

# 기하학적 변형에 강건한 FP-ICA의 디지털영상 워터마킹

## Robust Watermarking in Geometric Distortions for Digital Image by Using FP-ICA

조용현, 홍성준\*

대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

Yong-Hyun Cho and Seong-Jun Hong\*

School of Computer and Information Communications, Eng., Catholic Univ. of Daegu

E-mail : yhcho@cu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 고정점 알고리즘 독립성분분석을 이용하여 영상의 기하학적 변형에 강건한 워터마킹을 제안하였다. 여기서 고정점 알고리즘은 뉴우턴법에 기초한 것으로 워터마킹의 추출과정에서 빠른 추출과 기하학적 변형(크기, 회전)에 강건한 개선된 추출성능을 얻기 위함이고, 독립성분분석의 이용은 추출과정에서 워터마크의 위치나 크기, 원본과 키 영상 등에 대한 사전 지식의 요구를 없애기 위함이다. 제안된 기법을 256x256 픽셀의 레나 원 영상, 키 영상, 그리고 문자 워터마크에 적용한 결과, 크기와 회전의 기하학적 공격에 강하면서도 워터마크의 검출 및 추출과정에 원본 영상들에 대한 사전지식이 요구되지 않았다.

### 1. 서론

컴퓨터와 인터넷의 빠른 보급에 따라 디지털 콘텐츠의 보급 또한 용이해 지고, 이들의 불법적인 복사 등이 문제로 대두되고 있다. 이러한 디지털 콘텐츠의 보호를 위해 접속제어, 사용제어, 내용제어가 이용되며, 그 중에서도 워터마킹(watermarking)은 내용제어 방법으로 저작권 보호나 복사자의 추적, 그리고 내용의 조작이나 변경 등을 확인하는데 가장 널리 이용되고 있다 [1,2]. 이는 콘텐츠를 보호할수 있는 최후의 보루이다. 하지만 워터마킹 기술은 워터마크의 삽입에 의해서 원 영상의 화질이 저하되지 않아야 하는 비가시성과 여러 가지 영상처리에 도 워터마크 정보는 그대로 유지되는 강건성이 요구된다.

일반적으로 워터마킹은 워터마크 삽입과정과 검출 및 추출 과정으로 구성된다. 삽입과정은 원 영상에 워터마크를 삽입하는 과정이며, 검출과정은 워터마크의 존재여부를 확인하는 과정이고, 추출과정은 삽입된 워터마크를 원래의 워터마크

로 재구성하는 과정이다. 특히 검출 및 추출 과정에는 워터마크의 위치나 크기 등에 대한 사전 지식이 요구되며, 원 영상과 키에 대한 지식도 요구되고 있다. 따라서 실시간으로 워터마킹을 이용하기 위해서는 이들에 대한 사전 지식이 요구되지 않아야 한다.

한편 독립성분분석(independent component analysis : ICA)는 신호의 통계적 성질을 고려한 다차원의 선형변환 기법이다[3-6]. 이는 통신이나 신호 및 영상 처리 등에서 은닉신호분리(blind source separation : BSS)나 특징추출에 널리 이용되고 있다. 특히 BSS는 혼합된 신호로부터 원래의 신호를 추출하는 다양한 분야에 응용될 수 있다.

본 연구에서는 뉴우턴(Newton)법[7]에 기초한 고정점(fixed-point : FP) 알고리즘의 ICA(FP-ICA)를 디지털 영상의 워터마킹에 이용하는 방안을 제시한다. 여기서 FP 알고리즘의 이용은 빠른 추출과 함께 크기나 회전의 기하학적 변형에 강건한 우수한 추출성능을 얻기 위함이고,

ICA의 이용은 워터마크의 검출/추출 과정에 워터마크의 위치나 크기, 원 영상과 키 등에 대한 사전지식의 요구를 없애기 위함이다. 제안된 기법을 256x256 픽셀(pixel)의 원본 영상을 보호하기 위한 워터마킹에 적용하여 그 타당성과 공격으로 크기와 회전에 따른 성능을 확인하였다.

## 2. 뉴우턴법의 FP-ICA에 의한 워터마킹

은닉신호의 분리나 특징추출에 널리 이용되고 있는 ICA는 m개의 입력신호  $\mathbf{s}$ 로부터 선형적으로 혼합된 n개의 혼합신호  $\mathbf{x}$ 가 알려져 있을 때, 혼합된 신호로부터 역으로 m개의 독립인 입력신호를 찾는 기법이다[3-6]. 혼합신호와 입력신호와의 관계는

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

로 정의된다. 여기서 잡음  $\tilde{\mathbf{N}}$ 은 보통 입력신호와 구별되지 않기 때문에 생략할 수도 있으며, 혼합행렬  $\mathbf{A}=[\mathbf{a}(1), \mathbf{a}(2), \dots, \mathbf{a}(m)]$ 으로  $\mathbf{a}(i)$ 는 ICA의 basis vector이다. 결국 ICA는 알려진 혼합신호로부터 혼합행렬의 역행렬  $\mathbf{A}^{-1}(=\mathbf{W})$ 을 찾는 기법이다.

일반적으로 좀 더 효과적인 ICA를 위해 영평균과 whitening의 전처리 과정을 수행한다[4-6]. 신호의 영평균은 신호벡터  $\mathbf{x}$ 에서 평균값  $\mathbf{x}^*$ 를 뺀 차로

$$\mathbf{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^* \quad (2)$$

와 같다. whitening은 신호벡터  $\mathbf{x}$ 의 공분산행렬이 단위행렬값을 갖도록 함으로써 구할 수 있다. 즉,  $E(\mathbf{x}\mathbf{x}^T)=\mathbf{I}$ 가 되도록 한다. 이를 위해 PCA가 널리 이용되며, 이때의 whitening 행렬  $\mathbf{V}$ 는

$$\mathbf{V} = \mathbf{D}^{(-1/2)}\mathbf{E}^T \quad (3)$$

이다. 여기서  $\mathbf{D}$ 는 고유값으로 구성되는 대각행렬이며,  $\mathbf{E}$ 는 고유벡터로 구성되는 직교행렬이다.

독립성분분석을 위한 FP 알고리즘은 엔트로피 최적화에 기초한 알려진 기법 중 가장 빠른 학습 속도를 가진다[4-6]. 이는 신호 내에 포함된 상호 정보를 최소화함으로써 ICA의 해를 구하는 기법이다. 특히 알고리즘의 한 단계에 많은 수의 데이터들이 이용되는 batch mode로 계산을 수행하며, 신경망으로 구현될 수 있는 알고리즘이다. 이러한 FP 알고리즘을 위한 역혼합행렬  $\mathbf{W}$  경신에는 기존의 수치적 계산법인 뉴우턴법이 이용될 수 있다. 뉴우턴법의 FP 알고리즘에 의한 근사화된 반복기법의 역혼합행렬  $\mathbf{W}$  경신식은

$$\begin{aligned} \mathbf{W}' &= \mathbf{W} - [E\{\mathbf{x}\mathbf{g}(\mathbf{W}^T\mathbf{x})\} - \beta\mathbf{W}] / [E\{\mathbf{g}'(\mathbf{W}^T\mathbf{x})\} - \beta], \\ \mathbf{W}^* &= \mathbf{W}' / \|\mathbf{W}'\| \end{aligned} \quad (4)$$

과 같으며,  $\mathbf{W}'$ 는  $\mathbf{W}$ 의 새롭게 경신된 값이고,  $\beta = E(\mathbf{W}^T\mathbf{x}\mathbf{g}(\mathbf{W}^T\mathbf{x}))$ 이다. 식 (4)의 경신식에서  $\mathbf{g}(\cdot)$ 는 비선형함수로  $(\cdot)^3$ 과  $\tanh(\cdot)$ 의 함수를 이용한다. 여기서는  $(\cdot)^3$ 를 이용하였다.

따라서 ICA가 가지는 은닉성분분석의 속성을 이용하면 워터마크된 영상으로부터 워터마크와 원 영상, 그리고 키 신호의 분리가 가능하다. 결국 워터마크된 영상들을 입력으로 ICA를 수행함으로써 은닉되어 있는 원 영상, 워터마크, 그리고 키 신호들을 추출할 수 있다. 여기서 기존의 워터마크 검출 및 추출에서 요구되는 원 영상이나 키 신호, 워터마크 등의 사전지식을 요구하지 않는다. 본 논문에서는 먼저 워터마크 삽입과정으로 식 (5)와 같이 선형결합된 영상을 생성한다.

$$\mathbf{x} = \mathbf{s} + \mathbf{a}\mathbf{K} + \mathbf{b}\mathbf{M} \quad (5)$$

여기서  $\mathbf{s}$ ,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{M}$ 은 각각 원 영상, 키 신호, 워터마크이고,  $\mathbf{a}$ 와  $\mathbf{b}$ 는 각각 작은 가중치들이다. 여기서 워터마크된 영상에서 삽입된 키 신호와 워터마크가 보이지 않도록 하기 위하여 원 영상의 에너지보다 충분히 작은(보통 10 - 100배 정도) 에너지의 키 신호와 워터마크를 이용한다. 또한 ICA에서의 입력신호 수가 원래 신호의 수와 같거나 그 이상이어야 하는 조건에 따라 다음의 식 (6)과 같이 3개의 입력영상을 생성한다.

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}, \quad \mathbf{x}_2 = \mathbf{x} + \mathbf{c}\mathbf{K}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{d}\mathbf{s} \quad (6)$$

여기서  $\mathbf{c}$ 와  $\mathbf{d}$ 는 임의의 작은 실수값이다.

따라서 제안된 워터마킹의 수행과정을 요약하면 다음과 같다.

단계 1 : 워터마크 및 키 신호를 생성한다.

단계 2 : 선형결합에 의해 원 영상에 워터마크와 키 신호를 삽입한다.

단계 3 : 워터마크된 영상으로부터 식 (6)에 의해 3개의 ICA 입력신호를 생성한다.

단계 4 : 고정점 알고리즘 ICA를 수행한다.

(1)  $\mathbf{W}_{old} = \mathbf{W}$ 를 계산한다.

(2)  $\mathbf{W}^* = E[\mathbf{x}\mathbf{g}(\mathbf{W}^T\mathbf{x})] - E[\mathbf{g}'(\mathbf{W}^T\mathbf{x})]\mathbf{W} + \alpha(\mathbf{W}^* - \mathbf{W})$ 를 계산한다.

(3)  $\mathbf{W}^* = \mathbf{W}^* / \|\mathbf{W}^*\|$ 를 계산한다.

(4)  $\|\mathbf{W} - \mathbf{W}^*\| > \epsilon$ 이고  $\|\mathbf{W} + \mathbf{W}^*\| > \epsilon$ 이면 식 (4)에 따라  $\mathbf{W}$ 를 계산하고, 그렇지 않으면 단계 4를 종료한다.

- 단계 5 : 구해진 역혼합행렬 **W**로부터 원 영상, 워터마크, 키 신호를 구성한다.
- 단계 6 : 필요에 따라 추출된 워터마크의 인증을 수행한다.

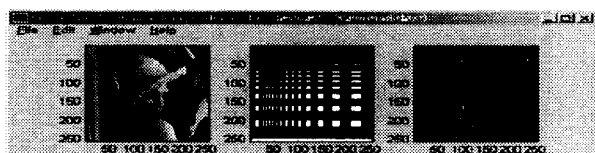
### 3. 시뮬레이션 및 결과분석

제안된 워터마킹 기법의 타당성과 성능을 평가하기 위해 레나(lena)의 원 영상과 시험패턴의 키 영상을 이용하여 실험하였다. 여기서 워터마크로는 문자영상을 이용하였다. 추출된 영상, 워터마크, 그리고 키 영상의 성능을 평가하기 위해 각 영상의 정규상관계수(normalized correlation coefficient : ncc)를  $ncc = \frac{\sum_{i=1}^N x(i)y(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x(i)^2 \sum_{i=1}^N y(i)^2}}$  정의하여 비교하였다. 여기서  $x_i$ 와  $y_i$ 는 각각 원 신호와 추출신호의  $i$ 번째 값이며,  $N^2$ 은 신호의 개수이다. 시뮬레이션은 펜티엄IV-2.2G 컴퓨터 상에서 Matlab 5.1로 실행하였다.

그림 1은 256×256 픽셀의 영상들을 나타낸 것이다. 그림 1(a)와 (b)는 각각 워터마크 삽입전의 원 영상, 키 영상, 워터마크(문자)와 그들의 선형 결합에 의해 생성된 워터마크가 삽입된 영상을 각각 나타낸 것이다. 그림 1(b)의 워터마크된 영상들에서는 워터마크와 키 영상에 대한 정보를 알 수 없으며, 워터마크의 삽입에 따른 원 영상의 화질저하도 보이지 않는다. 그림 1(c)는 그림 1(b)에서 크기를 0.25배(64x64픽셀)와 5배(1280x

1280픽셀)로 변화한 예를 나타낸 것으로 이는 크기변형의 공격이다. 또한 그림 1(d)는 회전에 대한 공격으로 180도 변형된 것으로 나타낸 것이다. 실험에서는 좀 더 효과적인 ICA를 위해 전처리과정으로 그림 1(c)와 (d)의 영상들을 영평균과 whitening하였다.

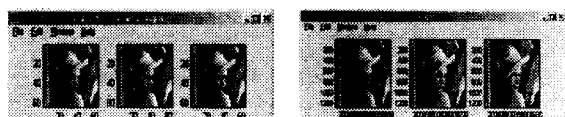
그림 2는 그림 1(c)와 (d)의 크기와 회전의 기하학적 변형 공격에 따라 뉴우턴법의 FP\_ICA에 의하여 추출된 영상들이다. 그림 2의 첫 번째에 의하여 추출된 영상들이다. 그림 2의 첫 번째는 크기를 5배 한 공격으로부터 추출된 원래 영상들이며, 두 번째 그림은 180도 회전 공격으로부터 추출된 원래 영상들이다. 원래 영상들과 추출된 영상들을 순서에 맞추어 서로 비교하면 이들 모두 육안으로는 상당히 정확하게 원래 영상들의 추출이 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 그림에서 보면 영상들의 추출순서가 두 기법 상호간 및 원래 영상과 일치하지 않음을 알 수 있다. 이는 ICA에서 독립성분을 추출할 때 순서를 고려하지 않는 속성이 반영되었기 때문이다. 또한 추출된 영상들은 각각 워터마크된 영상의 독립성분들이며, 여기서 원래 영상들을 분리하는데 소요되는 알고리즘의 총 반복수는 13회와 16회 각각 소요되었다. 한편 원본 영상들의 추출을 위한 별도의 원 영상이나 키 영상, 워터마크 등에 대한 정보를 요구하지 않는다.



(a) 원 영상, 키 영상, 워터마크(문자영상)



(b) 워터마크된 영상



(c) 크기변화(0.25배, 5배)



(d) 회전(180도)

그림 1. 256×256 픽셀의 워터마킹 영상들

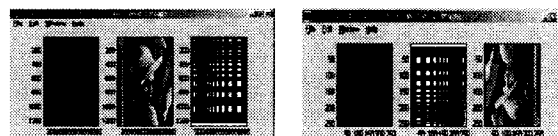


그림 2. FP-ICA에 의해 추출된 영상들

한편 표 1은 워터마크된 영상들의 크기변형에 따른 뉴우턴법의 FP-ICA 시행결과로, 학습반복수  $n$ , CPU 시간인 추출시간  $t$ , 그리고 정규상관계수  $ncc$ 를 각각 나타낸 것이다. 여기서 정규상관계수의 경우는  $-1 \leq ncc \leq 1$ 의 범위로  $-$ 는 원래 영상과 추출된 영상사이의 부호가 반대임을 나타내며,  $1$ 은 완전한 일치이고  $0$ 은 상관성이 전혀 없음을 나타낸다. 표에서 보면, 3개의 원래 영상 각각의 정규상관계수를 보면 모두 0.99이상의 매우 높은 정합도를 보인다. 특히 워터마크의 경우는 완전한 일치를 보인다. 이는 뉴우턴법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹 기법은 크기변형에 따른 공격에 매우 강건함을 알 수 있다. 일반적으로 워터마크의 추출에서 정규상관계수가 0.7이상이면 우수한 추출성능이 있는 것으로 알려져 있다[2]. 그리고 학습반복수에서는 크기가

증가할수록 약간 증가하나 거의 크기와는 무관하나 추출시간에서 크기가 증가하면 오래 걸림을 알 수 있다. 이는 확대에 따른 영상의 픽셀수가 증가하고 그에 따른 계산량이 증가하기 때문이다. 결국 제안된 워터마킹은 정확한 추출성능을 가져 크기의 기하학적 변형에는 매우 강건한 속성이 있음을 확인할 수 있다.

표 1. 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	0.99784	0.99999	1	13(1,7,5)	0.21
0.5	0.99855	0.99995	1	16(1,9,6)	0.96
1.0	0.998419	0.999952	1	16(1,9,6)	3.72
1.5	0.99984	0.998402	1	20(11,1,8)	10
2	0.998419	0.999952	1	15(1,8,6)	13.94
5	0.998419	0.999952	1	13(1,7,5)	75.75

표 2는 회전변형에 따른 뉴우턴법의 FP-ICA 시행결과로, 학습반복수 n, CPU 시간인 추출시간 t, 그리고 정규상관계수 ncc를 각각 나타낸 것이다. 표에서 보면, 회전각도가 30도인 경우 원 영상의 정규상관계수의 경우 -로 이는 원 영상과 추출된 영상사이의 부호가 반대임을 나타낸다. 표에서 보면, 3개의 원래 영상 각각의 정규상관계수를 보면 모두 0.91이상으로 여기서도 매우 높은 정합도를 보인다. 여기서도 워터마크의 경우는 완전한 일치율을 보인다. 따라서 여기서도 뉴우턴법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹 기법은 회전변형에 따른 공격에 매우 강건함을 알 수 있다. 그리고 학습반복수에서 0, 90, 180도와 60과 135도는 동일한 반복수를 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 크기의 기하학적 변형에는

표 2. 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	0.998419	0.999952	1	16(1,9,6)	3.72
30	-0.998353	0.998308	1	29(1,20,8)	12.56
60	0.923415	0.998466	1	23(1,15,7)	10.1
90	0.997074	0.999952	1	16(1,10,5)	3.71
135	0.917748	0.998116	1	23(1,15,7)	10.77
180	0.997073	0.999952	1	16(1,10,5)	3.72

매우 강건한 속성이 있음을 확인할 수 있다.

이상의 표 1과 2를 통하여 뉴우턴법의 FP-ICA에 의한 제안된 워터마킹은 크기와 회전의 변형에 따른 기하학적 공격에 매우 우수한 강건성이 있음을 알 수 있다. 또한 원 영상이나 워터마크 등과 관련된 크기와 위치 등의 사전 지식 없이도 이들 원래 영상들의 추출이 용이함을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 고정점 알고리즘 독립성분분석을 이용하여 영상의 기하학적 변형에 강건한 워터마킹을 제안하였다. 여기서 고정점 알고리즘은 뉴우턴법에 기초한 것으로 워터마킹의 추출과정에서 빠른 추출과 기하학적 변형(크기, 회전)에 강건한 개선된 추출성능을 얻기 위함이고, 독립성분분석의 이용은 추출과정에서 워터마크의 위치나 크기, 원본과 키 영상 등에 대한 사전 지식의 요구를 없애기 위함이다.

제안된 기법을 256x256 픽셀의 레나 원 영상, 키 영상, 그리고 문자 워터마크에 적용한 결과, 크기와 회전의 기하학적 공격에 강하면서도 워터마크의 검출 및 추출과정에 원본 영상들에 대한 사전지식이 요구되지 않았다.

향후 다양한 ICA의 이용과 압축 등의 공격에 대한 강인성 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 6. 참고문헌

- [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, sep. 1998
- [3] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호", 정보과학회지, 제 5권, 제 12호, pp.22-27, 1997, 12
- [4] P. Comon, "Independent Component Analysis - A New Concept?," *Signal Processing*, vol.36, No.3, pp.287-314, Apr. 1994
- [5] T. W. Lee, 'Independent Component Analysis : Theory and Applications', Kluwer Academic Pub., Boston, 1998
- [6] A. Hyvarinen and E. Oja, "A Fast Fixed Point Algorithms for Independent Component Analysis", *Neural Computation*, 9(7), pp. 1483-1492, Oct. 1997
- [7] K. Atkinson, 'Elementary Numerical Analysis', John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993