

論文 2003-40SP-5-7

웨이블릿 패킷 변환을 이용한 원격 영상의 워터마킹 기법

(Digital Watermarking using Wavelet Packet Transform for Remote Sensing Images)

韓 秀 榮 * , 李 斗 秀 *

(Su Young Han and Doo Soo Lee)

요 약

항공이나 위성 영상과 같이 고주파 성분을 많이 포함하고 있는 영상에 워터마크를 삽입하기 위해 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 제안된 워터마킹 알고리즘은 최저 주파수대역을 포함한 전대역에 걸쳐 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 웨이블릿 패킷 계수 중에서 중요계수를 선택한 후에 원 영상에 삽입된다. 워터마크가 삽입될 위치의 중요계수는 CPSO를 이용하여 웨이블릿 패킷 변환에 제로트리기법을 적용하여 전대역에 걸쳐 선택한다. 실험결과는 제안된 알고리즘이 비가시적이고 강인함을 보여준다. 특히 고주파 성분이 많이 포함되어 있는 영상을 고압축하는 경우에도 강인함을 보여준다.

Abstract

In this paper, a new watermarking algorithm that based on wavelet packet transform is proposed for remote sensing images, which include many high frequency components. It applies watermark to the overall subband that includes the lowest frequency band. Watermark is embedded on original image after selecting the significant wavelet packet coefficients. For selection of significant coefficients which watermarks is embedded on, zerotree algorithm is applied to wavelet packet coefficients using CPSO (Coefficient Partitioning Scanning Order). From the experimental result, the proposed algorithm shows better invisibility and robustness performance compare with conventional watermarking methods. Especially, it demonstrates better robustness for high image compression in the remote images.

Keyword : watermark, wavelet packet transform

I. 서 론

워터마킹이란 정지영상이나 동영상 데이터에 시각적으로 보이지 않도록 고유정보를 내장하여 지적 재산권을 보호하는 방법이다^[1]. 웨이블릿 변환 기반의 워터마킹은 워터마크의 삽입위치를 세밀하게 조정할 수 있어 비가시성(invisibility)과 견고함(robustness) 측면에서

유용하다. 기존의 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 방법에서는 최저주파수 대역을 제외하고 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하였다^[2]. 하지만 대부분의 손실압축이 고주파 성분을 제거하기 때문에, 고압축에서도 견고하도록 하기 위해서 최저주파 대역에 워터마크를 삽입할 수 있는 방법이 연구되어 왔다.

웨이블릿 패킷 변환은 저주파 대역만을 반복적으로 분할하는 웨이블릿 변환과는 달리 각 주파수 대역에 적응적으로 신호를 해석하므로 텍스처 영상과 같은 비

* 正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University)

接受日字:2003年7月21日, 수정완료일:2003年9月21日

정재(non-stationary) 신호를 해석하기에 적합하다. 항공사진이나 위성사진과 같이 고도에서 촬영된 영상 이미지는 고주파 대역의 신호가 많이 포함되어 있어 견고함과 비가시성을 동시에 고려하여 최저주파 대역을 포함한 모든 부대역에 워터마크를 삽입할 수 있는 워터마킹 방법이 필요하다. 이러한 영상들의 경우에는 웨이블릿 패킷 변환이 일반적으로 웨이블릿 변환에 비해 해석 면에서 더 좋은 성능을 보인다. 또한 최저주파 대역뿐만 아니라 고주파 대역에도 값이 큰 계수들이 나타나므로 최저주파 대역을 포함한 모든 대역에 걸쳐 워터마크를 삽입하면서도 화질 저하를 줄일 수 있고, 손실 부호화를 사용하는 영상압축에서도 견고함을 유지할 수 있다.

본 논문에서는 고주파 성분을 많이 포함하게 되는 위성사진이나 영상사진의 워터마크를 목적으로 웨이블릿 패킷 변환을 기반으로 하는 워터마킹 방법을 제안한다. 워터마크가 삽입될 시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위하여 웨이블릿 패킷 변환에 CPSO를 이용하여 제로트리 기법을 적용하여 영상품질의 저하가 없이 견고함을 높인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 중요계수 선택을 위해 웨이블릿 패킷 변환에 제로트리 기법을 적용하는 CPSO를 설명한다. 3장에서는 워터마크 생성을 생성하고 워터마크 삽입, 검출하는 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 실험 결과를 보여주고 마지막으로 5장에서는 실험결과에 대해 고찰한다.

II. 대상 영상의 특성 고찰

항공사진이나 위성사진과 같이 고도에서 촬영된 영상 이미지는 빌딩이나 풍경 등이 대개 사각형, 원, 선 등의 기하학적인 모양으로 반복되는 특성을 가지고 있다. 이러한 텍스처 영상에는 고주파 성분들이 많이 포함되어 있어 웨이블릿 패킷 변환을 이용하면 영상을 해석하는데 유리하다.

영상처리 분야에서 가장 널리 이용되는 샘플인 Lenna 영상과 위성사진을 비교한 결과를 아래에 나타내었다. <그림 1(b)>는 <그림 1(a)>의 Lenna 영상을 2D FFT한 결과이다. 그림에서 중심이 수평-수직 공간에 대한 최저 주파수 영역이고 외곽으로 갈수록 고주파 성분에 해당한다. <그림 1(c)>는 이 Lenna 영상을

9-7탭 biorthogonal 필터와 1차 엔트로피 기저함수를 이용하여 웨이블릿 패킷 분할한 결과이다. <그림 2>는 위성사진에 대해 <그림 1>과 동일한 처리 과정을 거친 결과이다.

<그림 1(b)>와 <그림 2(b)>를 비교하면 Lenna 영상에 비해 위성사진에 수평이나 수직 방향으로 고주파 성분들이 더욱 많이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 웨이블릿 패킷 분할 결과 역시 고주파 성분이 많이 포함되어 있는 위성사진이 더욱 많이 분할된 것을 확인할 수 있다.

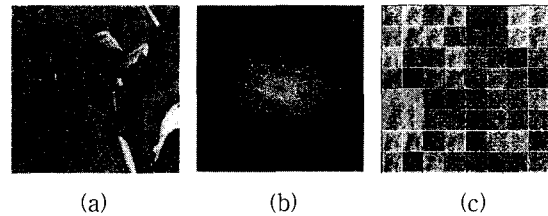


그림 1. (a) Lenna 영상 (b) 2D FFT 결과 (c) 웨이블릿 패킷 변환된 결과

Fig. 1. (a) Lenna (b) the result of 2D FFT (c) wavelet packet decomposed image.

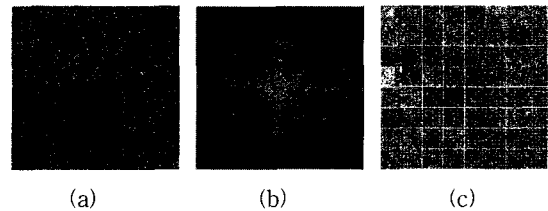


그림 2. (a) 위성 사진 (b) 2D FFT 결과 (c) 웨이블릿 패킷 변환된 결과

Fig. 2. (a) sample image (b) the result of 2D FFT (c) wavelet packet decomposed image.

대부분의 위성사진 또는 항공사진의 경우는 이와 같이 고주파 성분들이 많이 포함되어 있으므로 이 신호 특성을 적절히 이용할 수 있는 해석방법이 요구된다. 웨이블릿 패킷 변환은 기존의 DCT는 물론 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에 비해 입력 영상에 맞추어 각 주파수 대역의 신호를 해석한다는 장점을 가지고 있다.

III. 워터마크 생성

본 논문에서는 저작권을 증명하기 위한 용도로 흑백이진 영상을 워터마크로 이용한다. 비소유권자가 삽입

된 정보를 변형시키거나 감지하지 못하게 하기 위하여 랜덤한 특성을 가지면서도 통계적인 측정에 의하여 삽입된 정보를 추출할 수 있는 의사 랜덤 시퀀스(pseudo-random sequence)를 사용하여 워터마크 영상을 의사난수에 의한 재배열로 식 (1)과 같이 순서를 재배열한다.

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

여기서 k 는 의사난수에 의해 첨자를 재배열한 것이고, L 은 이진 영상의 픽셀 수, w 는 워터마크로 이용될 영상을 1차원으로 구성한 것이다.

IV. 워터마크 삽입

초기의 워터마킹 방법들은 시각적으로 워터마크의 삽입여부를 인식하지 못하도록 하기 위해서 시각적으로 보다 덜 중요한 부분에 워터마크를 삽입하였다. 그러나 시각적으로 중요하지 않는 부분에 삽입된 워터마크는 일반적인 압축이나 영상처리 등으로 쉽게 제거될 수 있기 때문에 견고성을 위해서 시각적으로 중요한 부분에 워터마크를 삽입하게 되었다. 따라서 워터마크 삽입과정은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 과정이 포함되어야 한다. 이때 삽입되는 워터마크는 원영상의 화질저하를 가져오지 않는 범위 내에서 전체 주파수 대역에 걸쳐 고루 삽입되어야 한다.

제안된 방법에서 워터마크 삽입과정은 원영상의 웨이블릿 패킷 변환, 시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위한 CPSO 과정, 워터마크 삽입, 역 웨이블릿 패킷 변환

으로 이루어져 있다. 워터마크 삽입의 전체적인 과정은 <그림 3>과 같다.

1. 원영상의 웨이블릿 패킷 변환

먼저 입력 영상을 9-7탭 biorthogonal 필터와 1차 엔트로피 변환을 이용하여 웨이블릿 패킷 변환한다^[4]. 웨이블릿 패킷 변환된 계수는 각 대역의 분할 정보와 각 계수의 중요도에 따라 다시 분할된다. 이 과정에서 웨이블릿 패킷 변환에 제로트리 기법을 적용하기 위하여 각 대역간 상관관계를 이용하는 CPSO를 정의한다.

2. 계수 분할을 위한 CPSO

워터마크가 삽입될 중요계수를 선택하기 위하여 웨이블릿 패킷 변환된 계수에 제로트리 기법을 적용한다. 제로트리 기법은 피라미드 방식의 웨이블릿 변환 기반 영상압축에 주로 사용되는 방식으로 SPIHT 알고리즘으로 개선되었다. 제로트리 기법은 값이 큰 중요계수들을 순차적으로 빠르게 검색할 수 있다.

그러나 항상 4개의 부모-자식 관계를 갖는 웨이블릿 변환과는 달리 웨이블릿 패킷 변환은 <그림 2>와 같이 여러 형태로 분할되므로 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서 이용되는 제로트리 기법을 직접 적용할 수는 없다.

CPSO는 제로트리 방식을 웨이블릿 패킷 변환에 적용하는 알고리즘으로 웨이블릿 패킷 계수의 분할 형태에 따라 중요 계수의 검색 순서를 결정한다. 영상의 분할 형태에 따라 CPSO0, CPSO1, CPSO4 등으로 정의한다. 각 CPSO에 따른 부모-자식 관계는 다음과 같다.

CPSO0 : 자식대역에 해당하는 S가 부모대역에 해당하는 부대역 P보다 더 분할되었다면 자식 노드를 가지지 않는다. P 대역의 계수를 모두 검색한 후에 대응하는 부대역의 계수들을 검색한다. <그림 4(a)>와 <그림 4(b)>의 일부가 이에 해당한다.

CPSO4 : 자식대역에 해당하는 S가 분할되지 않았다면 4개의 자식 노드를 갖는다. <그림 4(c)>이다.

CPSO1 : 자식대역에 해당하는 S가 한 차례 더 분할되었다면 서로 다른 부대역 상에서 공간상 같은 위치에 있는 자식 노드를 갖는다. <그림 4(d)>와 <그림 4(b)>의 일부가 이에 해당한다.

각 관계에 따라 제로트리 방식으로 임계값과 비교하면서 중요계수를 검색해 나간다. 이런 방식으로 최저 주파수대역만이 아닌 전체 주파수 대역에 퍼져있는 중요계수들의 목록을 만들 수 있고, 이 계수들에 워터마크

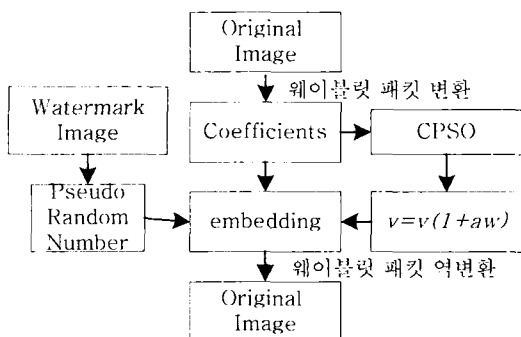


그림 3. 웨이블릿 패킷 변환과 CPSO를 이용한 워터마크 삽입과정

Fig. 3. Watermarking embedding processing using wavelet packet transform and CPSO.

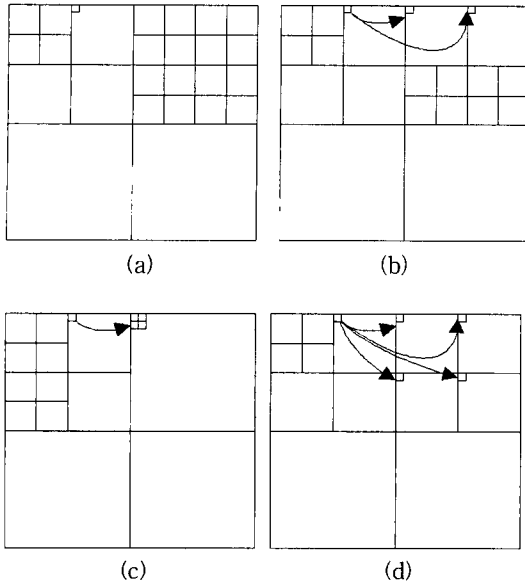


그림 4. 웨이블릿 패킷 변환에 적용된 CPSO의 예; (a) CPSO0 (b) CPSO0와 CPSO1의 다른 예 (c) CPSO4 (d) CPSO1

Fig. 4. Examples of CPSO in the wavelet packet transform; (a) example of CPSO0 (b) other example of CPSO0 and CPSO1 (c) example of CPSO4 (d) example of CPSO1.

크를 삽입한다.

웨이블릿 패킷 변환은 일반 웨이블릿 변환과 달리 고주파 대역을 포함한 각 주파수 대역에 큰 값을 갖는 계수들이 존재하므로 이 계수들에 워터마크를 삽입하면 원영상의 화질 저하를 막을 수 있고 영상압축과 같은 다양한 공격에 강인한 워터마킹이 될 수 있다.

3. CPSO 계수를 이용한 워터마킹 방법

CPSO를 기반으로 선택된 웨이블릿 패킷 계수에 대하여 식 (2)를 사용하여 워터마크를 삽입한다. 식 (2)는 선택된 웨이블릿 패킷 계수의 값에 따라서 적응적으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 즉, 계수값이 큰 경우는 큰 값을 삽입되고 작은 경우는 작은 값을 삽입한다. 이렇게 워터마크를 삽입하는 이유는 일반적으로 큰 값은 작은 값에 비하여 더해지는 양에 덜 민감하기 때문이다.

$$v'_i = v_i(1 + \alpha w_i) \quad (2)$$

위 식에서 v_i 는 워터마크가 삽입될 선택된 계수이며, w_i 는 워터마크, α 는 매입강도이다. 웨이블릿 패킷 계

수들이 CPSO에 따라 검색될 때, 문턱값이 1/2씩 감소하므로 매입강도 α 를 문턱값이 감소할 때 마다 2배씩 증가시킨다. 단, 계수값의 부호에 따라 매입강도의 부호를 일치시킨다. 본 논문에서는 최저주파 대역의 계수들의 매입강도는 0.04로 하고, 다른 대역의 계수들은 0.1부터 시작하여 2배씩 증가시켜 사용한다. 그 다음 워터마크가 매입된 계수를 역 웨이블릿 패킷 변환하여 워터마크가 매입된 영상을 얻는다.

4. 워터마크 검출

전체적인 워터마크 추출 과정은 매입과정의 역과정이다. 워터마크가 매입된 영상을 웨이블릿 패킷 변환한 후 워터마크를 삽입하는 과정과 동일한 검색경로를 통해 워터마크 정보가 포함된 계수를 검출하여 역 의사 랜덤 시퀀스를 통해 워터마크를 추출한다. 원 워터마크 영상이나 입력영상은 필요하지 않다.

검출척도로는 식 (3)과 같이 추출 전 워터마크 영상과 추출 후 워터마크 영상 사이의 유사도를 측정한다.

$$\text{Similarity}(u, u') = \frac{u' \cdot u}{\sqrt{u' \cdot u'}} \quad (3)$$

식 (3)에서 w 는 워터마크 영상이고, w^* 는 추출해낸 워터마크 영상이다. 특히 로고나 서명 등은 목적성 잡음이 혼합된 영상을 사용하는 경우는 일반적으로 없으므로, 추출된 워터마크의 상관계수를 구하여 그 값이 0.95보다 작을 경우에는 미디언 필터를 거치고, 그 이상일 경우에는 고립된 점들을 제거는 후 처리 과정을 거친 뒤 다시 식 (3)의 상관계수들을 구한다.

V. 실험 결과 및 성능 분석

이 장에서는 실험환경과 그 결과를 설명한다. 입력 영상으로 사용된 위성 사진은 <그림 5>(샘플1)와 <그림 6>(샘플 2)으로 512×512의 크기이고 위성사진과 항공사진을 전문적으로 취급하는 www.spaceimaging.com에서 제공하는 사진들이다. 워터마크로는 <그림 7>과 같이 로고를 포함한 흑백 이진 영상을 사용하였다.

9-7 biorthogonal 웨이블릿 필터를 이용하여 입력 영상을 웨이블릿 패킷 변환하고 CPSO에 따라 워터마크가 삽입될 계수를 선택하였다.

성능 평가 기준은 워터마크의 비가시성과 견고성이



그림 5. 샘플1 영상
Fig. 5. Satellite image as sample1.



그림 9. 워터마크가 삽입된 샘플2
Fig. 9. Watermark embedded image of sample2.



그림 6. 샘플2 영상
Fig. 6. Satellite image as sample2.

CPSO

그림 7. 워터마크 영상
Fig. 7. Watermark image.

다. 비가시성에 대한 성능 평가 지수는 워터마크를 삽입한 후 계산된 PSNR을 사용하고, 견고성에 대한 성능 평가 지수는 식 (3)을 사용하여 계산된 유사도이다. 다른 워터마킹 알고리즘과 성능을 비교하기 위해서 Cox, Xia 등이 제안한 방법과 비교하였다.

1. 비가시성

<그림 8>과 <그림 9>는 제안한 알고리즘을 사용하여 워터마킹된 영상이다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안한 워터마킹 방법을 사용하여 워터마크를 삽입하였을 경우, 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 구분하기 어렵다.



그림 8. 워터마크가 삽입된 샘플1
Fig. 8. Watermark embedded image of sample1.

표 1. 워터마킹된 영상들의 PSNR

Table. 1. PSNR of watermark embedded images.

	Cox	Xia	제안한 알고리즘
샘플-1	39.30	40.19	44.85
샘플-2	38.78	38.97	42.54

워터마크를 삽입 후 원영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해서 PSNR을 계산하였다. <표 1>은 실험 영상에 대해 제안된 알고리즘으로 워터마크를 삽입한 후 계산된 PSNR이다. <표 1>에서 알 수 있듯이 제안된 방법으로 워터마크를 삽입하여도 영상의 화질 정도는 거의 없는 것을 알 수 있다

2. 견고성

영상 압축에 대한 견고성을 확인하기 위해서 워터마킹된 영상을 JPEG 압축과 웨이블릿 압축을 하였다. 웨이블릿 압축은 SPIHT 방법을 적용하여 32:1(0.25bpp)로 압축하였다. 결과에서 보는 바와 같이 32:1로 압축하여도 60%이상의 워터마크가 검출됨을 알 수 있다.

<표 2>는 샘플 영상을 압축한 후에 견고함을 확인하는 결과이다. 표에서 값은 식 (4)에 의해서 계산된 유사도이다.

표 2. JPEG/SPIHT 손실 압축 후의 유사도

Table. 2. Similarity of JPEG/SPIHT lossy compression.

JPEG	샘플1	샘플2	SPIHT	샘플1	샘플2
15%	0.941853	0.904097	15%	0.954368	0.920145
25%	0.984392	0.959219	25%	0.991023	0.964587
50%	0.993924	0.979618	50%	0.997851	0.982561
75%	1.000000	0.996111	75%	1.000000	0.999325

결과적으로 <표 1>과 <표 2>에서 보는 바와 같이 제안한 방법은 동일한 PSNR에서 DCT를 사용한 Cox 등의 워터마킹 방법뿐만 아니라 웨이블릿 변환을 이용한 다른 워터마킹 방법보다 견고함을 알 수 있다.

VI. 결 론.

본 논문에서는 위성사진과 같이 고주파수 성분을 많이 포함한 영상을 대상으로 하는 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 새로운 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 영상의 고주파 성분을 이용하고 워터마크가 영상 전체에 고루 분포하도록 최저주파수 대역을 포함한 모든 부대역에 워터마크를 적용하였고, CPSO를 통해 각 부대역에서 시각적으로 중요한 웨이블릿 패킷 계수를 선택하여 워터마킹 하였다. 또한 각 부대역별로 선택된 계수에 대하여 웨이블릿 특성을 고려하여 각각 다른 매입강도를 사용하므로서 비가시성과 견고함을 동시에 고려하여 워터마크의 성능을 향상시켰다. 제안된 워터마킹 방법을 다양한 영상과 압축방식에 대하여 실험해 본 결과 기존의 워터마킹 방법보다 비가시성과 견고성에서 우수함을 보였고, 특히 고압축률로 압축하였을 경우에도 견고함을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] Christophe D., J. Delaigle, B. Macq, "Invisibility

and Application Functionalities in Perceptual Watermarking - An Overview", Proceedings of the IEEE, 90(1), Feb. 2002.

[2] Xia X., C. Boncelet, G. Arce, "A multiresolutional watermark for digital images", IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1. 1997.

[3] Han S., S. Cho, "Wavelet Packet Image Coder Using Coefficients Partitioning for Remote Sensing Images", IpPRIA2003 (1st Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis), Jun 2003.

[4] Coifman R., M. Wicherhauser, "Entropy-based algorithm for best basis selection", IEEE Trans. on Information Theory, 38(2) 1992.

[5] Shapiro J., "Embedded image coding using zerotree wavelet coefficients", IEEE Trans. on Signal Processing, 41 1993.

[6] Said A., W. Pearlman, "A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., 6 1996.

[7] Cox I., J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia, IEEE Trans. on Image Processing", 6(12) 1997.

저 자 소 개



韓 秀 榮(正會員)

1991년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사. 1993년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사. 1993년 3월~현재 : 한양대학교 전자공학과 박사 과정. <주관심분야 : 영상처리, 화상통신, DSP 응용>



李 斗 秀(正會員)

1968 2월 : 전북대학교 전자공학과 학사. 1970년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사. 1973년 2월 : 전북대학교 전자공학과 박사. 1973년 2월~1979년 3월 : 전북대학교 전자공학과 조교수. 1979년 3월~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수. <주관심분야 : DSP, 의공학, 화상처리>