

임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용 가능한 극좌표계 모양적응 이산변환(PSADT : Polar coordinates shape adaptive discrete transform)에 기반한 워터마킹 기법

고윤호, 김성대
 한국과학기술원 전기및전자공학과
 전화 : (042)869-8030 / 팩스 : (042)869-8570

PSADT(Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform) based watermarking scheme for arbitrary shape object

Yun-Ho Ko, Soeng-Dae Kim
 Electronics and Electrical Engineering of KAIST
 E-mail : kyh@sdvision.kaist.ac.kr

요약

본 논문에서는 임의의 모양을 가지는 영상 객체(image object)에 적용 가능한 모양적응 이산변환(PSADT : Polar coordinates shape adaptive discrete transform)에 기반한 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 대수-극 좌표계(log-polar coordinates)와 모양적응 이산변환을 이용하여 제안된 기법은 MPEG-4의 VOP와 같은 임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 기법에 비하여 회전과 크기 변화와 같은 기하학적인 공격에 대하여 우수한 강인성을 제공한다.

I. 서론

새로운 동영상 부호화 표준인 MPEG-4는 영상을 객체에 기반하여 표현할 수 있게 하여 임의의 모양을 가지는 영상객체(video object)들을 서로 독립된 비트열로 부호화 할 수 있게 한다. 기존의 프레임기반 압축 기법들에 비하여, 멀티미디어 정보를 객체에 기반하여 표현하고 부호화함으로써 MPEG-4는 새롭게 태어나는 다양한 멀티미디어 응용을 수용할 수 있게 되었다. 또한 디지털 영상 워터마킹 기법은 멀티미디어 사회에서 영상 콘텐츠에 대한 저작권 보호(copyright protection)를 위하여 제안되었다. 그러나 기존의 워터마킹 기법은 회전과 크기변화와 같은 기하학적인 공격에 취약한 성향을 보인다. 이러한 성향을 보이는 것은 기하학적인 공격이 화소들에 대한 워터마크 신호의 정렬을 완전히 변화시키기 때문이다[1][2].

본 논문에서는 기하학적인 공격에 영향을 받지 않도록 디자인되었으며 임의의 모양을 가지는 객체를 위한 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 워터마킹 기법은 주파수영역에서 동작하는 방식으로 참고문헌[2]에 기술된 기법을 기반으로 하고 있다. 기하학적인 공격에 강인하도록 제안된 시스템을 만들기 위해 대수-극

좌표계로 원영상의 좌표계를 변화시키고, 임의의 모양을 가지는 영상 객체를 다루기 위해 새로운 모양 적응 변환을 이용한다.

II. 제안된 워터마킹 기법

1. 워터마크 삽입 과정

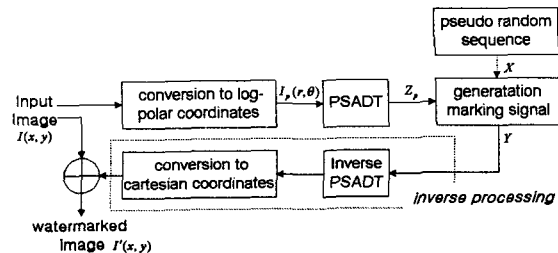


그림 1. 제안된 워터마킹 기법의 구조

제안된 워터마킹 기법의 구조는 그림 1에 도시되어 있다. 먼저 원영상 $I(x,y)$ 의 좌표계는 임의의 모양을 가진 마스크(\mathcal{R})의 무게중심을 대수-극좌표계의 원점으로 해서 $N_r \times N_\theta$ 의 원소를 가지는 대수-극 좌표계 $I_p(r,\theta)$ 로 변환된다. 여기서 Δ_r 과 Δ_θ 은 각각 방사상의 방향과 각도 방향으로의 이산 표본 간격을 나타낸다. 원영상 $I(x,y)$ 상의 임의의 점 (x,y) 에 대하여 좌표 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 x - x_{cen} &= \exp(r\Delta_r) \cos(\theta\Delta_\theta) \\
 y - y_{cen} &= \exp(r\Delta_r) \sin(\theta\Delta_\theta) \\
 \text{where, } r &= \{0, 1, \dots, N_r - 1\} \\
 \theta &= \{0, 1, \dots, N_\theta - 1\}, \\
 \Delta_r &= \frac{\ln\left(\max_{x,y \in \mathbb{R}} \left(\sqrt{(x-x_{cen})^2 + (y-y_{cen})^2}\right)\right)}{N_r - 1}, \\
 \Delta_\theta &= \frac{2\pi}{N_\theta}
 \end{aligned} \tag{1}$$

그림 2는 각각의 좌표계와 직각 좌표계에서 대수-극 좌표계로 변환된 영상의 예를 도시하고 있다. 이러한 좌표변환을 이용함으로써 원본영상이 이동하거나 확대 되더라도 대수-극 좌표계의 영상 $I_p(r, \theta)$ 은 영향을 받지 않게 된다. 또한 직각 좌표계에서의 회전은 극좌표계에서 순환 천이(circular shift)로 바뀌어지게 된다. 즉, 원영상 $I(x, y)$ 를 $m\Delta_\theta$ 만큼 회전시켰을 때 대수-극 좌표계의 영상 $I_p(r, \theta)$ 는 $I_p(r, \theta - m)$ 의 형태가 된다.

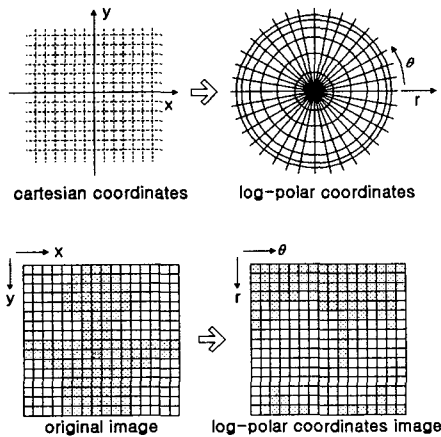


그림 2. 좌표계와 좌표계 변환 예

PSADT 과정에서는 극좌표계 영상내에서 유효한 화소들만이 MPEG-4의 SA-DCT(shape adaptive-DCT) 및 EI-DCT(extension-interpolation DCT)와 유사한 방법으로 변환된다[3][4]. 이러한 방식은 유효 화소수와 동일한 갯수의 변환계수(Z_p)를 발생시키므로 다음 단계에서 삽입될 워터마크 신호가 마스크(\mathcal{M}) 외부에서 나타나지 않게 한다. 그림 3은 PSADT를 수행하기 위한 순차적 과정을 도시하고 있다. 먼저 수직 방향의 PSADT를 수행하기 위해 각 세로 방향의 열은 그림 3의 (b)에서와 같이 블록의 상단 경계에 정렬된다. 각 열의 유효 화소수에 따라, 각각의 열은 DCT에 의해 변환된다. 수평방향(각도 방향)의 변환은 수직변환과 동일한 방식으로 수행된다. 단 유일한 차이는 DFT의 순환 천이 특성(circular shift property)을 이용하기 위해 수평 변환에서는 DFT(discrete Fourier transform)를 이용한다는 것이다. 식 (2)는 DFT 변환과 그 순환 천이 특성을 나타내고 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{DFT} : X(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \\
 \text{where, } W_N^{kn} &= e^{-j2\pi kn/N} \\
 \text{Shift property of DFT} : \\
 \text{if } x(n) &\leftrightarrow X(k) \\
 \text{then, } x(n-m) &\leftrightarrow W_N^{km} X(k)
 \end{aligned} \tag{2}$$

DFT의 순환 천이 특성에 따라 θ 방향으로의 순환 천이는 식 (2)에서와 같이 DFT 영역에서는 위상 천이를 발생 시킨다. 그러므로 원 영상의 천이, 확대, 회전은 좌표변환과 PSADT 과정 후에 발생하는 변환계수(Z_p)의 크기에는 영향을 주지 않게 된다. 예를 들어 원영상 $I(x, y)$ 의 대수-극 좌표계의 영상을 $I_p(r, \theta)$ 라 하고, 이를 PSADT한 결과를 $Z_p(k, l)$ 이라 하자. 이때 원영상을 $m\Delta_\theta$ 만큼 회전시켰을 때 대수-극 좌표계의 영상은 $I_p(r, \theta - m)$ 의 형태가 되고, 이를 PSADT한 결과는 $W_N^{km} Z_p(k, l)$ 가 된다. 즉 회전에 의해 변환계수의 크기 값은 변하지 않고 단지 그 위상 값만이 변하게 된다.

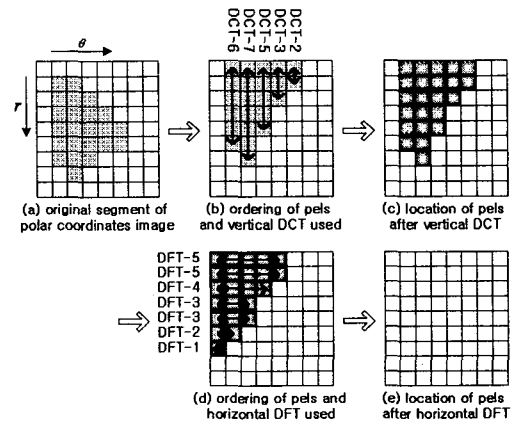


그림 3. PSADT를 수행하는 순차적 과정

변환계수(Z_p)와 길이가 N 인 준-랜덤 벡터(pseudo-random vector), $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 는 그림 1의 마크 신호 생성(generation marking signal) 과정에서 워터마크 신호를 발생시키기 위해 사용된다. 각 x_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가지는 확률변수이다.

워터마크 신호 생성 과정에서 먼저 변환된 계수는 지그-재그 주사(zig-zag scan)에 따라 재배열 되고 여기서, $(L+1)$ 번째 계수에서부터 $(L+N)$ 번째 계수까지가 취해진다. 여기서 처음 발생하는 L 개의 계수들은 워터마크 신호의 비가시성을 달성하기 위해 워터마크가 삽입되지 않도록 생략되는 구간이다. 그림 4는 제안된 지그-재그 주사 방법을 도시하고 있다. 그림 4에서와 같이 제안된 주사 방법은 일반적인 지그-재그 주사 방법과는 달리 주사 경로상에 모든 계수들을 이용하지 않고 일부만을 선택적으로 사용한다. 그림 4에 표시된 a 지점의 변환계수와 a* 지점의 변환계수는 서로 쉼레 복소수

(complex conjugate) 관계에 있게 된다. 이는 PSADT에서 수평 방향으로 실수값을 DFT 하게 되므로 식 (3)과 같은 DFT의 성질에 따른 결과이다.

$$\begin{aligned} & \text{If } x(n) \text{ is real valued - sequence} \\ & \text{then, } X(N-k) = X^*(k) \\ & \text{consequently, } |X(N-k)| = |X(k)| \text{ and} \\ & \angle X(N-k) = -\angle X(k) \end{aligned} \quad (3)$$

따라서, 그림 4에서와 같이 제안된 지그-재그 주사 방식에 의해 그 크기는 동일하고 위상만이 다른 변환계수들은 중복되지 않도록 L개의 주파수 성분이 선택된다.

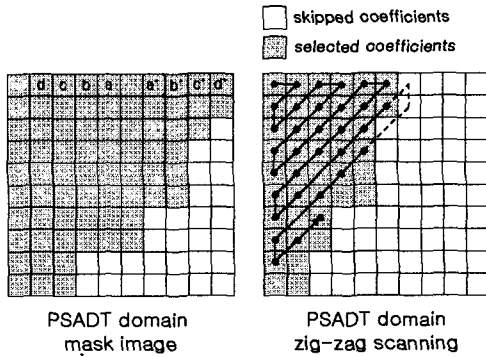


그림 4. 제안된 지그-재그 주사 방식

제안된 방식에서 워터마크 신호의 삽입은 선택된 변환계수의 크기 성분을 삽입 강도 계수 α 와 준-랜덤 벡터 X 에 따라 변형 시킴으로써 이루어진다. 즉, 워터마크 신호의 삽입은 식 (4)와 같다.

$$|Z'_{p,L+i}| = |Z_{p,L+i}| + \alpha |Z_{p,L+i}| x_i \quad i = \{1, 2, \dots, N\} \quad (4)$$

이러한 삽입 과정에서 L개의 변환계수들의 대응 위치에 있는 변환계수들의 크기 성분도 식 (4)에서 처럼 동일한 α 와 x_i 값을 사용하여 변화 시키게 된다. 즉, 결레 복소수 관계에 있는 a와 a* 지점의 변환계수는 워터마크 삽입 후에도 동일한 크기 성분을 가지게 된다. 만약 이러한 방식을 사용하지 않고 a 지점의 크기 성분만을 변화 시키게 되면 워터마크를 삽입한 영상을 만들기 위해 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로의 변환을 수행했을 때 복소수 영상이 발생하게 된다.

제안된 기법에서는 변환계수 Z_p 를 식 (4)에 따라 변형시킨 후 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로 변환해서 워터마크 영상을 직접적으로 만들지는 않는다. 워터마크 신호 생성 과정에서는 단순히 PSADT 영역에서 이후의 역과정을 통해 원영상을 변화시키게 될 신호만을 생성시킨다. 즉 식 (5)에서와 같이 정의되는 워터마크 신호(Y)만을 발생시킨다.

$$Y_i = \alpha |Z_{p,L+i}| x_i \angle \arg(Z_{p,L+i}) \quad i = \{1, 2, \dots, N\} \quad (5)$$

여기서, 워터마크 신호 Y는 변환계수(Z_p)와 동일한 위상을 가지면서 식 (4)에서 원래의 영상 내용에 더해지는 신호이다. 이처럼 기존의 방법 [1][2]과는 달리 워터마크가 삽입된 변환계수(Z'_p)를 역변환 하지 않고, 이후에 수행할 역과정에서 워터마크 신호(Y)만을 사용하는 것은 보간법(interpolation)을 이용해야 하는 극좌표계로의 변환과 그 역변환들이 영상 화질을 다소 악화 시키기 때문이다. 즉, 제안된 역과정을 통해 원본 영상에 더해질 워터마크 신호(Y)만 좌표 변환에 의해 손상되지 않는다.

그림 1의 역과정(inverse processing) 단계에서는 워터마크 신호(Y)가 역 지그-재그 주사를 통하여 이차원으로 배열되고, 역 PSADT 과정과 직각 좌표계로의 변환이 순차적으로 이루어지게 된다. 생성된 직각 좌표계에서의 워터마크 신호는 원영상에 더해져서 마침내 워터마크가 삽입된 영상이 만들어 지게 된다.

2. 워터마크 검출 과정

제안된 워터마크 기법은 손상되지 않은 원본 영상 없이 워터마크 신호의 존재 여부를 신뢰할 수 있는 수준으로 검출 가능하다. 하나의 테스트 영상이 주어졌을 때 좌표변환과 PSADT 과정이 순차적으로 적용된다. 변환계수는 지그-재그 주사에 의해 재배열되고 이들 중 (L+1)번째 계수에서부터 (L+N)번째 계수까지가 선택된다. 계수들의 크기 성분과 준-랜덤 벡터(X)간의 유사도(η)는 식 (6)과 같다.

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_{p,L+i}^*| x_i \quad (6)$$

주어진 마크 신호가 존재하는가의 여부를 결정하기 위해 유사도가 주어진 문턱값(T)보다 큰지 여부를 조사하게 된다.

III. 실험결과 및 성능분석

제안된 기법의 효율성을 검증하기 위해 임의의 모양을 가질 수 있도록 256x256 크기를 가지는 lena, girl, pepper 등의 영상을 수동적으로 분할한 후 사용하였다. 워터마크된 영상을 제작하기 위해 $N_r=256$, $N_\theta=512$, $L=1000$, $N=5000$, $\alpha=0.2$ 로 두고 원본 영상에 워터마크를 삽입하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 실험에 사용된 영상 중 lena 영상과 이를 분할한 마스크 영상이다. (c)는 역과정을 거쳐서 원영상에 더해질 워터마크 신호를 증폭시켜 구성한 영상이다. 그림 5의 (d)는 워터마크가 삽입된 영상이며 이 영상은 원영상에 비해 40.3(dB)의 PSNR을 가진다. 그림 6은 1000개의 서로 다른 랜덤 벡터열을 발생시키고 이들 중 500번째 벡터열을 이용해 워터마크를 삽입했을 때 각각의 벡터열에 대한 유사도를 도시한 것이다.

워터마크 신호는 JPEG 압축, 필터링 등과 같은 일반적인 신호처리에 의한 데이터 변화가 발생하더라도 검출이 가능하여야 한다. 주파수 영역에서의 계수들을 수정해 전체 영상에 워터마크 신호를 풀어 뿌리는 기존 기법들은 JPEG, 필터링, 디더링과 같은 데이터 변화에

훌륭한 강인성을 제공한다. 제안된 방법 역시 PSADT 변환 후에 계수들을 수정해서 워터마크 신호를 삽입하기 때문에 일반적인 신호 처리에 의한 데이터 변화에 영향을 받지 않는다. 구체적으로 제안된 기법은 약 32:1의 JPEG 압축에도 워터마크 신호의 검출이 가능하다. 그림 7은 JPEG 압축에 대한 유사도의 변화를 나타내고 있다.

또한 워터마크는 이동, 크기변환, 회전 등과 같은 기하학적인 왜곡에도 강인해야 한다. 워터마크 된 영상을 회전시켰을 때 제안된 기법의 유사도 변화를 참고 문헌 [2]에 기술된 방법과 비교하였다. 그림 8에서와 같이 약 1도 정도의 각도에 기존의 기법은 워터마크가 존재한다는 것을 증명할 수 없을 정도의 유사도를 보이게 된다. 비록 그 회전 변화가 인간 시각에는 거의 영향을 줄 수 없지만 그러한 회전 공격은 화소에 대한 워터마크의 정렬을 완전히 변화시키기 때문에 워터마크 정보가 쉽게 사라지게 한다. 그러나 제안된 방법은 워터마크 정보를 회전에 의해 변하지 않는 변환계수들에 삽입함으로써 그림 8에서와 같이 어떠한 회전 공격에도 워터마크 정보를 유실하지 않게 된다.

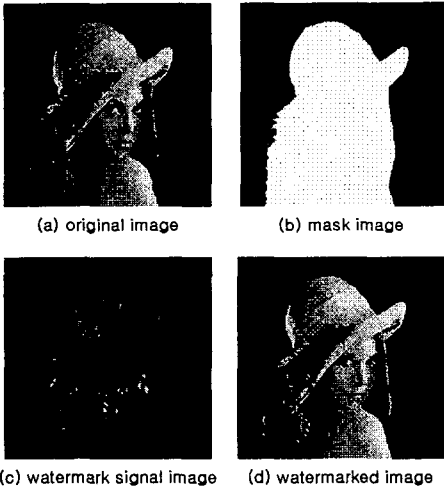


그림 5. 실험 영상 (a)원영상 (b) 마스크 영상 (c) 삽입될 워터마크 신호 영상 (d) 워터마크된 영상

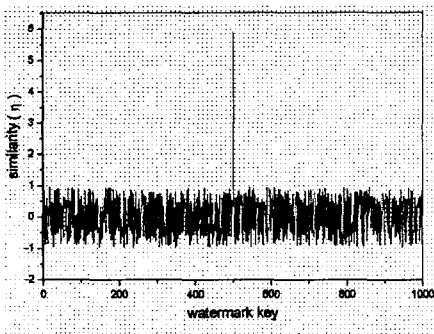


그림 6. 서로 다른 워터마크 신호에 대한 유사도

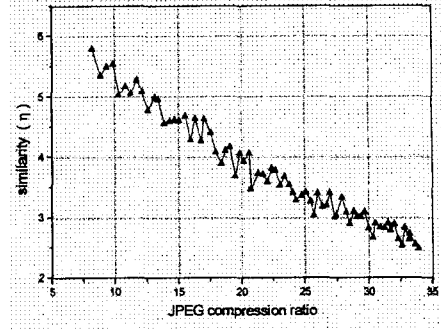


그림 7. JPEG 압축에 대한 유사도의 변화

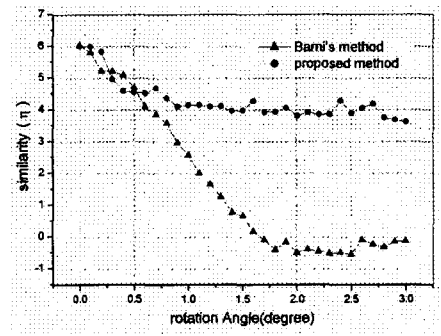


그림 8. 회전각에 따른 유사도의 변화

IV. 결론

본 논문에서는 MPEG-4의 광범위한 응용 영역을 고려하여 임의의 모양을 가지는 영상에 적용할 수 있는 새로운 워터마크 기법을 제안하였다. 좌표 변환과 PSADT를 이용하여 제안된 기법은 이동, 크기변환, 회전에 관계없이 삽입된 워터마크 신호를 검출할 수 있다. 실험 결과를 통해 기하학적인 공격에 의해 왜곡된 영상으로부터 워터마크 신호의 존재 여부를 신뢰할 수준으로 검출할 수 있음을 보였다.

참고문헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shmoor, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," *IEEE Trans. Image Processing*, Dec. 1997, vol. 6, pp. 1673-1687.
 [2] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal processing*, 1998, pp. 357-372.
 [3] MPEG-4 Video Group, JTC1/SC29/WG11, "Coding of audio-visual objects Video," Jan. 1999.
 [4] S.J.Cho and S.D.Kim, "Texture Coding Using 2D-DCT Based on Extension/Interpolation", *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics*, April. 1997. vol. 80, no. 4, pp. 789 ~ 794.