

PIM을 이용한 웨이블릿 패킷 기반 워터마킹

한수영*, 이두수**

Wavelet Packet Based Watermarking Using PIM

SuYoung Han *, DooSoo Lee **

요 약

디지털 영상의 저작권 보호를 위해 PIM을 이용한 웨이블릿 패킷 기반의 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 웨이블릿 패킷 계수를 블록으로 나누고 PIM을 이용하여 각 블록의 복잡도를 계산한다. 인간의 시각 특성은 복잡한 영역에서는 변화에 둔감하므로 복잡도를 나타내는 PIM에 의해 선택된 계수에 워터마크를 삽입하여 비가시성을 높인다. 실험결과는 제안된 알고리즘을 이용한 워터마킹이 JPEG, SPIHT와 같은 손실 영상 압축, 미디언 필터링 등의 일반적인 영상처리에 견고함을 보여준다. 특히 고주파 성분이 많이 포함되어 있는 영상을 고압축하는 경우에 좋은 성능을 보여준다.

Abstract

In this paper, a novel watermarking technique that based on wavelet packet transform using PIM is proposed for the copyright of the digital images. We divide wavelet packet coefficients into detailed blocks and calculate the complexity of each block using PIM. Because human is impervious to the change in the complex area, the embedding watermark to the selected coefficients using PIM enhances invisibility. From the experimental results, the proposed algorithm shows better invisibility and robustness performance in a general signal processing such as JPEG and SPIHT lossy compression, median filtering. Especially, it demonstrates better performance for the low bit-rate compression in the images that include many high frequency components.

▶ Keyword : digital watermarking, wavelet packet transform, PIM

* 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정

** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

I. 서론

디지털 워터마킹이란 저작권 보호를 위해 저작권 정보를 이용하여 디지털 콘텐츠에 삽입되는 것으로 이때 삽입된 정보를 워터마크라 한다[1].

디지털 워터마킹이 효과적으로 작용하기 위해서는 워터마크가 삽입된 영상을 손실 압축했을 때 워터마크와 원본 데이터의 품질이 그대로 유지가 되어야 하고, 이미지의 선명도를 높인다거나, 색상의 일부를 바꾸는 등의 일반적인 영상처리 과정에 대해 워터마크가 깨지지 않고 유지되어야 한다.

본 논문에서는 정지영상의 소유권 인증을 위해 PIM (Picture Information Measure)을 이용한 웨이블릿 패킷 기반의 워터마킹 기법을 다루고 있다.

웨이블릿 패킷 변환은 저주파 대역만을 반복적으로 분할하는 웨이블릿 변환과는 달리 입력 영상에 따라 각 주파수 대역에 적응적으로 신호를 해석하므로 영상에 포함된 고주파 대역의 특성을 최대한 활용할 수 있다.

PIM은 전체 픽셀 수와 히스토그램의 최대값의 개수와의 차이로 정의되는데 PIM이 클수록 복잡한 영상이라고 정의할 수 있다. 웨이블릿 패킷 변환은 최저주파수대역 뿐만 아니라 고주파대역도 분할하므로 임의의 주파수 대역에 부대역(subband)들이 만들어지는데 각 부대역의 복잡도를 PIM을 이용하여 계산하여 워터마크가 삽입될 계수를 선택하면 손실압축에 강한 특성을 갖는 워터마킹을 할 수 있다.

본 논문에서는 입력 영상을 웨이블릿 패킷 변환한 후 각 주파수 영역을 8×8 크기의 세부 블록(block)으로 나눈 다음 블록 단위로 PIM을 적용, 복잡도를 계산하고 임계값(Threshold)이상의 복잡한 영역에 대해서만 워터마크를 삽입하는 방법을 구현하였다. 기존의 방법은 전체 영역 또는 선택 주파수 영역의 특징을 고려하지 않고 워터마크를 삽입하였기 때문에 영상의 왜곡이 심하다. 또한 잡음이나 압축 등에 약하기 때문에 워터마크를 추출하기가 용이하지 않다.

그러나 제안된 방법은 영상의 중요도를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 원본의 화질에 손상을 입히지 않으며, 영상의 특징을 고려하기 때문에 손실 압축, 잡음, 필터링과

같은 일반적인 신호처리에 강한 특성을 보여준다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 워터마크를 삽입, 검출하는 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 제안한 알고리즘의 강인성 평가를 위한 실험 결과를 보여주고 마지막으로 4장에서는 실험결과에 대해 고찰한다.

II. 워터마크 삽입 및 추출

본 논문에서는 흑백 이진 영상을 워터마크로 사용하며 의사난수에 의해 식 (1)과 같이 일차원으로 순서를 재배열한다.

$$w = \{w(k), k = 1, 2, \dots, L, L = M \times N\} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 k는 의사난수에 의해 첨자를 재배열한 것이고, L은 이진 영상의 픽셀 수, w는 워터마크로 이용될 영상을 1차원으로 구성한 것이다.

워터마크의 삽입은 먼저 입력 영상을 9-7탭 biorthogonal 필터와 1차 엔트로피를 이용하여 웨이블릿 패킷 변환하고, 분할된 각 부대역을 8×8 크기의 세부 블록으로 나눈다. 영상을 8×8로 나누는 이유는 이 크기가 영상 압축의 표준인 JPEG과 MPEG에서 매크로 블록으로 사용되므로 손실압축에서도 강인함을 유지하기 위해서이다. 각각 8×8로 나누어진 영역을 PIM을 적용하여 영상의 복잡도를 계산한다. PIM은 Shi-Kuo Chang이 제안한 방법으로 영상의 복잡도를 표현한다[2][3].

PIM은 아래 식 (2)와 같이 정의된다.

$$PIM(f) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i) - \text{Max}_i [h(i)] \dots\dots\dots (2)$$

- $f = f(x, y)$: PIM을 계산하고자 하는 블록
- i : 계수의 크기(intensity), $0 \leq i \leq L-1$
- L : 양자화 단계의 수
- $h(i)$: 계수의 크기가 i 인 픽셀의 빈도 수

PIM은 전체 계수의 수와 히스토그램의 최대 값의 개수와의 차이로 정의 할 수 있다. 예를 들어 $PIM(f) = 0$ 이면 영상은 한 가지 밝기 값만 갖는다. 즉 단순한 영상이라 할 수 있다.

그와 반대로 여러 가지 밝기 값이 존재하여 상대적으로 작은 $Max_i [h(i)]$ 값을 가지면 PIM(f)가 매우 큰 값을 가지게 되는데 이러한 영상을 복잡한 영상이라고 정의하고 있다.

위에서 구한 PIM(f) 값들을 크기 순서대로 정렬한 후 그 정렬된 값의 중간(median) 값을 구하여, 그 중간 값보다 큰 값을 복잡한 영역의 임계값으로 사용한다. 아래 그림 1은 PIM을 적용한 예를 보인 것이다. PIM을 적용하여 임계값보다 큰 영역만을 표시하고 나머지 임계값보다 낮은 영역, 즉 워터마크가 삽입되지 않는 영역은 흰색으로 처리한 그림이다. 본 논문에서는 임계값보다 큰 영역에 대해서만 워터마크를 삽입한다.



그림 1. PIM의 예
Fig. 1. example of PIM

PIM을 통해 선택된 웨이블릿 패킷 계수에 대하여 식 (3)을 사용하여 워터마크를 삽입한다. 식 (3)은 선택된 웨이블릿 패킷 계수의 값에 따라서 적응적으로 워터마크를 삽입할 수 있다.

$$t'_{(i,j)} = t_{(i,j)} + \alpha w_{(i+j \times h \times 1000)} \dots\dots\dots (3)$$

t' 는 워터마크가 삽입될 선택된 계수 값, t 는 워터마크가 삽입된 계수 값이며, α 는 매입강도, i 와 j 는 전체 영상에 대한 계수의 위치이며, h 는 영상내의 세부 블록의 번호이다. 블록의 번호는 가장 상위 왼쪽의 블록을 1, 오른쪽과 아래로 갈수록 번호가 1씩 늘어나게 된다. 그리고 w 는 식 (1)에서 구한 길이가 L 인 워터마크의 의사 난수 수열로 $(i+j \times h \times 1000)$ 번째의 수를 선택하여 워터마크 정보로 사용한다. 매입강도는 선택 블록이 위치한 부대역의 분할 값이 증가할 때마다 2배씩 증가한다.

워터마크의 추출 과정은 매입과정의 역과정이며 워터마크가 매입된 영상을 웨이블릿 패킷 변환한 후 워터마크 정보를 검출하여 역 의사 난수 수열을 통해 워터마크를 추출한다.

III. 실험 결과 및 성능 분석

제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 비교적 고주파 성분이 많이 포함된 512×512 크기의 영상 두 개를 이용하였다. 그림 2는 영상처리에 많이 이용되는 'babara' 영상이고, 그림 3은 높은 고도에서 찍은 사진이다. 특히 그림 3은 기하학적인 모양이 반복되어 인물 등의 일반적인 영상에 비해 고주파 성분이 많이 포함되어 있다. 그림 4는 워터마크로 사용된 로고를 포함한 흑백 이진 영상이다.

웨이블릿 패킷 변환에는 9-7 탭 biorthogonal 웨이블릿 필터와 1차 엔트로피 기준을 이용하였다.

성능 평가 기준은 워터마크의 비가시성과 견고성이다. 화질에 대한 객관적인 평가 방법으로 원영상과 워터마크된 영상의 PSNR(Peak-to-peak Signal-to-noise ratio)를 사용하였다. 또한 삽입된 워터마크의 견고성은 웨이블릿 변환 압축(SPIHT), 미디언 (median) 필터링 등의 어택을 가한 후 추출된 워터마크와 원 워터마크의 유사도를 식 (4)를 이용하여 측정한다.

$$Similarity(w, w^*) = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{w^* \cdot w^*}} \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)에서 w 는 원 워터마크 영상이고, w^* 는 추출해낸 워터마크 영상이다. 워터마크로 사용하는 로고나 서명 등은 대개 목적성 잡음이 혼합된 경우는 없으므로, 추출된 워터마크의 유사도를 구하여 그 값이 0.95보다 작은 경우는 미디언 필터를 거치고, 그 이상일 경우에는 고립된 점들을 제거하는 후 처리 과정을 거친 뒤 다시 식 (4)의 유사도를 구한다.

다른 워터마킹 알고리즘과 성능을 비교하기 위하여 Cox, Xia 등이 제안한 방법과 비교하였다(4)[5].

1. 비가시성

〈그림 2〉와 〈그림 3〉은 제안한 알고리즘을 사용하여 워터마크된 영상이다. 시각적으로 워터마크의 삽입여부를 구분하기 어렵다. 워터마크를 삽입 후 원영상의 화질 왜곡의 정도를 측정하기 위하여 PSNR을 계산하였다.

〈표 1〉과 〈그림 7〉에서 알 수 있듯이 제안된 방법이 DCT나 웨이블릿 기반의 워터마킹 기법에 비해 좀더 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.



그림 2. 워터마크가 삽입된 샘플-1
Fig. 2. watermark embedded sample-1

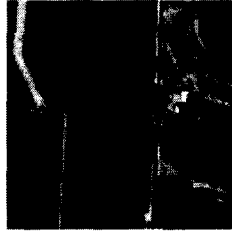


그림 3. 워터마크가 삽입된 샘플-2
Fig. 3. watermark embedded sample-2

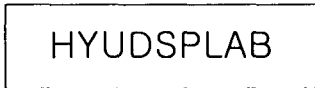


그림 4. 워터마크 영상
Fig. 4. watermark image

표 1. 워터마크가 삽입된 영상들의 PSNR
Table 1. PSNR of watermark embedded images

	Cox	Xia	제안한 알고리즘
샘플-1	41.80	42.29	44.13
샘플-2	39.30	40.19	42.35

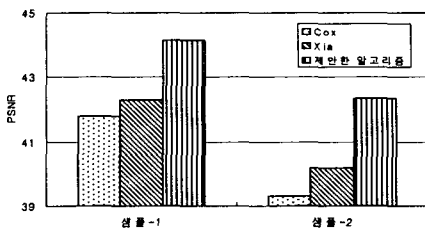


그림 7. 워터마크된 영상들의 PSNR
Fig. 7. PSNR of watermark embedded images

2. 견고성

〈그림 8〉과 그림 9는 샘플 영상을 각각 JPEG과 웨이블릿 기반의 SPIHT로 손실 압축한 후 유사도를 측정하여 견고성을 확인한 결과이다. 유사도는 식 (4)의 계산 결과이다.

웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 워터마크가 최저 주파수 대역뿐만 아니라 고주파 대역에도 삽입되므로, DCT에 비해 고주파 성분을 좀 더 잘 추출해내는 그림 9의 SPIHT 압축 후의 결과가 그림 8의 JPEG 압축 후의 결과보다 더 좋은 성능을 얻을 수 있다. 그림 10은 워터마크가 삽입된 샘플-2 영상을 필터의 크기를 변경하며 미디언 필터링 한 후 각각 유사도를 측정 한 결과이다. DCT나 웨이블릿을 기반으로 하는 기존의 워터마킹 알고리즘에 비해 일반적인 영상처리인 미디언 필터링에도 견고하다는 것을 알 수 있다.

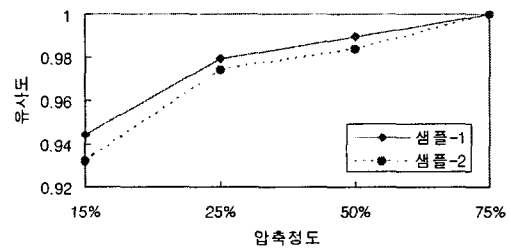


그림 8. JPEG 손실 압축 후의 유사도
Fig. 8. Similarity of JPEG lossy compression

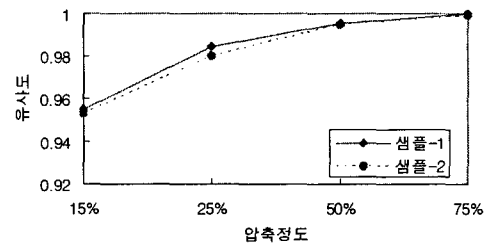


그림 9. SPIHT 손실 압축 후의 유사도
Fig. 9. Similarity of SPIHT lossy compression

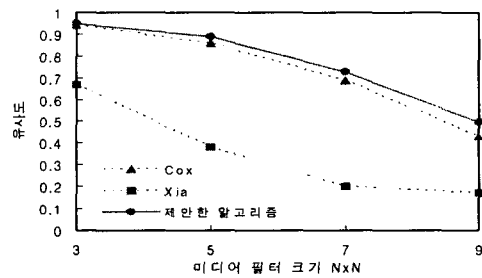


그림 10. 미디언 필터링 후에 추출된 워터마크의 유사도
Fig. 10. Similarity of the recovered watermark after median filtering

IV. 결론

본 논문에서는 PIM을 이용하여 영상의 중요 부분을 선택하여 워터마크를 삽입하는 웨이블릿 패킷 기반의 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 입력 영상을 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 분할하고, 각 부대역을 8×8 블록으로 나눈 후, 각각의 블록에 PIM 방법을 적용하여 복잡도를 계산한다. 각 블록들의 복잡도를 크기 순서대로 정렬한 후 평균값을 임계값으로 설정, 임계값보다 큰 영역의 웨이블릿 패킷 계수에 원하는 워터마크를 삽입한다. 이러한 방법을 통해 삽입된 워터마크는 원본 워터마크와 추출된 워터마크와의 상관관계를 통하여 소유권을 증명할 수 있다.

웨이블릿 패킷 변환을 적용하여 영상에 포함된 고주파 대역의 계수를 활용하고, 동시에 PIM을 이용하여 인간의 시각 특성이 복잡한 영역에 대해서는 변화에 둔감한 점을 워터마킹에 적용한다. 제안된 알고리즘은 일반적인 신호처리인 영상 압축, 필터링 등에도 강인함을 보이고 있다.

참고문헌

[1] S. Katzenbeisser and F. A. P. Petitcolas, Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House.1993.
 [2] Shi-Kuo Chang, Principles of Pictorial Information Systems Design, Prentice Hall, pp. 520-523, 1997.
 [3] Tae-Hee Kim and Dong-Seok Joeng, "Image indexing method using entropy measure with multilevel-multiresolution approach," SPIE, Storage and Retrieval Image and Video Database VI, vol. 3312, pp. 383-391, 1998.

[4] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Proc., Vol. 6, pp. 1673-1687, Dec 1997.
 [5] Xia X., C. Boncelet, G. Arce, "A multiresolutional watermark for digital images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol. 1, pp. 548-551, Oct. 1997

저자 소개

한수영

1993 한양대학교 전자공학과 석사

1996 한양대학교 전자공학과 박사수료



이두수

1979. 3 ~ 현재
 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

