

순서 맵에 기반한 개선된 주파수 확산 워터마킹

서 동 완, 최 윤 식
연세대학교
전화 : 02-361-2774

An enhanced Spread Spectrum Watermarking Algorithm based on Ordering Map

Dong Wan Seo, Yoonsik Choe
School of Mechanics and Electronics Engineering Yonsei University
E-mail : md@image3.yonsei.ac.kr

Abstract

Nowadays, it is popular to use the spread spectrum watermarking algorithm for still image. But there is high error probability of the retrieved watermark in the spread spectrum owing to the correlation between image and spreaded watermark sequence. In this paper, two methods are proposed. One is Ordering Map Method and the other is Alteration of Image. Based on pixel value, the order by which the spreaded watermark bits is embedded is created in Ordering Map Method. By the covariance function between image and the spreaded sequence, image is altered in Alteration of Image. Hence, bit error of retrieved watermark is clearly reduced to zero by this two method.

I. 서론

디지털 미디어 발전과 함께 저작권 보호의 중요성 또한 증가되었다. 아날로그 데이터와는 달리 디지털

데이터는 복사가 용이하기 때문이다. 이러한 열화없는 디지털 데이터의 복제로 인하여 멀티미디어 제작자에게 심각한 경제적 손실을 초래하고 있다. 저작권 보호의 한 방법으로 등장한 것이 워터마킹이다. 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 저작권 정보인 디지털 워터마크를 삽입하는 기술이다.

삽입된 워터마크는 시각적으로 중요한 위치에 삽입 되면서도 잡음이나 왜곡에 대하여 강인하여야 한다는 특징을 만족하기 위해 주파수 확산 워터마킹 기법을 사용한다.[1]

본 논문에서는 멀티미디어 데이터 중, 영상에 삽입 되는 워터마크에 한하여 논하고자 한다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 주파수 확산 워터마킹 기법을 사용 하면서 영상과 워터마크 비트 사이에 상관도를 줄이면, 좀 더 강인한 워터마킹이 가능하다. 일반적으로 주파수 확산 워터마킹 기법의 추출된 워터마크 에러는 영상과 워터마크 비트간에 상관도의 존재로 인하여 발생한다. 영상이 정확한 모델로 모델링이 가능하다면 그에 대한 무작위 추출로 확산 시퀀스(sequence)를 발생시켜 상관도를 제거할 수 있다. 주로 영상을 가우시안(Gaussian)으로 모델링하는데 영상마다 각기 다른 분포를 가지고 있어서 실제로는 가우시안과 거리가 먼

분포 특성을 지닌다.[3]

본 논문에서는 영상을 모델링하는 방법 대신에 영상에 순서 맵을 적용하는 방법과 변조를 가하는 방법으로 워터마크 추출 에러의 원인이 되는 상관도를 감소시킬 것이다. 이러한 방법에 의해 추출된 워터마크의 비트 에러를 최소화하도록 한다. 이를 위해 II절에서는 주파수 확산 워터마킹 기법을, III절에서는 순서맵에 기반한 워터마킹 기법을, IV절에서는 영상 변조에 의한 상관도 감소를 논하기로 한다. V절에서는 실험 결과 및 결론을 논하였다.

II. 주파수 확산 워터마킹 기법

워터마크가 왜곡과 변형에 강한 특성을 가지기 위해서는 시각적으로 중요한 위치에 삽입되어야 한다.[4] 영상의 저주파 영역에 워터마크에 해당하는 계수를 매우 작게 하여 삽입한다면 시각적으로 중요한 위치에 삽입되면서도 원영상에 큰 변형을 막을 수 있다. 그리고 워터마크의 가중치를 작게 두었기 때문에 잡음(noise)에 약하다.

주파수 영역 전체에 워터마크를 삽입하기 위해 주파수 확산 통신에서 전달되는 신호를 워터마크 정보로 생각할 수 있다. 이러한 워터마크 신호의 에너지를 넓은 주파수 영역으로 확산하여 잡음처럼 삽입하는 방법이 주파수 확산 워터마킹 기법이다.[2, 3] 워터마크 신호가 매우 작은 값으로 영상에 삽입되므로 시각적으로 인식할 수 없게 된다. 그리고 시각적으로 중요한 위치에 삽입되므로 영상에 어떠한 왜곡을 가했을 때 영상이 많은 손상을 입거나 손상되더라도 하더라도 추출되는 워터마크 에러율이 낮다. 이렇게 삽입된 워터마크 신호는 그 위치와 크기를 알고 있다면 상관도 계산에 의해 하나의 신호로 복원한다.

주파수 확산 워터마킹 기법에서 워터마크 삽입과 추출 과정은 다음과 같이 이루어진다.

원영상을 다음 식과 같이 영상 내에 포함되는 각 화소 값들의 시퀀스 X 로 표현하고

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

주파수 확산에 의해 구해지는 워터마크 신호를 다음 식과 같이 실수들의 시퀀스 W 로 나타내면

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (2)$$

(여기서, w_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가진다.) 원영상 X 에 워터마크 W 를 삽입하는 것은 다음의 식을 사용하여 이루어진다.[3]

$$X^* = X + \alpha W \quad \text{또는} \quad x_i^* = x_i + \alpha_i w_i \quad (3)$$

여기서, α_i 는 임의의 scaling factor이다.

이렇게 주파수 확산 기법에 의해 영상에 삽입된 워터마크 정보는 상관도 계산을 이용하여 공분산(covariance) 함수로부터 추출할 수 있다.

$$\begin{aligned} COV(W, X^*) &= COV(W, \alpha W + X) \\ &= COV(W, \alpha W) + COV(W, X) \\ &\approx \alpha + 0 = \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

일반적으로 잡음과 같은 신호는 자기 자신 이외의 어떠한 신호와도 유사성(correlation)을 가지지 않기 때문에, 위의 식에서 $COV(W, X)$ 값은 0이 되고,

$$\begin{aligned} COV(W, \alpha W) &= \alpha \cdot VAR(W) \\ &= \alpha \cdot 1 \\ &= \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다. 이렇게 계산된 α 값의 부호를 조사하는 것에 의해서 삽입된 워터마크 정보를 다시 추출할 수 있다. 여기서 $\alpha > 1$ 이면 워터마크 비트를 "1"로, $\alpha < 0$ 이면 워터마크 비트를 "0"으로 추출한다.

그러나 위의 (4)식은 영상과 워터마크 시퀀스 사이에 상관도가 없다는 가정 하에 이루어진 식이다. 그러므로 실제 영상의 모델링을 정확히 할 수 있다면 상관도가 없는 워터마크 시퀀스를 발생시킬 수 있고 위의 이론적인 결과와 같이 삽입된 워터마크를 정확히 추출할 수 있다. 하지만 영상을 정확히 모델링한다는 것은 거의 불가능하다. 만약 영상과 워터마크 시퀀스 사이에 상관도가 존재하면 위의 (4)식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} COV(W, X^*) &= COV(W, \alpha W + Y) \\ &= COV(W, \alpha W) + COV(W, Y) \\ &\approx \alpha + e \end{aligned} \quad (6)$$

이렇게 계산된 결과에서 α 와 e 가 같은 부호를 갖거나 α 의 절대값이 e 의 절대값보다 클 때, 워터마크를 정확히 추출할 수 있고 나머지는 추출된 워터마크에 에러가 일어나게 된다.

이러한 에러에 의해 추출된 워터마크 신호에 비트 에러가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 비트 에러를 최소화할 것이다.

III. 순서 맵 알고리즘

영상을 정확히 모델링하여 상관도를 감소시키는 대신에 두 가지 방식에 의해 영상과 확산된 워터마크 시퀀스사이의 상관도를 제거하려 한다. 그 하나는 순서 맵 알고리즘이고, 다른 하나는 IV장에서 소개될 영상 변조 방법이다.

영상과 워터마크 시퀀스사이의 상관도는 영상의 분

포에 의해 결정된다.

영상과 확산 시퀀스사이의 상관도는 영상과 확산 시퀀스의 공분산 함수(식4)로 표현된다. 공분산 함수의 결과 값을 감소시키기 위해서는 워터마크 한 비트가 확산되는 영상 픽셀 영역의 분산을 감소시키면 된다.[5]

영상을 픽셀 값의 순서에 의해 재구성할 수 있다면, 워터마크 비트 중 한 비트가 확산되어 들어갈 영역의 픽셀 값들은 어떤 일정한 값에 가깝게 분포할 것이다. 즉, 영상의 분산이 감소한다. 영상 픽셀 값들의 변화보다 워터마크 시퀀스의 파위가 더 커지게 되어 식(6)의 α 의 절대값이 e 의 절대값보다 크게 된다. 즉, 영상에서 워터마크 시퀀스가 삽입되는 영상의 영역의 픽셀 값과 확산된 워터마크 정보 비트 사이의 상관도가 워터마크 가중치보다 작다. 그러므로 워터마크 추출시 일어나는 에러를 감소시킬 수 있다.

순서 램에 의해 재구성된 영상에 워터마크 삽입 과정과 추출 과정은 다음과 같다.

영상의 각 화소 값을 1차원 시퀀스 X 로 표현하면,

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$$
 (7)

재구성된 영상의 각 화소값을 1차원 시퀀스 \hat{X} 로 표현하면,

$$\hat{X} = \{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \dots, \hat{x}_{ML}\} = \{\hat{X}_1, \hat{X}_2, \hat{X}_3, \dots, \hat{X}_L\}$$
 (8)

$$\hat{X}_i = \{\hat{x}_{(i-1)M+1}, \dots, \hat{x}_{(i-1)M+M-1}, \hat{x}_{iM}\}$$
 (9)

여기서, \hat{x}_i : 재구성된 영상의 한 화소 값

N : 영상의 픽셀 개수

M : 확산 개수

$M = \lfloor \frac{N}{L} \rfloor$: $[a]$ 는 a 를 넘지 않는 최소 정수

L : 워터마크 크기(워터마크 정보 비트 수)

\hat{X}_i : 워터마크 i 번째 비트가 삽입될 영상 화소 값의 집합

워터마크 정보 비트는 다음과 같이 표현된다.

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_L\}$$
 (10)

워터마크의 M 비트에 의해 확산된 시퀀스는 다음과 같다.

$$\hat{W} = \{\hat{w}_1, \hat{w}_2, \dots, \hat{w}_{ML}\} = \{\hat{W}_1, \hat{W}_2, \dots, \hat{W}_L\}$$
 (11)

그러나 여전히 X_i 와 W_i 사이에 상관도가 존재한다. 이는 X_i 가 완전한 균일한 분포를 가지지 않기 때문이다.

(3)식과 같이 워터마크 한 비트 정보를 영상의 픽셀 집합에 삽입하는 과정은 다음과 같다.

$$X_i^* = \hat{X}_i + \alpha \hat{W}_i \text{ 또는 } x_i^* = \hat{x}_i + \alpha_i \hat{w}_i$$
 (12)

(6)식과 같이 워터마크 한 비트를 추출하는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} COV(\hat{W}_i, X_i^*) &= COV(\hat{W}_i, \alpha \hat{W}_i + \hat{X}_i) \\ &= COV(\hat{W}_i, \alpha \hat{W}_i) + COV(\hat{W}_i, \hat{X}_i) \\ &\approx \alpha + e \end{aligned}$$
 (13)

이렇게 계산된 결과에서 α 와 e 가 같은 부호를 갖거나 α 의 절대값이 e 의 절대값보다 클 때 워터마크를 정확히 추출할 수 있고, 나머지는 추출된 워터마크에 에러가 일어나게 된다. 에러는 확산된 워터마크 정보와 영상의 값 사이에 남아있는 상관도에 의해 일어나므로 다음과 같이 정의된다.

$$e = COV(\hat{W}_i, \hat{X}_i)$$
 (14)

여전히 남아있는 식(14)와 같은 에러는 IV장에서 소개될 영상 변조에 의해 제거할 것이다.

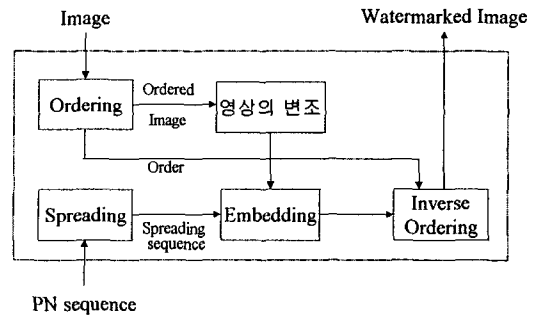


그림 1. 워터마크 삽입 과정

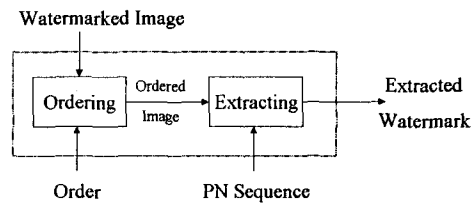


그림 2. 워터마크 추출 과정

IV. 영상변조에 의한 상관도 감소

순서 맵에 의해서도 제거되지 않고 남아 있는 에러를 식(14)에서 정의하였다. 에러를 없애기 위해서는 $|d| < |a|$ 와 같이 만들어 영상의 픽셀 값과 확산된 워터마크 정보 비트 사이의 상관도보다 워터마크의 가중치를 더 높인다. 이렇게 하면 에러를 거의 완벽하게 제거할 수 있다. 다음의 조건을 만족하면 $|d| < |a|$ 가 성립한다.

$$-\alpha < COV(\hat{W}_i, \hat{X}_i) < \alpha \quad (15)$$

이를 만족하기 위해서는 다음을 만족해야 한다.

$$|E[\hat{X}_i] - x_k| < \alpha \quad (16)$$

여기서

$$k = (i-1)M + 1, \dots, (i-1)M + M - 1, iM$$

이 과정은 워터마크 한 비트가 삽입될 영상의 영역에서 영상과 확산된 시퀀스 사이의 상관도를 크게 초래할 부분, 즉 분산을 크게 할 영상의 픽셀 값을 찾은 후 그 픽셀 값을 증가시키거나 감소시켜서 분산을 감소시킨다.[5]

순서 맵과 영상 변조에 의한 워터마크 삽입과 추출 과정은 그림 1과 2에 나타나 있다.

V. 결론 및 추후 연구

워터마킹 기법의 성능(performance)은 영상의 질적 손실, 워터마크의 크기, 워터마크의 강인성을 들 수 있다. 주파수 확산 워터마킹 방법과 제안된 방법을 실험 영상 Claire, Football, Garden, Saleman에 적용하여 워터마크 크기와 가중치를 변화시키면서 실험하였다. 결과 영상은 거의 동일한 PSNR을 유지하면서 제안된 방법에서 추출된 워터마크의 BER이 현저하게 좋아진다. 워터마크의 크기를 늘렸을 경우, 제안된 방법에서 더욱더 좋은 성능을 나타내었다. 표 1과 표 2에 주파수 확산 워터마킹 기법과 제안된 방법에서 추출된 워터마크의 BER을 비교하였다.

영상을 변조하는데 한계가 있으므로 순서 맵에 의해 개선된 주파수 확산 워터마킹에서도 약간의 에러가 발생한다. 영상의 분산을 줄이는 과정에서 영상의 픽셀 값을 임의로 조정하는데 시각적인 영향도 고려해서 크게 변화시킬 수는 없다. 그래서 제거되지 않는 상관도가 존재할 수 있다. 효과적인 워터마크 가중치를 찾을

수 없기 때문에도 상관도가 존재한다. 확실히 영상의 분산의 영향을 무시할 수 있을 정도로 가중치를 크게 할 수 있다면 쉽게 해결할 수 있지만, 이 또한 시각적인 손실을 막기 위해 크게 할 수 없다.

따라서 앞으로의 연구는 영상의 분산을 미리 계산하여 그 값을 최소화하고 아울러 가장 효과적인 워터마크 가중치를 찾는 방향으로 진행할 것이다.

표 1. 주파수 확산 워터마킹 알고리즘

Size	추출된 워터마크의 BER								
	16 by 16			32 by 32			64 by 64		
Weight	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Claire 310×280	0.008274	0.003968	0.000000	0.059247	0.057510	0.003037	0.000000	0.000000	0.000000
Football 360×240	0.020716	0.000746	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Garden 352×240	0.049045	0.011521	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Saleman 360×288	0.001997	0.000000	0.000000	0.009484	0.000011	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

표 2. 제안된 워터마킹 알고리즘

Size	추출된 워터마크의 BER								
	16 by 16			32 by 32			64 by 64		
Weight	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Claire 310×280	0.145579	0.072773	0.050320	0.147476	0.121555	0.088836	0.092698	0.074838	0.062089
Football 360×240	0.114071	0.061666	0.034586	0.205330	0.166948	0.111043	0.229550	0.162384	0.143508
Garden 352×240	0.170646	0.126975	0.086376	0.238731	0.192646	0.154955	0.262838	0.246651	0.209193
Saleman 360×288	0.061979	0.015799	0.002561	0.115885	0.090495	0.044629	0.163121	0.114098	0.084977

참고문헌

- [1] F. Hartung, M. Kutter, "Multimedia Watermarking Technique", Proceedings of IEEE, Vol. 87, No. 7, July, 1999
- [2] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 12, Dec. 1997
- [3] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video", Signal Processing, Vol. 66, no. 3, pp. 283-301, May 1998
- [4] R. Wolfgang, C. Podilchuk and E. Delp, "Perceptual watermarks for images and video", Proceedings of the IEEE, May, 1999.
- [5] I. J. Cox, M. L. Muller, A. L. Mckellips, "Watermarking as Communications with Side Information", Proceedings of IEEE, Vol. 87, No. 7, July, 1999