법에서는 원 영상이 할선법에서는 워터마크의 추출 시간이 가장 오래 걸림도 알 수 있다. 따라서 제안된 할선법의 FP-ICA 워터마킹 기법은 빠르면서도 정확하게

워터마크, 키 영상, 그리고 원 영상을 추출할 수 있다.

한편 (그림 8)은 (그림 4)의 워터마크된 영상들이 기하학적 공격에 따라 변형된 영상들을 나타낸 것이다. (그림 8)(a)는 워터마크된 영상에서 크기가 각각 0.25배(64×64 픽셀)와 5배(1280×1280 픽셀)로 변화된 크기변형의 공격 예를 나타낸 것이며, (그림 8)(b)는 180도 변형된 것으로 회전변형의 공격 예를 각각 나타낸 것이다. 또한 (그림 8)(c)는 (0, 0) 좌표에서 (196, 196) 좌표사이의 197×197 픽셀 영상을 나타낸 자름공격의 예를 나타낸 것이다. 여기에서도 전처리과정으로 영평균과 whitening을 수행하였다.

(그림 9)는 (그림 8)의 크기, 회전, 자름의 기하학적 공격에 따라 변형된 영상을 대상으로 제안된 할선법의 FP-ICA를 적용하여 추출한 영상들이다. (그림 9)(a), (그림 9)(b), (그림 9)(c)는 각각 5배 확대된 크기 공격, 180도 회전 공격, 197×197 픽셀의 자름 공격으로부터 추출된 원본 영상들이다. 여기서도 ICA가 가지는 추출순서의 비교려성은 그대로 반영되었으며, 원본 영상과 추출된 영상들을 순서에 맞추어 육안으로 서로 비교하면 이들 모두 상당히 정확하게 추출되었음을 알 수 있다. 추출된 영상들은 각각 워터마크된 영상의 독립성분들이며, 여기서 원본 영상들을 분리하는데 소요되는 알고리즘의 총 반복수는 13회, 16회, 18회 각각 소요되었다.



(a) 크기(0.25배, 5배)



(b) 회전(180도)

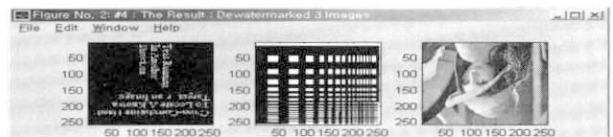


(c) 자름(197×197픽셀)

(그림 8) 기하학적 공격에 따라 변형된 워터마크된 영상들



(a) 5배 확대



(b) 180도 회전



(c) 197×197픽셀 자름

(그림 9) 제안된 워터마킹에 의해 추출된 영상들

한편 <표 3>은 워터마크된 영상들의 크기변형에 따른 할선법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹의 실험결과를 나타낸 것이다. 표에서도 3개의 원본 영상 각각의 정규상관계수를 보면 모두 0.99이상의 매우 높은 정합도를 보인다. 특히 워터마크의 경우는 완전한 일치율을 보인다. 이는 제안된 워터마킹 기법이 크기변형에 따른 공격에 매우 강건함을 보여주는 것이다. 또한 1.5배 정도 확대된 영상의 학습반복수와 추출시간이 가장 나쁘며, 영상의 크기가 확대될수록 추출시간도 증가됨을 알 수 있다. 이는 확대에 따른 영상의 픽셀수가 증가하고 그에 따른 계산량도 증가하기 때문이다. 따라서 제안된 워터마킹은 정확한 추출성능을 가져 크기변화에 따른 기하학적 공격에 매우 견고함을 알 수 있다.

<표 3> 크기변형에 따른 FP-ICA의 추출성능

크기 변화	원 영상	키 영상	워터마크	학습반복수, n (원영상, 키영상, 워터마크)	추출 시간, t
	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc		
0.25	0.9979	0.9999	1	13(1,7,5)	0.21
0.5	0.9986	0.9999	1	16(1,9,6)	0.96
1.0	0.9984	0.9999	1	16(1,9,6)	3.72
1.5	0.9998	0.9984	1	20(11,1,8)	10
2	0.9984	0.9999	1	15(1,8,6)	13.94
5	0.9984	0.9999	1	13(1,7,5)	75.75

<표 4>는 회전변형에 따른 할선법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹의 실험결과를 나타낸 것이다. 표에서 보면, 회전 각도가 30도인 경우 원 영상의 정규상관계수의 경우 -로 이는 원 영상과 추출된 영상사이의 부호가 반대임을 나타낸다. 여기서도 3개의 원본 영상 각각의 정규상관계수를 보면 모두 0.91이상으로 매우 높은 정합도를 보이며, 워터마크의 경우는 완전한 일치율을 보인다. 또한 학습반복수에서 0, 90, 180도 및 60과 135도는 각기 동일한 학습반복수를 보이며, 30도에서 가장 많은 학습반복수를 보인다. 이는 대각선에 근접한 각도일수록 변형이 많아지기 때문으로 추측된다. 한편 추출시간에서도 학습반복수와 유사한 속성을 보인다. 따라서 제안된 워터마킹은 정확한 추출성능을 가져 회전과 같은 기하학적 공격에도 매우 강건한 속성이 있음을 확인할 수 있다.

<표 4> 회전변형에 따른 FP-ICA의 추출성능

회전 각도	원 영상	키 영상	워터마크	학습반복수, n (원영상, 키영상, 워터마크)	추출 시간, t
	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc		
0	0.9984	0.9999	1	16(1,9,6)	3.72
30	-0.9234	0.9983	1	29(1,20,8)	12.56
60	0.9234	0.9985	1	23(1,15,7)	10.1
90	0.9971	0.9999	1	16(1,10,5)	3.71
135	0.9177	0.9982	1	23(1,15,7)	10.77
180	0.9971	0.9999	1	16(1,10,5)	3.72

<표 5>는 자름변형에 따른 할선법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹의 실험결과이다. 표에서도 원래 영상 각각의 정규상관계수를 보면 모두 0.99이상으로 매우 높은 정합도를 가진다. 또한 전체적인 정합도 순서는 워터마크, 키 영상, 원 영상의 순서이다. 이는 다른 영상에 비해 워터마크의 추출성능이 높음을 보여주는 것이다. 학습반복수에서는 픽셀의 크기에 따라 다소 불규칙적이지만 추출시간에서는 픽셀의 크기에 따라 비례하여 감소함을 알 수 있다. 결국 제안된 워터마킹은 자름의 기하학적 공격에 매우 견고한 특성이 있다.

<표 5> 자름변형에 따른 FP-ICA의 추출성능

픽셀의 크기	원 영상	키 영상	워터마크	학습반복수, n (원영상, 키영상, 워터마크)	추출 시간, t
	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc	정규상관계수, ncc		
256×256	0.9984	0.9999	1	16(1,9,6)	3.72
237×237	0.9989	0.9999	1	13(1,7,5)	2.56
217×217	0.9984	0.9998	1	15(7,1,7)	2.32
197×197	0.9986	1	0.9997	18(1,12,5)	2.53
157×157	0.9996	0.9991	1	15(1,7,7)	1.33
107×107	0.9994	1	0.9987	17(1,11,5)	0.77

<표 6>은 워터마크로 문자와 가우스잡음을 각각 이용하였을 때, 이들 영상들 상호간의 정규상관계수를 측정된 것이다. 여기서 원 영상과 키 영상 및 키와 워터마크 사이의 정규상관계수는 음의 값을 가져 이는 두 영상 상호간의 부호가 서로 반대임을 의미한다. 또한 원 영상과 워터마크 사이 및 키와 워터마크 사이는 매우 작은 정규상관계수를 가지므로 이들 사이에는 거의 상관성이 없다. 특히 가우스잡음의 워터마크가 문자의 워터마크에 비해 원본영상 상호간에 훨씬 작은 상관계수를 가진다. 이는 가우스잡음이 문자에 비해 더욱 더 우수한 워터마크임을 보여주는 것이다. 한편 <표 1>과 <표 2>의 결과를 상호 비교하여도 워터마크로 가우스 잡음이 문자보다 더욱 더 빠른 추출속도와 우수한 추출성능이 있음을 알 수 있다. 따라서 원 영상 및 키 영상과 상관성이 적은 워터마크를 이용하는 것이 보다 우수한 워터마크 추출성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

<표 6> 원본 영상들 상호간의 정규상관계수

watermark	원 영상과 key 영상	원 영상과 watermark	key와 watermark
문자	-0.052408	0.018285	-0.009755
가우스잡음 (평균: 0, 분산: 0.01)	-0.052408	0.004165	-0.000840

5. 결 론

본 논문에서는 할선법에 기초한 고정점 알고리즘의 ICA를 디지털 영상의 워터마킹에 이용하는 방안을 제시하였다. 여기

서 할선법의 FP 알고리즘은 빠르면서도 개선된 추출성능을 얻기 위함이고, ICA의 이용은 검출과 추출 과정에 워터마크의 위치나 크기 등과 원본 및 키 영상에 대한 사전 지식의 요구를 없애기 위함이다.

제안된 기법을 256×256 픽셀의 원 영상(레나), 키 영상, 그리고 문자 워터마크 및 가우스잡음 워터마크에 각각 적용한 결과, 뉴우턴법의 FP-ICA 워터마킹보다 원본 영상의 빠른 추출속도와 개선된 추출성능이 있음을 확인하였다. 또한 제안된 할선법의 ICA에 의한 워터마킹은 크기, 회전, 자름과 같은 기하학적 변형에 견고한 성능이 있음도 확인하였다. 특히 영상들 상호 간에 상관성이 적은 가우스잡음 워터마크가 문자 워터마크에 비해 우수한 추출성능이 있음도 확인하였다. 한편 워터마크의 검출 및 추출과정에 원본 영상들에 대한 사전지식도 요구되지 않았다.

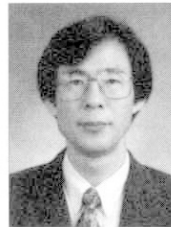
향후 압축 등의 다양한 공격에 대한 견고성과 칼라 영상 등에의 적용에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 제안된 방법에 의한 결과를 StirMark 등과 비교되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," *Proc. of IEEE*, Vol.87, No.7, pp.1079-1107, July, 1999.
 [2] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital Watermarking : An Overview," *Proc. of EUSIPCO'98*, Rhodes Greece, pp.8-11, Sept., 1998.
 [3] G. C. Langelaar, I. Setyawan and R. L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data : A State-of-the-Art Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.17, Issue.5, pp.20-46, Sept., 2000.

[4] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호", *정보과학회지*, 제5권, 제12, pp.22-27, Dec., 1997.
 [5] M. Shen, X. Zhang, L. Sun, P. J. Beadle and F. H. Y. Che, "A Method for Digital Image Watermarking Using ICA," *4th ICA2003*, Nara, Japan, April, 2003.
 [6] P. Comon, "Independent Component Analysis -A New Concept?," *Signal Processing*, Vol.36, No.3, pp.287-314, Apr., 1994.
 [7] T. W. Lee, 'Independent Component Analysis : Theory and Applications,' Kluwer Academic Pub., Boston, 1998.
 [8] A. Hyvarinen and E. Oja, "A Fast Fixed Point Algorithms for Independent Component Analysis," *Neural Computation*, Vol.9, No.7, pp.1483-1492, Oct., 1997.
 [9] Y. H. Cho and Y. S. Park, "Independent Component Analysis of Fixed-point Algorithm Based on Secant Method," *Proc. of MLMTA'03*, Las Vegas, USA., June, 2003.
 [10] K. Atkinson, "Elementary Numerical Analysis," John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.

조 용 현



e-mail : yhcho@cu.ac.kr

1979년 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)

1981년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1983년~1984년 삼성전자(주) 사원

1984년~1987년 한국전자통신연구소 연구원

1987년~1997년 영남이공대학 전자과 부교수

1997년~현재 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 신경망, 병렬분산처리, 신호처리, 영상인식, 교환기 등