

움직임 벡터 분석을 이용한 I 프레임에서의 SPIHT 기반 디지털 비디오 워터마킹

황의창, *강경원, 김희정, *문광석, 권기룡
부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과
*부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Digital Video Watermarking Based on SPHIT for I-frame Using Motion Vector Analysis

Eui-Chang Hwang, *Kyung-Won Kang, Hee-Jung Kim, *Kwang-Seok Moon, Ki-Ryong Kwon

Department of Electronic and Computer Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

*Division of Electronic, Computer, and Telecommunication Eng., PuKyong Nat'l Univ.

요 약

본 논문에서는 다양한 디지털 콘텐츠들 중에 디지털 비디오에 대한 워터마킹 방법을 제안하였다. 현재 비디오 압축 부호화의 기본 알고리즘으로 사용되는 DCT(discrete cosine transform)는 고압축을 수행할 경우 블록킹 현상이 심하게 나타나는 단점이 있다. 제안한 방법은 이러한 단점을 극복하고 점진적 전송 특성을 갖는 비디오를 위해 웨이브릿 변환 영역에서 SPIHT(set partitioning in hierarchical trees)를 이용한 비디오 부호화 과정에 워터마크를 삽입하였다. SPIHT 부호화 과정에서 비디오 신호의 시간 중복성을 이용한 I 프레임에 대한 이전 프레임의 움직임 벡터를 이용하여 I 프레임에 워터마크를 삽입한다. 워터마크 삽입 시 HVS(human visual system)를 이용하여 움직임 벡터 분석에 의해 선택된 영역에서 지각적 중요 계수 (PSC : perceptual significant coefficient)를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 실험 결과 시간 중복성과 HVS를 이용하여 I 프레임에 워터마크를 삽입하였기 때문에 비가시성과 강인성이 우수함을 확인하였다.

1. 서론

오늘날 디지털 워터마킹은 디지털 정보의 저작권 보호를 위해 많은 기술 발전을 가져왔다. 이러한 디지털 워터마킹은 비가시성 (invisibility)과 강인성 (robustness)의 상호 trade-off 관계에 있는 조건들 사이에서 최적의 알고리즘을 구현하는 것이 중요하다.

Watson 등[1]은 웨이브릿기반 영상 압축에 지각적 양자화와 지각적 비트 할당을 위한 주파수 감응 (frequency sensitivity) 문턱값을 제안했다. 이는 9/7 쌍직교 필터[2]를 사용해 4레벨로 계층적으로 분해된 웨이브릿 계수들에서 얻었다. Podilchuk 등[3]은 영상을 DWT(discrete wavelet transform)를 이용하여 다해상도 영상으로 변환한 후 각 부대역의 정적 JND(just noticeable difference)에 의해 삽입 계수들을 결정한다. 그리고 그 정적 JND를 삽입강도로 해서 워터마크를 삽입한다. Hartung 등[4]은 3차원(2차원+

시간축) 비디오 신호를 라인스캐닝을 이용하여 1차원 신호로 만들어 대역확산기술을 이용해 워터마크를 삽입한다. Swanson 등[5]은 비디오 신호를 시간축 웨이브릿 변환을 하여 발생하는 정적 성분과 동적 성분에 워터마크를 삽입한다. Zhongjie 등[6]은 MPEG-2 압축과정에 움직임 벡터 정보에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 I 프레임을 제외하고 P, B 프레임에 워터마크를 삽입하는 방법으로 DCT를 기반에서 수행되기 때문에 고압축시 블록킹 현상이 심하게 나타나고 I 프레임의 중속 프레임인 P, B 프레임에만 워터마크를 삽입한다.

본 논문에서는 위의 방법에서 발생하는 블록킹 현상을 제거하고 점진적 전송 특성을 갖는 비디오를 위해 웨이브릿 변환 영역에서 SPIHT를 이용한 비디오 부호화 과정에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. SPIHT 비디오 부호화 과정에서 시간 중복성을

이용하여 I 프레임에 대한 이전 프레임의 움직임 벡터를 이용하여 I 프레임에서 워터마크가 삽입될 영역을 선택한 다음, HVS를 이용하여 선택된 영역에서 PSC를 선택해 적응적으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다.

2. 제안한 디지털 비디오 워터마킹

1. SPIHT 기반 비디오 부호화

DCT 부호화에서 고압축을 수행할 경우 블록킹 현상이 심하게 나타나는 단점을 극복하고 점진적 전송 특성을 얻기 위해 웨이브릿 변환 영역에서 SPIHT를 이용한 비디오 부호화 방법[7]이 제안되었다. SPIHT는 EZW(embedded zerotree wavelet) 부호화 방법을 개선하여 압축 효율을 향상시킨 방법으로[8], 그림 1과 같이 SPIHT 웨이브릿 비디오 부호화기를 구성한다.

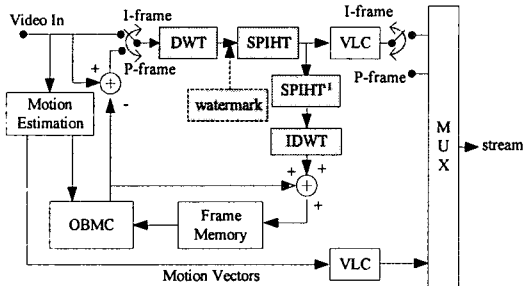


그림 1. SPIHT 비디오부호화기의 블록 다이어그램

2. 워터마크 삽입

제안한 방법은 움직임 벡터와 JND를 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 그림 3은 제안한 적응적 워터마크 삽입 알고리즘에 대한 블록도이다.

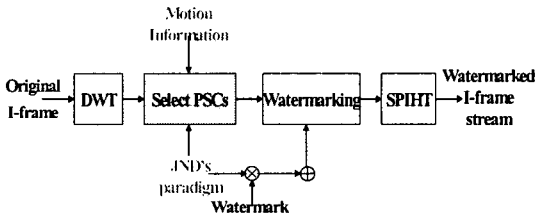


그림 2. 제안한 삽입 알고리즘

인간의 시각은 움직임이 없는 영역 보다 움직임이 있는 영역에서의 잡음에 덜 민감하기 때문에 제안한 방법은 비가시성을 위해 시간 중복성에 의한 움직임 분석을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 비디오 신호는 프레임 간 연관성이 매우 높은 특성을 가지고 있기 때문에 강인성을 위하여 I 프레임에만 워터마크를 삽입한다.

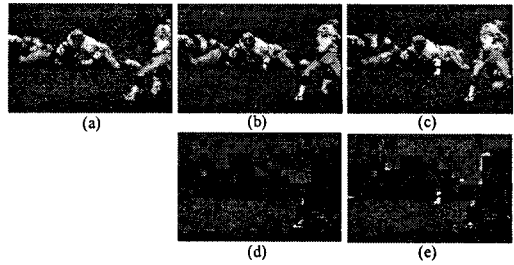


그림 3. I 프레임의 삽입 영역 선택 (a) n 프레임, (b) n+1 프레임, (c) n+2 프레임(I 프레임), (d) n+1 프레임의 움직임 벡터, (e) n+2 프레임에 n+1 프레임의 움직임 벡터를 적용

본 논문에서는 빠른 워터마킹 처리를 위해서 I 프레임 이전 프레임의 움직임 벡터 정보를 이용하여 I 프레임에서 워터마크를 삽입하고자 하는 영역을 선택한다. 그림 2는 I 프레임 이전 프레임의 움직임 벡터를 I 프레임에서 이용하는 것을 나타내었다.

그 다음 선택된 영역에서 워터마크를 삽입할 계수 즉, 지각적 중요 계수를 찾는 것이다. 먼저 입력되는 I 프레임을 4레벨 DWT 한 후 움직임 분석을 이용해 선택된 영역에서 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 화질의 열화와 기하학적 공격을 고려하여 제외하고, 고주파 부대역들에 대해서만 정적 JND모델을 사용해서 각 부대역에 대한 문턱값보다 큰 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입한다. 각 부대역에 대해 결정된 문턱값은 표 1과 같다.

표 1. PSC 선택을 위한 문턱값

| level | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| HL | 23.028 | 14.845 | 12.707 | 14.156 |
| LH | 23.028 | 14.845 | 12.707 | 14.156 |
| HH | 58.756 | 28.408 | 19.594 | 17.864 |

표 1에 의해 선택된 계수에 워터마크를 삽입하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$X^* = \begin{cases} X + JND \cdot w & \text{if } X > JND \\ X & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 w 는 *i.i.d* Gaussian random 분포를 가지고 $N(0, 1)$ 인 임의의 sequence이다. JND는 삽입되는 각 부대역에 해당하는 주파수 감응으로, 문턱값에 해당한다. 또한, 이 문턱값은 각 부대역에 대한 워터마크 삽입강도로 사용한다.

제안한 방법은 프레임마다 움직임 벡터가 다르기 때문에 I 프레임마다 워터마크가 삽입되는 영역이 적응적으로 선택된다. 또한 프레임 내에서 HVS에 의한 JND 모델을 이용해 워터마크를 삽입함으로써 더욱

적용적으로 워터마크를 삽입할 수 있다.

3. 워터마크 검출

워터마크를 추출하는 방법은 기존의 유사도 기법을 사용한다[2].

$$sim = \frac{w^* \cdot w}{\sqrt{w^* \cdot w^*} \cdot \sqrt{w \cdot w}}, \quad sim \begin{cases} > T & : \text{detected} \\ < T & : \text{not detected} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, w 는 원래의 워터마크이고 w^* 는 검출하고자 하는 프레임에서 추출한 워터마크가 된다. 두 워터마크 사이의 유사도를 구해 T 보다 크면 워터마크가 존재하고, 그렇지 않으면 워터마크가 존재하지 않는다고 판정한다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 SPIHT 비디오 부호화 과정 중에 시간 중복성을 이용한 움직임 벡터를 분석하여 워터마크를 삽입하는 방법을 실험하기 위해 352*240의 Football 영상을 사용하였다. GOP(group of picture)는 6으로 하여 30프레임으로 실험하였다. 비가시성의 척도로 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하였고, 강인성의 척도로 유사도(correlation response)를 사용하였다.

워터마크는 움직임 벡터에 의해서 선택되는 영역과 선택된 영역 내에서 정적 JND모델에 의한 주파수 감응 문턱값에 따라 그 개수가 프레임의 특성에 따라 변한다. 표 2에 워터마크가 프레임마다 삽입되는 개수를 나타내었다. 표 2에서 프레임마다 이전 프레임과의 움직임 정보가 다르기 때문에 움직임이 많은 프레임은 많이 삽입되었고 움직임이 적은 프레임은 워터마크가 적게 삽입되는 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 각 I 프레임에 삽입되는 워터마크 개수

| | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|
| | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 |
| 개수 | 2866 | 5217 | 3632 | 4018 | 4417 |

표 3. SPIHT 압축률에 따른 각 프레임의 PSNR[dB]

| frame | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8 bpp | 37.22 | 34.49 | 36.11 | 35.74 | 35.14 |
| 4 bpp | 36.89 | 34.31 | 35.88 | 35.48 | 34.93 |
| 2 bpp | 34.21 | 32.64 | 33.82 | 33.31 | 32.94 |
| 1 bpp | 30.65 | 29.79 | 30.58 | 29.91 | 29.62 |
| 0.8 bpp | 29.58 | 28.88 | 29.51 | 28.90 | 28.62 |
| 0.4 bpp | 27.12 | 26.52 | 26.95 | 26.24 | 25.87 |

그리고 워터마크를 SPIHT 비디오 부호화 과정에서 압축하기 전에 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입하였

음에도 불구하고 PSNR을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 표 3은 SPIHT 압축률에 따른 PSNR을 나타내었다.

그림 4는 원 프레임과 제안한 방법으로 선택된 PSC와 워터마크가 삽입된 프레임 그리고 MPEG 압축된 프레임을 나타내었다. 워터마크를 삽입한 프레임의 화질의 열화가 없음을 확인할 수 있고 이 프레임을 다시 MPEG 압축하는 경우도 비가시성을 유지함을 확인할 수 있었다.

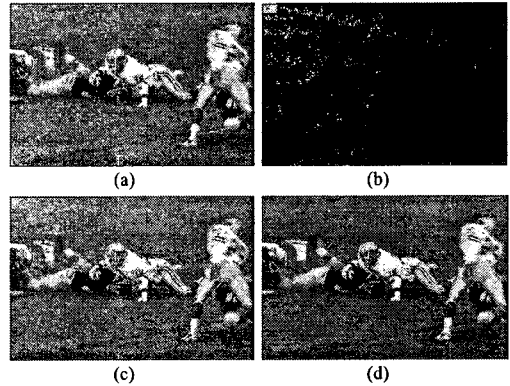
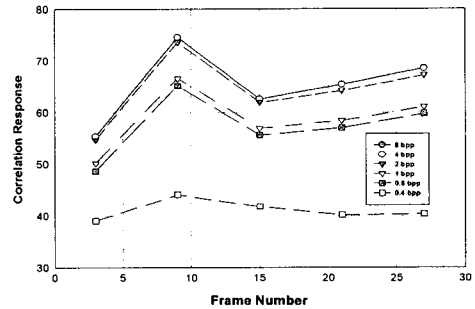
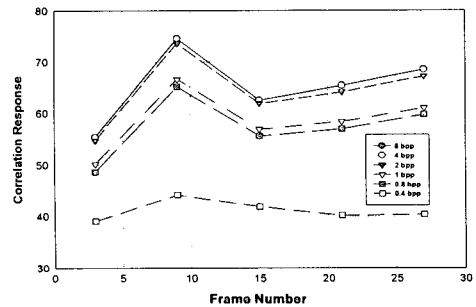


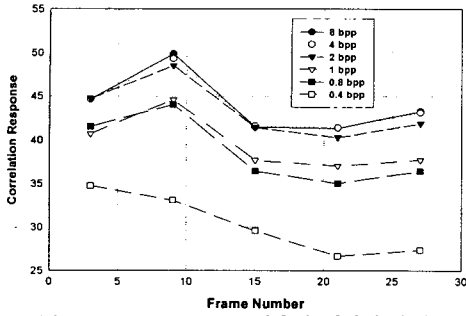
그림 4. MPEG에 대한 비가시성 (a) 원 프레임, (b) 워터마크가 삽입된 계수, (c) 워터마크가 삽입된 프레임, (d) MPEG 2.0 Mbps로 압축된 프레임



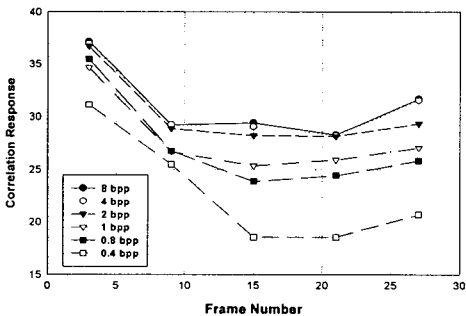
(a) 워터마크가 삽입된 영상의 유사도



(b) MPEG 2.0 Mbps로 압축된 영상의 유사도



(c) MPEG 1.5 Mbps로 압축된 영상의 유사도



(d) MPEG 1.0 Mbps로 압축된 영상의 유사도

그림 5. 유사도 MPEG 압축률에 따른 유사도

그림 5는 다양한 SPIHT 압축률로 압축된 비디오 신호에 대해 MPEG 실험을 하여 유사도를 나타낸 그림이다. 실험 결과에서 보듯이 각 SPIHT 압축률에서도 워터마크의 강인성을 확인하였고, 이러한 비디오 신호를 일반적으로 많이 쓰이는 MPEG으로 재압축 하는 경우에도 워터마크의 강인성을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 DCT 기반으로 하는 비디오 부호화 방법에서 발생하는 블록킹 현상을 제거하고 점진적 전송 특성을 갖는 비디오를 얻기 위해 웨이브릿 변환 영역에서 SPIHT를 이용한 비디오 부호화 과정에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. SPIHT 비디오 부호화 과정에서 시간 중복성을 이용하여 I 프레임 이전 프레임의 움직임 벡터를 이용하여 I 프레임에서 워터마크를 삽입할 영역을 선택한 다음, HVS를 이용하여 선택된 영역에서 PSC를 선택해 적응적으로 워터마크를 삽입하였다. 실험결과 비가시성의 우수함을 확인할 수 있었고, MPEG과 같은 일반적인 압축 방법에서도 강인함을 확인하였다. 제안한 방법은 부호화 과정 중에 워터마크를 삽입하기 때문에 실시

간 처리가 가능해져 앞으로 방송 감시 시스템 등에 응용이 가능하다.

Acknowledgements. This work was supported by grant No. (R01-2002-000-00589-0) from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation.

[참고문헌]

- [1] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for wavelet quantization error," *Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imageing*, vol. 2657, pp.381-392, 1996.
- [2] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using the wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 1, pp. 205-220, 1992.
- [3] C. Podilchuk, and W. Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [4] F. Hartung, and B. Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 283-301, May 1998.
- [5] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Multiresolution Scene-based Video Watermarking using Perceptual Models," *IEEE journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 16, no.4, May 1998.
- [6] ZHU Zhongjie, JIANG Gangyi, YU Mei, and WU Xunwel, "New Algorithm for Video Watermarking," *ICSP'02 Proceedings*, pp. 760-763, 2002.
- [7] J. Karlekar, and U. Desai, "SPIHT video coder," *IEEE Region 10 International Conference on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control*, vol. 1, pp. 45-48, 1998.
- [8] J. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.