

논문 2005-42SP-6-4

3차원 웨이블릿 변환과 이진 영상 워터마크를 이용한 비디오 워터마킹

(A Video Watermarking Using 3D DWT and Binary Image Watermark)

김 승 진*, 김 태 수*, 권 기 룡**, 이 건 일*

(Seung-Jin Kim, Tae-Su Kim, Ki-Ryong Kwon, and Kuhn-Il Lee)

요 약

본 논문에서는 저작권 보호를 위한 3차원 웨이블릿 변환과 대역확산방법 (spread spectrum sequences)을 이용한 비디오 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 두 개의 이진 영상 워터마크를 혼합(mixing)과 임의 교환 (pseudorandom permutation)을 이용하여 전처리 하고, 비디오 영상을 장면 단위로 나누어 3차원 DWT를 수행 한다. 전처리된 워터마크를 3차원 웨이블릿 계수에 대역확산방법을 이용하여 삽입한다. 실험결과 워터마크가 삽입된 프레임은 비가시성을 만족하였고, 저역통과 필터링, 프레임 누락 (dropping), 프레임 평균 (averaging), 및 MPEG 부호화와 같은 공격에 대한 견고성이 기존의 방법보다 우수함을 확인하였다.

Abstract

An effective video watermarking algorithm is proposed to protect the copyright. The watermarking procedure is based on a three-dimensional discrete wavelet transform (3D DWT) and spread spectrum sequences. Two perceptual binary watermarks are preprocessed using mixing and pseudorandom permutation. After dividing the video sequence into video shots, the 3D DWT is performed, then the preprocessed watermarks are embedded into the 3D DWT coefficients, while considering robustness and invisibility, using two spread spectrum sequences defined as the user key. Experimental results show that the watermarked frames are subjectively indistinguishable from the original frames, plus the proposed video watermarking algorithm is sufficiently robust against such attacks as low pass filtering, frame dropping, frame average, and MPEG coding.

Keywords: 3차원 웨이블릿 변환, 이진 영상 워터마크, 대역확산방법, 비디오 워터마킹.

I. 서 론

디지털 방송 및 DVD 등의 멀티미디어 산업의 발전과 인터넷 등의 네트워크의 발달에 의하여 원 데이터가

복사되어 빠르고 널리 배포되므로 디지털 데이터의 저작권 보호에 어려움이 따른다. 디지털 워터마킹은 대상 데이터의 소유자 또는 분배자의 개인 정보, 즉 워터마크를 데이터 내에 삽입시켜 저작권을 보호하는 방법으로 삽입된 워터마크는 필요에 따라 인간 시각에 의하여 감지되지 않는 비가시성과 다양한 공격들에 대하여 제거되지 않는 견고성을 만족하여야 한다. 이와 같은 디지털 워터마킹은 저작권 보호를 위한 효과적인 방법으로 관심을 끌어왔고, 그 결과 다양한 워터마킹 방법들이 연구되어 왔다.^{[1]-[4]}

원 비디오의 화질 열화가 발생하지 않고 견고성을 증가시키기 위해 Hsu 등^[2]이 제안한 방법에서는 원 비디

* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

** 정회원, 부산외국어대학교 디지털정보공학부
(Division of Digital and Information Engineering, Pusan University of Foreign Studies)

* 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2005년5월2일, 수정완료일: 2005년9월22일

오에 대하여 DCT를 행한 후, 워터마크를 삽입하기 위해 인접 블록의 DCT 계수 사이의 극성 (polarity)을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 DCT 계수값이 극성을 유지하기 위해 변화되므로 워터마크를 삽입 할수록 DCT 계수의 오차가 누적되어 화질 열화가 발생한다. 또한 Niu 등^[3]이 제안한 방법에서는 움직임의 다소에 따라 원 비디오를 영역분류한 후, 영역별 3차원 DWT 및 2차원 DWT를 각각 수행한다. 그리고 피라미드 계층구조 (pyramid hierarchical structure)를 이용하여 전처리된 워터마크를 웨이블릿 계수에 삽입한다. 그러나 워터마크의 견고한 삽입을 위해 오류 정정 부호를 사용함으로써 많은 부가정보가 삽입되어 비가시성이 나빠지며, 전처리 과정에서 그레이 레벨 영상을 비트 플레인 (bit plane) 후 이진화 하여 삽입함으로써 상위 비트에서 에러가 발생할 때 견고성이 떨어진다.

본 논문에서는 3차원 DWT과 대역확산방법을 기반으로 두 개의 이진 영상 워터마크를 이용하는 비디오 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 두 개의 이진 영상 워터마크를 공간적 견고성을 위해 혼합과 임의의 교환을 이용하여 전처리 하고 비디오 영상을 장면 단위로 나누어 3차원 DWT를 수행한다. 전처리된 워터마크를 시간적 견고성을 위해 대역확산방법을 이용하여 비디오 워터마크로 변환하여 견고성과 비가시성을 고려하여 선택된 부대역들의 웨이블릿 계수에 삽입한다. 삽입된 워터마크는 소유자 키와 검출된 값들 사이의 유사성을 비교하여 추출한다. 성능 평가를 위한 모의실험에서 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 비가시성 및 견고성이 우수함을 확인하였다.

II. 제안한 비디오 워터마킹 방법

제안된 비디오 워터마킹 방법은 이진 영상 워터마크의 전처리, 워터마크 삽입, 및 워터마크 추출의 세 단계로 구성되며 제안된 비디오 워터마킹 방법의 블록도는 그림 1과 같다.

1. 이진 영상 워터마크의 전처리

워터마크로 랜덤 시퀀스 (random sequence)를 사용하기도 하지만 도장 또는 서명을 사용하는 경우, 이진 영상을 워터마크로 사용하는 것이 더욱 효율적이다. 또한 이진 영상 워터마크는 추출 후 유사도를 이용한 객관적인 면에서 저작권 주장이 가능할 뿐만 아니라 주관적인 면에서도 시각적인 비교가 가능하다.

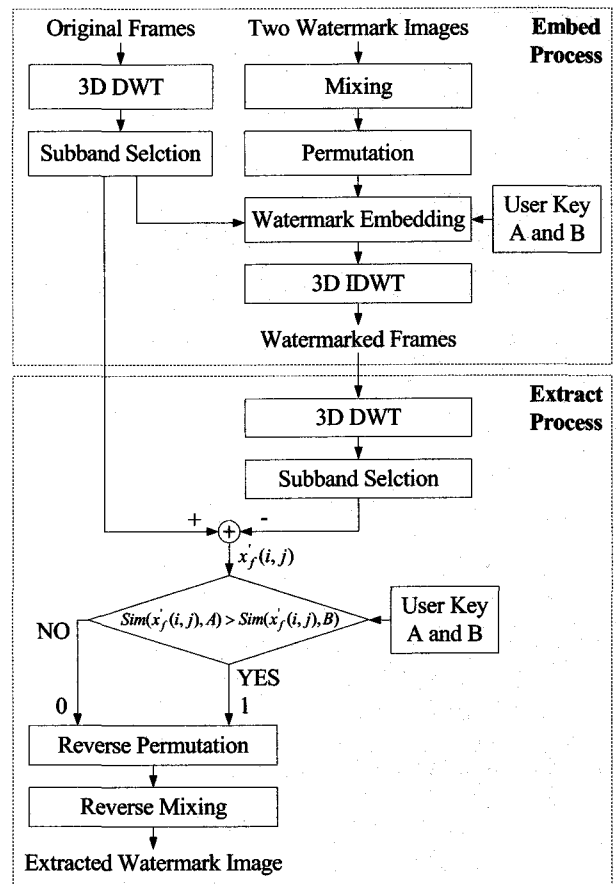


그림 1. 제안한 비디오 워터마킹 알고리즘의 블록도
Fig. 1. A block diagram of the proposed video watermarking algorithm.

제안한 방법에서는 두 개의 이진 영상 워터마크를 사용한다. 만약 하나가 공격을 받더라도 나머지 하나로 소유권을 확인할 수 있으며 저작권자와 소유자를 확인하기 위한 워터마크로 각각 사용할 수 있다. 이진 영상 워터마크를 절단 (cropping)과 같은 공간적인 공격에 견고하기 위하여 혼합되고 2차원 임의교환 한다.^[4] 혼합된 워터마크 $w_{m1}(i, j)$ 와 $w_{m2}(i, j)$ 는 각각

$$w_{m1}(i, j) = \begin{cases} w_1(i, j) & \text{if } i = 2k \\ w_2(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$w_{m2}(i, j) = \begin{cases} w_1(i, j) & \text{if } i = 2(k+1) \\ w_2(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

와 같다. 여기서 $w_1(i, j)$ 와 $w_2(i, j)$ 는 각각 이진 영상 워터마크이며 $k = 1, 2, \dots, N/2$ 이다.

또한 혼합된 워터마크에 대하여 2차원 임의교환 되어 전처리 된 워터마크 $w_{p1}(i, j)$ 와 $w_{p2}(i, j)$ 는 각각

$$\begin{aligned}
 w_{p1}(i, j) &= w_{m1}(i', j') \\
 w_{p2}(i, j) &= w_{m2}(i', j') \\
 \text{where } 0 \leq i, i' \leq M \text{ and } 0 \leq j, j' \leq N
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

와 같다. 여기서 $M \times N$ 은 워터마크 영상의 크기이다.

1 또는 0의 정보를 가지는 전처리 된 워터마크를 대역확산방법을 이용하여 집합 P 와 집합 Q 의 원소로 구성된 비디오 워터마크로 변환한다.^[8] 동일한 워터마크를 연속적인 프레임에 삽입할 경우 프레임 사이의 통계적 특성을 비교 및 분석함으로써 워터마크 검출이 용이하다. 또한 워터마크 검출시 집합 P 와 집합 Q 를 이용한 유사도를 사용함으로써 특정 프레임이 공격을 받더라도 워터마크 검출이 가능하다. 따라서 이 방법은 프레임 누락, 프레임 평균, 및 MPEG 부호화와 같은 시간영역에서의 다양한 공격에 대해 충분히 견고하다. 대역확산 방법에 의하여 생성된 비디오 워터마크 $w_f(i, j)$ 는

$$\begin{aligned}
 w_f(i, j) &= \begin{cases} p_f, & \text{if } w_{p1}(i, j) = 1 \\ q_f, & \text{if } w_{p2}(i, j) = 0 \end{cases} \\
 P &= \{p_1, p_1, p_1, \dots, p_f\} \\
 Q &= \{q_1, q_1, q_1, \dots, q_f\}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

와 같다. 여기서 f 는 1, 2, ..., F 이고, F 는 원 비디오에서 한 장면에 해당하는 프레임 수를 나타낸다. 그리고 집합 P 및 집합 Q 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규 분포를 갖는 가우스 랜덤 시퀀스이며 워터마크의 추출 과정에서 소유자 키로 사용된다.

2. 워터마크 삽입

정지영상 워터마킹 방법을 비디오 워터마킹 방법에 확장하는 경우, 연속적인 프레임들을 통계적인 방법으로 비교 및 분석함으로써 비디오의 움직임이 적은 영역에서 워터마크 추출이 용이하며 프레임 평균과 프레임 누락 등의 시간적인 공격들에 대한 견고성이 떨어진다. 따라서 제안한 방법에서는 공간영역에서 DWT에 의해 변환된 각 프레임에 대하여 장면 단위로 시간영역으로의 1차원 DWT를 적용한 3차원 DWT^{[5],[6]}를 이용한다.

먼저 시간적 상관성을 고려하기 위해 원 비디오를 공간계차추정 방법 (spatial different metric)^[7]을 이용하여 장면 단위로 나눈 후, 장면별 3차원 DWT를 수행한다. 이진 영상 워터마크를 전처리하여 생성한 비디오 워터마크를 비가시성과 견고성을 위하여 공간영역에서 기저대역 (LL_3)과 최고 주파수 대역 (HH_3)을 제외한 레

벨 3의 부대역들과 시간영역에서 최고 주파수 대역 (HH_1)을 제외한 나머지 부대역에 삽입한다. 이때 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수값 $v'_f(i, j)$ 는

$$v'_f(i, j) = v_f(i, j) \times (1 + \alpha \times w_f(i, j))
 \tag{5}$$

와 같다.^[1] 여기서 $v_f(i, j)$ 는 원 프레임의 웨이블릿 계수값, $w_f(i, j)$ 는 삽입된 워터마크, 그리고 α 는 워터마크 삽입강도를 각각 나타낸다.

3. 워터마크 추출

워터마크의 추출 과정은 삽입 과정의 역과정이며 그 과정을 그림 1에 나타내었다. 제안한 방법에서는 삽입된 워터마크를 추출하기 위하여 원 비디오와 삽입할 때 사용된 소유자 키인 집합 P 와 집합 Q 이 필요하다. 먼저, 원 비디오 및 워터마크가 삽입된 비디오의 웨이블릿 계수의 차를 이용하여 비디오 워터마크를 검출하고, 원 비디오 워터마크와 검출된 비디오 워터마크의 유사도를 계산하여 이진 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크 $w'(i, j)$ 은

$$w'(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } SIM(\tilde{w}_f(k), P) \geq SIM(\tilde{w}_f(k), Q) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \tag{6}$$

와 같다. 이 때 사용된 유사도는

$$SIM(\tilde{w}_f(k), P) = \frac{\sum_{k=1}^F \tilde{w}_f(k) \cdot p_f}{\sum_{k=1}^F p_f^2}
 \tag{7}$$

와 같다. 여기서 $\tilde{w}_f(k)$ 는 검출된 비디오 워터마크를 나타낸다. 2차원 임의교환과 혼합의 역과정을 수행하여 두 개의 이진 영상 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크는 이진 영상이므로, 소유권자는 주관적으로 추출된 워터마크와 원 워터마크를 비교할 수 있으며 객관적인 측정방법으로 정규 상관도 (normalized correlation, NC)를 이용할 수 있다. 정규 상관도 NC는

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i, j) \cdot w'(i, j)}{\sum_i \sum_j (w(i, j))^2}
 \tag{8}$$

와 같다. 여기서, $w(i, j)$ 는 원 이진 영상 워터마크이고 $w'(i, j)$ 는 추출된 이진 영상 워터마크이다.

III. 실험결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 실험 영상으로 352×240 크기의 FOOTBALL 및 FLOWER GARDEN 비디오 영상을 사용 하였다. 워터마크는 그림 2와 같이 44×30 크기의 이진 영상이다. 공간계차추정 방법에 의해 나누어진 장면들은 3 레벨의 3차원 DWT를 수행하기 위해 16 또는 24 프레임으로 구성된다. PSNR (peak signal to noise ratio)과 식 (9)에서 정의한 정규 상관도를 비가시성과 견고성을 위한 척도로 각각 사용하였다.

FOOTBALL과 FLOWER GARDEN 비디오 영상의 원 프레임과 워터마크가 삽입된 프레임을 그림 3 및 그림 4에 나타내었다. 제안한 방법은 비가시성이 우수하

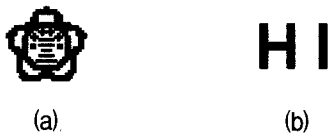


그림 2. (a) 워터마크 1 및 (b) 워터마크 2
 Fig. 2. (a) The watermark image 1 and (b) The watermark image 2.

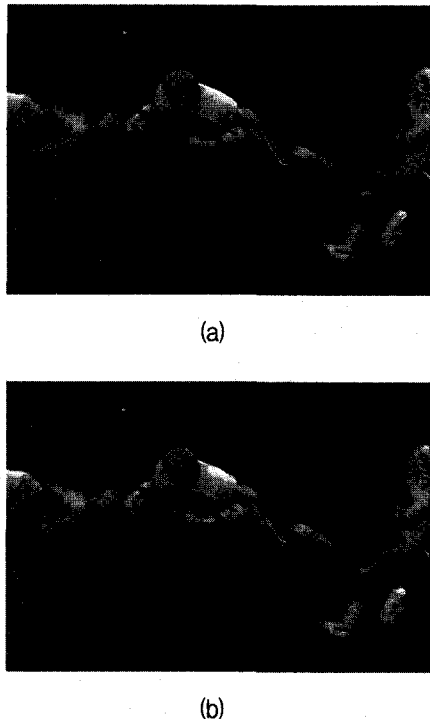


그림 3. FOOTBALL 비디오 영상의 (a) 원 프레임 및 (b) 워터마크가 삽입된 프레임
 Fig. 3. (a) The original frame and (b) the watermarked frame of the FOOTBALL video sequence.

여 시각적으로 워터마크의 삽입여부를 판단할 수 없을 정도의 주관적 화질을 나타내었다. 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘을 사용하여 워터마크를 삽입한 FOOTBALL 64 프레임과 FLOWER GARDEN 64 프레임의 PSNR을 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다.

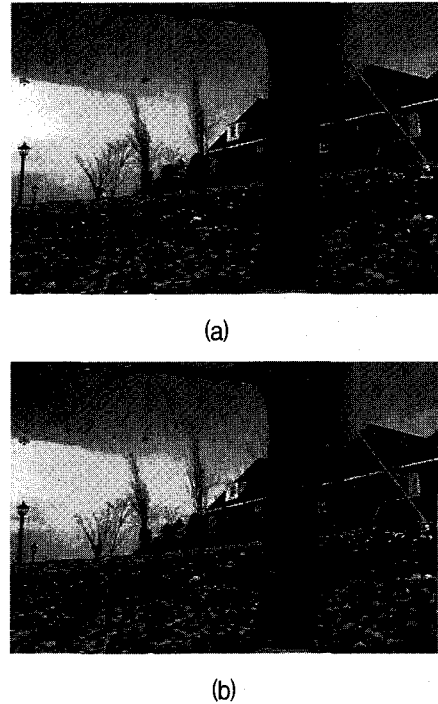


그림 4. FLOWER GARDEN 비디오 영상의 (a) 원 프레임 및 (b) 워터마크가 삽입된 프레임
 Fig. 4. (a) The original frame and (b) the watermarked frame of the FLOWER GARDEN video sequence.

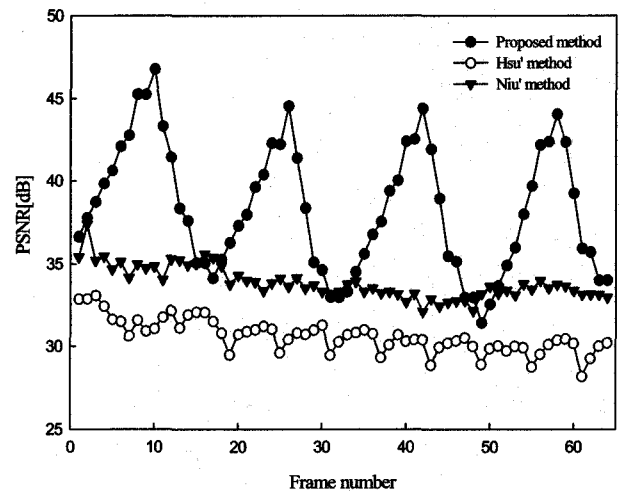


그림 5. 제안한 방법과 기존의 방법에 의해 워터마크가 삽입된 FOOTBALL 64 프레임의 PSNR
 Fig. 5. The PSNR for FOOTBALL 64 frames watermarked using the proposed method and conventional method.

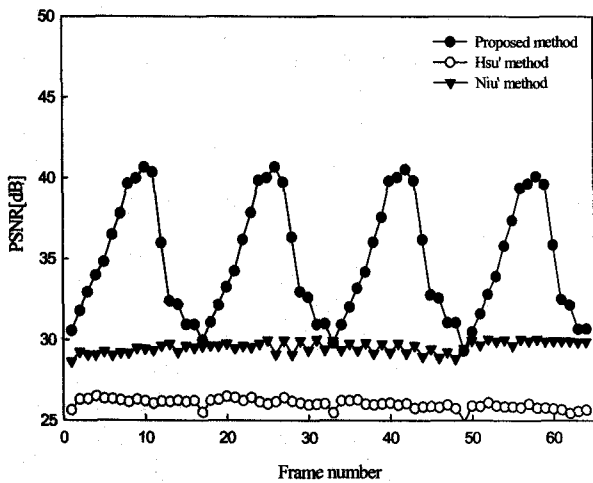


그림 6. 제안한 방법과 기존의 방법에 의해 워터마크가 삽입된 FLOWER GARDEN 64 프레임의 PSNR

Fig. 6. The PSNR for FLOWER GARDEN 64 frames watermarked using the proposed method and conventional methods.

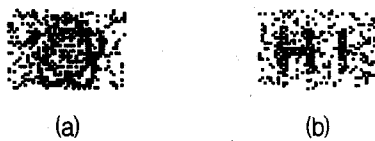


그림 7. FOOTBALL 비디오 영상에 대한 프레임 누락 후 추출된 (a) 워터마크 1 및 (b) 워터마크 2

Fig. 7. (a) The watermark image 1 and (b) The watermark image 2 extracted after frame dropping for football video sequence.

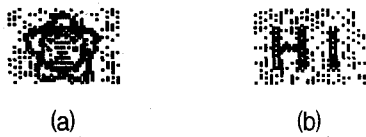


그림 8. FOOTBALL 비디오 영상에 대한 MPEG 부호화 후 추출된 (a) 워터마크 1 및 (b) 워터마크 2

Fig. 8. (a) The watermark image 1 and (b) The watermark image 2 extracted after MPEG coding for football video sequence.

객관적 화질에서도 기존의 방법보다 제안한 방법에 의해 워터마크가 삽입된 프레임들의 PSNR이 높다.

견고성을 측정하기 위하여, 공간적 저역통과 필터, 프레임 누락, 프레임 평균, 및 MPEG 부호화와 같은 다양한 공격들이 사용하였다. 프레임 누락에 대한 실험에서는 홀수번째 프레임들이 누락되고 누락된 프레임들은 프레임간 내삽을 통해 대체하였다. 워터마크가 삽입된

표 1. 다양한 공격 후 FOOTBALL 64 프레임에서 추출된 워터마크의 평균 정규 상관도

Table 1. The average NC of the watermarks extracted in football 64 frames after the various attack.

Attacks	Average NC			
	Hsu's method	Niu's method	Proposed method	
			Watermark image 1	Watermark image 2
Spatial LPF	0.51	0.65	0.74	0.75
Frame dropping	0.61	0.69	0.80	0.80
Frame averaging	0.48	0.66	0.69	0.72
MPEG coding	0.51	0.81	0.85	0.85

FOOTBALL 비디오 영상의 한 프레임에서 추출된 워터마크를 그림 7에 나타내었고, 추출된 워터마크의 정규 상관도는 각각 0.819와 0.793이다. MPEG 부호화에 대한 실험에서는 1.5 Mbps에서 부호화된 프레임들을 사용하였다. 워터마크가 삽입된 FOOTBALL 비디오 영상의 한 프레임에서 추출된 워터마크를 그림 8에 나타내었고, 추출된 워터마크의 정규 상관도는 각각 0.844와 0.846이다. 추출된 워터마크의 주관적 화질은 디지털 미디어의 저작권과 소유권을 주장할 만큼 충분히 좋다.

다양한 공격을 행한 후 FOOTBALL 비디오 영상의 64 프레임에서 추출된 워터마크에 대한 정규 상관도를 표 I에 나타내었다. 제안한 방법은 기존의 방법들에 비하여 추출된 워터마크의 정규 상관도가 더 높았고 모든 공격에 대해서 견고성이 우수함을 확인하였다. 이와 같이 제안한 방법으로 추출된 워터마크는 다양한 공격에도 비디오의 저작권을 주장하기에 충분한 성능을 보였으며, 기존의 방법들에 비하여 비가시성 및 견고성이 우수함을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 3차원 DWT과 대역확산방법을 기반으로 두 개의 이진 영상 워터마크를 이용하는 비디오 워터마킹 방법을 제안하였다. 혼합과 임의 교환을 이용하여 전처리한 워터마크를 대역확산방법에 의하여 비디오 워터마크로 변환한 후, 견고성과 비가시성을 고려하여 선택된 3차원 DWT의 부대역에 삽입한다. 성능 평가를 위한 모의실험에서 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 비가시성 및 견고성이 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shanon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Proc.*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [2] C. T. Hsu and J. L. Wu, "DCT-based watermarking for video," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, no. 1, pp. 206-216, 1998.
- [3] X. Niu, S. Sun, and W. Xiang, "Multiresolution watermarking for video based on gray-level digital watermark," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 46, no. 2, pp. 375-384, May 2000.
- [4] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden digital watermarks in images," *IEEE Trans. on Image Proc.*, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [5] C. I. Podilchuk, N. S. Jayant, and N. Farvardin, "Three-dimensional subband coding of video," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 125-139, Feb. 1995.
- [6] C. I. Podilchuk, N. S. Jayant, and N. Farvardin, "Three-dimensional subband coding of video," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 125-139, Feb. 1995.
- [7] X. Gao and X. Tang, "Unsupervised video-shot segmentation and model-free anchorperson detection for news video story parsing," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 12, no. 9, pp. 765-776, Sep. 2002.
- [8] J. J. K. O. Ruanaidh and G. Csurka, "A bayesian approach to spread spectrum watermark detection and secure copyright protection of digital image libraries," *IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 23-25, June 1999.

저자 소개

김 승 진(정회원)
제41권 SP편 제6호 참조

김 태 수(정회원)
제41권 SP편 제6호 참조

권 기 룡(정회원)
제37권 SP편 제9호 참조

이 건 일(정회원)
제41권 SP편 제6호 참조