

웨이블릿 변환과 확산코드를 이용한 동영상 워터마킹

김현환, 김두영

동아대학교 전자공학과

Video Watermarking Using wavelet transform and spread code

Hyun-Hwan Kim, Doo-Young Kim

Dept. of Electronics Engineering, Dong-A University

hhkim@electro.donga.ac.kr, dykim@daunet.donga.ac.kr

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 확산코드를 이용하여 동영상 내부에 이진이미지패턴형 워터마크를 삽입할 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 소개한다. 먼저, 동영상을 디코딩하여 RGB 데이터로 이루어진 인트라 프레임(I-frame)들을 구한다. 그리고 이것을 YC_bC_r 좌표공간으로 변환한 후, 휘도 평면만을 3단계 DWT하여 확산코드와 다중가중치를 조합한 워터마크를 삽입한다. 실험에서는 제안한 방법으로 워터마킹된 영상의 화질을 기존의 방법들과 비교하고, 손실압축과 밝기(brightness)변화 그리고 대비(contrast)실험 등을 통해 제안한 방법의 견고성을 입증해 보인다.

I. 서 론

디지털 워터마킹이란 영상이나 비디오, 오디오, 텍스트 등의 저작물에 잘 식별되지 않는 비밀스러운 정보를 삽입하여 저작권을 보호하는 방법으로 소유권자의 동의 없이 저작물을 배포, 복사되는 것을 방지하는 방법이다.

기존의 워터마킹 방법은 비디오 프레임 각각에 워터마크를 삽입하거나 MPEG의 압축영역에서 인트라 프레임이나 움직임보상 부분에 워터마크를 삽입하는 방법이었다[1]. 현재 제안된 방법 중, Mobasser는 압축되지 않은 동영상을 대상으로 각 프레임의 화소 영역에 확산스펙트럼방식을 응용하여 워터마킹했으며, Damstaedter 역시 많은 데이터를 화소 영역에 내장하는 방법을 제안했다[2]. 또한 Swanson은 압축되지 않은 동영상의 각프레임을 DCT 변환한 후에 DCT 주파수 영역에 워터마킹하는 방법 등을 제안했다.

그러나 이 방법들은 MPEG2, H.261, H.263 등으로 압축된 실제 동영상에서 워터마크를 검출할 때 IDCT와 움직임보상 등의 과정이 요구된다.

따라서 빠른 워터마크 검출 알고리즘이 필요한 응용에는 사용이 부적합하다. Hartung은 MPEG2 비트 스트림에서 모든 프레임에 워터마킹하는 방법을 제안했다[3]. 그러나 이 방법 역시 내장된 워터마크는 화소 영역에서만 검출되므로 빠른 워터마크 검출이 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 인트라 프레임에서 휘도성분(Y)만을 선택하여 워터마킹하므로 빠른 시간에 워터마크를 검출 할 수 있도록 하였다. 제안방법에서 웨이블릿 변환은 양자화 오차를 완전히 제거할 수 있도록 Haar 웨이블릿 변환을 새롭게 고안하였으며, 색 좌표계 변환 또한 JPEG표준의 정수처리 방식인 고정소수점 계산 방법을 사용하여 향후 하드웨어 구현이 쉽도록 하였다. 아울러 공격자가 삽입위치 값인 확산코드를 알아내더라도, 워터마크 검출을 쉽게 할 수 없도록 랜덤발생기를 사용하여 워터마크 가중치를 적용하였다. 제안한 방법으로 여러 동영상에 적용해 본 결과 우수한 영상의 화질을 얻을 수가 있었으며 JPEG 손실압축 뿐만 아니라 밝기변화, 필터링 등의 다양한 공격에서도 삽입한 이진 이미지패턴형 워터마크는 쉽게 검출할 수 있었다.

II. 본 론

1. 웨이블릿의 정수 모델링

본 논문에서는 양자화 오차를 제거하기 위해서 Basis vector를 $LPF=[1 \ 1]$, $HPF=[1, -1]$ 로 IDWT (역 이산 웨이블릿 변환)과정에서는 마지막 단계의 값에 $\frac{1}{4}$ 을 곱하여 복원하였다. 전체적인 처리 과정은 Fig. 1과 같으며, (a)는 영상의 각 픽셀 값 x_i ($i=1, 2, \dots, 16$)로 표현하였으며, (c)는 (a)를 본 연구에서 설계한 방법으로 변환된 결과이다. LL_1 영역은 입력값이 단일 입력이 될 때까지 계속적으로 분

해 가능하며 본 논문에서는 3단계 DWT를 사용하였다. 여기서, LL_1 에서 1은 DWT의 단계를 의미한다. 즉, LL_3 은 3단계 DWT를 수행한 후의 DC성분을 의미한다.

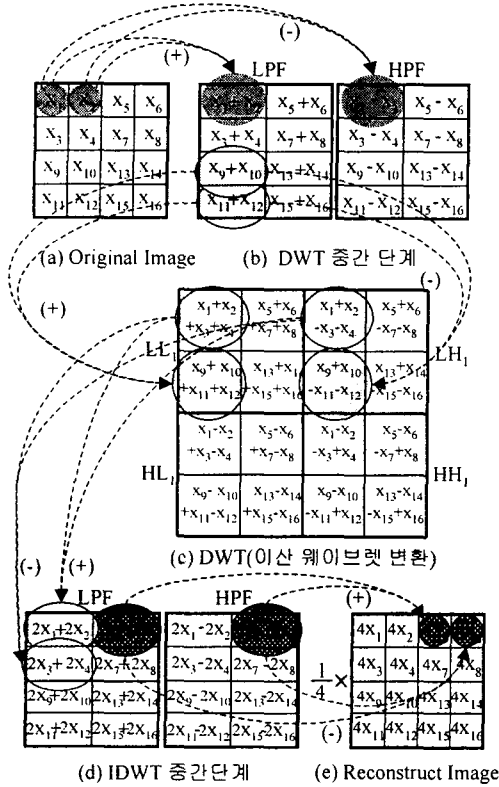


Fig. 1. Decomposition and reconstruction of two-dimensional wavelet transform

2. 워터마크 삽입 알고리즘

의사잡음코드의 값을 PN_{ij} 라 하면 PN_{ij} 는 $\{-1, 1\}$ 로 구성되는 Sequence이고, V_{ij} 는 동영상, V_{ij}^* 는 워터마크된 동영상, X_{ij} 는 삽입할 워터마크이다[4].

$$V_{ij}^* = V_{ij} + \alpha \times PN_{ij} \times X_{ij} \quad (1)$$

본 논문에서는 식(1)을 사용하여 워터마크를 삽입하였으며 전체적인 과정은 Fig. 2와 같다.

- Step 1: 동영상을 디코딩하여 I-frame을 얻는다.
- Step 2: RGB I-frame을 $YCbCr$ 좌표공간으로 좌표 변환한다.
- Step 3: 변환된 영역의 휘도 성분(Y)을 3단계 DWT를 수행한다.
- Step 4: 의사잡음코드를 생성한다(31×31 gold sequence).
- Step 5: 3개의 다중 임계값들을 결정한다.
- Step 6: Step 5의 다중 임계값들을 사용하여 워

터마크 가중치(α)를 결정한다.

- Step 7: 워터마크를 중간주파수 대역(HL, LH)에만 삽입한다.
- Step 8: 3단계 IDWT 수행하여 휘도 성분(Y)을 생성한다.
- Step 9: 워터마크된 I-frame을 생성한다.
- Step 10: I-frame들을 이용하여 워터마크된 동영상 생성한다.

3. 워터마크의 검출 알고리즘

워터마크된 영상으로부터 워터마크를 검출하기 위해서 삽입시와 동일한 방법으로 원 동영상과 의심가는 워터마크된 동영상을 디코딩하여 각각 I-frame을 분류해 낸다. 그리고 $YCbCr$ 좌표 공간으로 변환한 후 Y 성분에 대해서만 3단계 웨이블릿 변환을 수행한다. 이렇게 변환된 부대역 중에서 중간주파수 대역에 대해서만 각각의 차신호(δ)를 구하고 삽입시와 동일한 의사잡음코드를 이용하여 삽입한 워터마크를 검출한다. 워터마크 검출 알고리즘은 Fig. 3과 같다. 이렇게 검출된 워터마크에 대하여 주관적인 판단과 더불어 식(3-4)의 에러율과 식(5)의 NC를 측정하여 유효성을 판단하였다.

4. 유효성 판단

(1) 에러율 측정

$$X_{ij}^* = Y_{ij} + Y_{ij}^* \quad (2)$$

Y_{ij} : 삽입된 위치에서 검출된 신호

Y_{ij}^* : 삽입하지 않은 위치에서 검출된 신호

X_{ij}^* : 검출된 워터마크신호

- 삽입된 위치에서 검출하지 못할 에러율

$$\epsilon_1 = \frac{N(X_{ij} - Y_{ij})}{N(X_{ij}^*)} \times 100(\%) \quad (3)$$

X_{ij} : 워터마크신호

- 삽입하지 않은 위치에서 검출될 에러율

$$\epsilon_2 = \frac{N(Y_{ij}^*)}{N(U_{ij} - X_{ij})} \times 100(\%) \quad (4)$$

U_{ij} : 워터마크 영상 전체 집합

$N(X_{ij})$: X_{ij} 의 데이터 총 개수

(2) Normalized Correlation(NC)

NC수식은 원 패턴 워터마크와 추출된 패턴 워터마크가 일치될 때에 1이 되도록 상관관계를 표준화한 표현으로 다음과 같이 표현하여 유사도를 평가할 수 있다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j X_{ij} X_{ij}^*}{\sum_i \sum_j [X_{ij}]^2} \quad (5)$$

III. 실험결과 및 성능 분석

실험영상은 352×240크기의 컬러동영상 Football과 Pingpong, 그리고 Garden과 Terminator의 동영상을 사용하였고, 삽입할 워터마크 정보는 31×31크기의 이진영상으로 구성된 본교마크를 사용하였다. 그리고 성능분석은 식(3~4)을 이용한 에러율 측정과 PSNR을 이용한 화질평가, 그리고 무감지성과 견고성 등의 실험으로 객관적인 평가와 주관적인 평가를 겸하였다.

1. 무감지성 실험

디지털 워터마킹이 효과적으로 작용하기 위해서는 원영상에 비밀스러운 정보를 삽입 한 후에도 시각적인 손상이 최대한 적어야 한다.

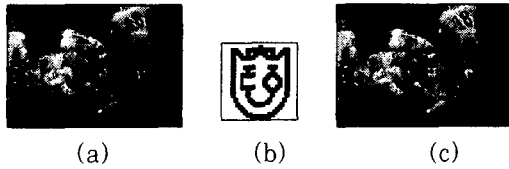


Fig. 2. A Invisibility experiment

(a)Original video image (b) Watermark image
(c)Watermarked video image

Table 1. PSNR of watermarked video image

No	Football	Pingpong	Garden	Terminator
1	50.63	42.43	51.25	49.62
2	49.34	42.69	50.87	50.81
3	49.76	43.28	50.95	50.73
4	51.13	42.96	48.79	50.51
5	50.46	43.31	51.47	50.63
Average	50.26	42.93	50.67	50.46

2. 견고성

Table 2의 JPEG을 이용한 손실압축에서 제안한 방법은 고압축을 80%에서도 30db의 화질과 0.87의 NC값을 나타내었고 삽입된 워터마크의 검출도 Fig. 3을 통해서 성공적임을 확인할 수 있었다.

Table 2. The results of football video according to jpeg compression

Comp. Ratio	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	Subjective judgement
10%	37.24	0	0	1	70	detection
20%	35.63	0	0	1	70	detection
30%	34.72	0.29	0	0.99	18.14	detection
40%	33.39	0.29	0	0.99	17.89	detection
50%	32.37	2.53	0	0.98	17.13	detection
60%	31.84	8.25	0	0.93	15.36	detection
70%	30.86	15.87	0	0.87	12.53	detection
80%	29.88	33.93	0	0.71	10.17	detection
90%	28.59	68.13	0	0.39	7.09	a part of det.

PSNR1: PSNR between watermarked image and original

image
PSNR2: PSNR between extracted watermark and original watermark



Fig. 3. Extracted watermark according to JPEG compression

(2) Brightness

Table 3에서 Brightness값이 -80%일 경우에는 화질이 5.68db이며 80%일 경우에는 6.09db로 밝기 값이 클 경우가 더 화질의 손상을 입힘을 알 수 있었다. 그리고 이렇게 나쁜 화질의 필요성이 다소 의심이 되지만 견고성 실험 차원에서 수행하게 되었으며 결과적으로 제안한 방법은 모든 단계에서 워터마크 검출이 가능함을 확인하였다.



Fig. 4. Extracted watermark of brightness

Table 3. Experimental result of brightness

Bright. (%)	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	Subjective judgement
-80	5.68	45.41	0	0.86	7.94	a part of det.
-60	6.90	14.27	0	0.98	13.44	detection
-40	8.79	2.32	0	0.99	23.18	detection
-20	14.31	0	0	1	70	detection
0	48.62	0	0	1	70	detection
20	14.47	0	0	1	70	detection
40	8.93	4.07	0	0.98	20.93	detection
60	6.98	17.81	0	0.95	11.99	detection
80	6.09	54.78	0	0.81	7.22	detection

(3) 일반적인 영상처리

Table 4에서 ϵ_1 이 ϵ_2 보다 낮으므로 인해 Fig. 5에서처럼 워터마크의 검출에는 전혀 어려움이 없음을 알 수 있다.

Table 4. Experimental result of common image processing

	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	Subjective judgement
Averaging (3×3)	31.19	0	34.59	0.81	6.75	detection
Median (3×3)	25.08	0	30.99	0.80	7.21	detection
Emboss (3×3)	23.52	4.17	39.15	0.79	5.06	detection
Mosaic (7×7)	13.40	12.29	24.73	0.81	6.97	detection



Fig. 5. Extracted watermark of common image processing

①Averaging ②Median ③Emboss ④Mosaic
(4) LSB masking

Table 5에서 5bit이상의 LSB masking은 워터마킹된 영상의 화질을 22db이하로 떨어뜨리게 된다. 하지만 워터마크의 검출에는 전혀 어려움이 없었으며, 7bit의 실험에서 검출된 워터마크는 손상이 크지만 Fig. 6에서처럼 ϵ_2 의 값이 전혀 없으므로 부분검출로도 저작권 주장이 가능함을 알 수 있었다.



Fig. 6. Extracted watermark of LSB masking

Table 5. Experimental result of LSB masking

LSB Masking	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	Subjective judgement
1 Bit	46.12	0	0	1	70	detection
2 Bit	42.21	0.07	0	0.99	35.61	detection
3 Bit	36.20	0.12	0	0.99	29.07	detection
4 Bit	29.32	22.18	0	0.95	27.17	detection
5 Bit	22.74	27.52	0	0.92	21.16	detection
6 Bit	18.17	53.97	0	0.81	10.29	detection
7 Bit	11.08	78.19	0	0.73	5.89	a part of det.

Fig. 7은 Football 동영상에 대해 Hartung과 Darmstaedter 그리고 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마킹하고 구한 PSNR 값이다. 여기서 Hartung의 방법은 일정한 크기의 워터마크를 모든 프레임에 대해서 저장하므로 PSNR이 모든 프레임에 대해서 42db로 일정하다.

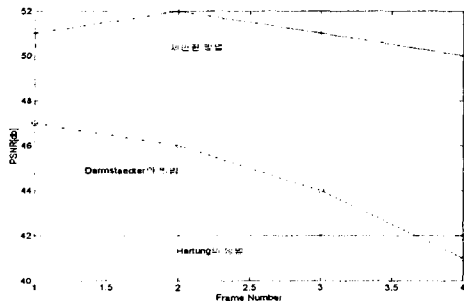


Fig. 7. Comparing PSNR of proposed method and other methods(Football)

Darmstaedter의 방법은 화소 블록의 분산이 작은 조건을 가지는 블록에 대해서만 워터마크를

저장하므로 Football과 같이 복잡한 영상에서는 워터마크를 내장하는 블록의 수가 작아지므로 PSNR이 Hartung에 비해 높게 나타난다. 제안한 방법에서는 3단계 웨이블릿으로 변환된 계수들 중에서 중간주파수 대역에만 적응적인 랜덤가중치로 워터마크를 삽입하게 하므로 PSNR이 3~4db 더 높게 나타남을 확인 할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 확산 코드를 이용한 동영상에 대한 견고한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 삽입할 워터마크를 시각적으로 인식할 수 있도록 본고 "마크"를 이용하여 저작자의 판별을 보다 명확하게 하였다. 또한, 색좌표계 변환 및 웨이블릿 변환시 정수 계산이 가능하도록 설계하여 향후 하드웨어 구현에도 용이하게 하였다.

제안된 방법의 문제점으로는 워터마크를 검출하기 위해서 원 영상을 필요로 한다는 점이다. 물론 원영상을 필요로 하지 않는 워터마킹은 견고함이 떨어진다는 단점을 갖고 있다. 향후는 원 영상을 필요로 하지 않으면서도 견고한 워터마킹 방법과 다중 워터마킹에 대한 연구, 그리고 복사 방지와 광역모니터링을 위한 효과적인 워터마킹 방법이 지속적으로 연구되어야 한다.

참고 문헌

- [1] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video," Signal Processing, vol. 66, No. 3 (Special issue on Watermarking), pp. 283-301, 1998.
- [2] Bijan G Mobasseri, "Direct Sequence Watermarking of Digital Video using m-frames," Proc. of ICIP'98, Vol. 3, pp. 399-403, 1998.
- [3] F.Hartung & B.Girod. "Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain," Proc. of Int. Con. ICASSP 97, Vol. 4, pp. 2621-2624, 1997.
- [4] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, Tom, Leighton and Talal. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, 1997.
- [5] 김종렬, 문영식, "웨이블릿 변환을 이용한 견고한 디지털 워터마킹," 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 291-296, 1999.