

움직임 벡터 정보를 이용한 SPIHT 부호화 기반의 디지털 비디오 워터마킹

권성근[†], 황의창^{**}, 이미희^{***}, 정태일^{****}, 권기룡^{****}

요 약

비디오 워터마킹은 일반적으로 네 가지의 타입으로 분류되어진다. 첫 번째로는 원 비디오 신호에 워터마크를 삽입한 후 부호화하는 것으로 대부분의 비디오 워터마킹 기법이 이에 속한다. 두 번째로는 블록 DCT, 양자화 등의 부호화 과정에 워터마크를 삽입하는 것이고, 세 번째로는 부호화된 비트스트림에 워터마크를 삽입하는 것으로 이를 라벨링 (labeling)이라고도 한다. 마지막으로 네 번째로는 움직임 벡터에 워터마크를 삽입하는 것으로, 이는 높은 복잡도가 요구되며 블록화 현상과 같은 화질 열화가 발생된다. 본 논문에서는 움직임 벡터 추정을 이용한 I 프레임 상에서 SPIHT 기반의 비디오 부호화에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 이는 블록 DCT 기반의 부호화에 발생하는 블록화 현상을 제거하고, 점진적 전송 특성을 가진다. 제안한 방법에서는 I 프레임 상에서 이전 P 또는 B 예측 프레임으로부터 움직임 벡터를 추정한 후에 이를 기반으로 워터마크 삽입 영역을 선택한다. 그리고 DWT를 수행하여 워터마크 삽입 영역 상에서 움직임 벡터의 방향과 동일한 부대역 상의 웨이블릿 계수를 HVS에 기반하여 워터마크를 삽입한다. 마지막으로 SPIHT 부호화에 의하여 워터마크가 삽입된 비디오 비트스트림을 생성한다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 객관적 및 주관적인 화질 측면에서 우수한 비가시성을 확인하였고, 다양한 압축률 및 MPEG 재부호화 등에 대하여 우수한 강인성을 확인하였다.

Digital Video Watermarking Based on SPIHT Coding Using Motion Vector Analysis

Seong-Geun Kwon[†], Eui-Chang Hwang^{**}, Mi-Hee Lee^{***},
Tai-il Jeong^{***}, Ki-Ryong Kwon^{****}

ABSTRACT

Video watermarking technologies are classified into types of four kinds. The first type is to embed the watermark into a raw video signal and to code the watermarked video signal. Most of video watermarking technologies fall into the category of this type. The second type is to apply watermarking to the coding process, such as block DCT and quantization. The third is to directly embed the watermark into the compressed bitstream itself. Generally, it is referred as labelling rather than watermarking. Finally, the fourth is to embed the watermark into MPEG motion vector. This type has the difficulty in real-time process because of the high complexity and has the blocking effects because of DCT-based on coder. In this paper, we proposed the digital video watermarking that embed the watermark in SPIHT video code for I-frame using motion vector analysis. This method can remove the blocking effect occurred at the DCT-based on coder and obtain video data that has progressive transmission property. The proposed method is to select the region for the watermark embedding in I frame using motion vector estimated from the previous P or B frame. And then, it is to perform DWT and embed the watermark based on HVS into the wavelet coefficients in the same subband of DWT as the motion vector direction. Finally, the watermarked video bitstream is obtained by the SPIHT coder. The experimental results verified that the proposed method has the invisibility from the objective and subjective image quality and the robustness against the various SPIHT compression and MPEG re-code.

Key words: Digital Video Watermarking(디지털 비디오 워터마킹), Motion Vector Analysis(움직임 추정 정보), SPIHT Coding(SPIHT 부호화)

1. 서 론

최근 컴퓨터와 네트워크의 발달과 함께 정지영상, 오디오, 비디오 등 디지털 콘텐츠의 불법적인 복제나 유통으로 인한 지적재산권 문제가 크게 대두되고 있다. 따라서 소유권자의 동의가 없는 불법적인 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호 기술이 대두되고 있다. 이 기술들중 디지털 워터마킹(digital watermarking) 기법은 디지털 콘텐츠의 소유자 또는 분배자의 개인 정보인 워터마크(watermark)를 데이터 내에 삽입시켜 불법 복제 방지 및 지적재산권 및 저작권을 보호하며, 소유권을 주장할 수 있는 근거를 제시할 수 있도록 하는 기술이다[1-10]. 일반적인 워터마킹의 필요조건으로는 비가시성(invisibility), 강인성(robustness), 명확성(unambiguity) 등이 있다. 비가시성은 워터마크가 삽입된 데이터와 원 데이터와의 구분이 불가능해야 한다는 것이며, 강인성은 삽입된 워터마크가 다양한 공격에 대해 제거 혹은 파괴되지 않아야 한다는 것이다. 그리고 명확성은 워터마크가 삽입된 데이터에 대하여 저작권을 명확히 증명할 수 있어야 한다는 것이다.

워터마킹은 삽입할 콘텐츠에 따라 오디오, 정지영상 및 비디오 워터마킹으로 나누어진다. 일반적으로 정지영상에 대한 워터마킹 알고리즘은 공간 영역(spatial domain)[2,3] 및 주파수 영역[4-8] 상에서 삽입하는 방법에 따라 나누어진다. 공간 영역 상에서의 워터마킹에서는 영상의 회색 준위를 변형시켜 워터마크를 삽입하며, 주파수 영역 상에서의 워터마킹에서는 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform, DFT), 이산 역현 변환(discrete cosine transform, DCT), 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT) 등과 같은 주파수 변환에 의하여 생성된 주파수 계수들을 변형시켜 워터마크를 삽입한다.

비디오 워터마킹에서는 각 프레임 상에서 삽입 방

법, 부호화 과정에서의 삽입 방법, 또는 부호화된 비트스트림 상에서 삽입 방법 등이 있다. 여기서 워터마킹의 필요조건인 비가시성, 강인성, 명확성 외에 비트스트림의 비트율을 증가시키지 않아야 하는 고정 비트율(constant bit-rate) 그리고 워터마크 검출시 낮은 복잡도(low cost) 등의 조건이 요구된다. 1998년 Swanson 등[11]은 비디오 데이터를 장면(scene)별로 시간축 웨이브릿 변환한 후 비디오의 공간 마스크, 주파수 마스크 및 시간적 특성을 이용하여 정적 시간 성분 및 동적 시간 성분의 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 비디오 장면에서의 프레임 위치 정보 없이 하나의 프레임으로부터 워터마크를 검출할 수 있는 장점이 있으나 원 비디오 데이터를 장면별로 웨이브릿 변환하므로 복잡도가 높아지는 단점이 있다. 1998년 Hartung 등[12]은 부호화된 비디오 비트스트림을 복호화한 후 복호화된 프레임 상에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 복호화된 비디오 데이터의 공간 및 시간상에서 1차원으로 라인 스캔(line scan)을 행하여 얻은 신호에 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 비트스트림의 증가없이 워터마크를 삽입할 수 있는 장점을 갖지만 부호화된 신호를 다시 복호화한 후 워터마크를 삽입하므로 복잡성이 높은 단점을 가진다. 1998년 Langelaar 등[13]이 제안한 방법은 부호화된 비트스트림 내에 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 일반적으로 라벨링(labeling)으로 표현된다. 2002년 Zhongjie 등[14]은 MPEG-2 부호화 과정에서 P, B 프레임의 움직임 벡터 정보에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 MPEG 부호화 과정의 DCT 기반으로 수행되므로 높은 압축시 블록화 현상과 같은 화질 열화가 심하게 나타나는 문제점이 있다.

위에서 살펴보듯이 기존 방법들에서는 높은 복잡성 및 블록 DCT 기반의 MPEG 부호화 과정에서 발생하는 블록화 현상과 같은 화질 열화가 발생한다.

(E-mail : mihil@csc.ac.kr)

**** 정회원, 동명정보대학교 정보통신공학과

(E-mail : tijeong@hanmail.net)

***** 중신회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과와 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (KRF-2007-521-D00461)

* 교신저자(Corresponding Author) : 권기룡, 주소 : 부산광역시 남구 대연동 산 599-1(608-737), 전화 : 051)620-6495, FAX : 051)620-6350, E-mail : krkwon@pufs.ac.kr
접수일 : 2007년 10월 10일, 완료일 : 2007년 11월 18일

† 정회원, 삼성전자 무선사업부

(E-mail : seonggeunkwon@hanmail.net)

** 준회원, (주)미디어코러스 연구소

(E-mail : cchang7777@hanmail.net)

*** 창신대학 모바일통신과

따라서 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 웨이블릿 기반인 SPIHT 비디오 부호화 과정에서 움직임 벡터 분석을 이용한 비디오 워터마킹을 제안한다. 제안한 방법에서는 현재 I 프레임 상에서 이전 P 또는 B 프레임 상에 대한 움직임 벡터 정보를 예측하여 워터마크 삽입 영역을 선택한다. 그리고 I 프레임을 DWT를 수행한 후, 선택된 영역의 움직임 벡터와 같은 방향의 부대역을 선택한다. 선택된 영역의 각 부대역에서 Watson 등[8]이 제안한 지각적 양자화와 적응적 비트할당을 위하여 사용했던 문턱값으로 워터마크를 삽입할 지각적 중요 계수를 선택하여 이 계수에 워터마크를 삽입한다. 제안한 방법의 비가시성 및 강인성의 성능 평가를 위하여 다양한 실험 영상에 대한 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 실험결과 제안한 방법이 압축률에 따른 우수한 비가시성을 가짐을 확인하였고, MPEG과 같은 다른 비디오 부호화에서도 강인성을 유지함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 SPIHT 웨이블릿 비디오 부호화의 구조, 3장에서는 제안한 I 프레임에서의 비디오 워터마킹 방법이 이루어지며, 4장에서는 제안한 방법의 비가시성과 강인성에 대한 실험결과 및 고찰, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

2 SPIHT 웨이블릿 부호화

2.1 SPIHT 웨이블릿 부호화

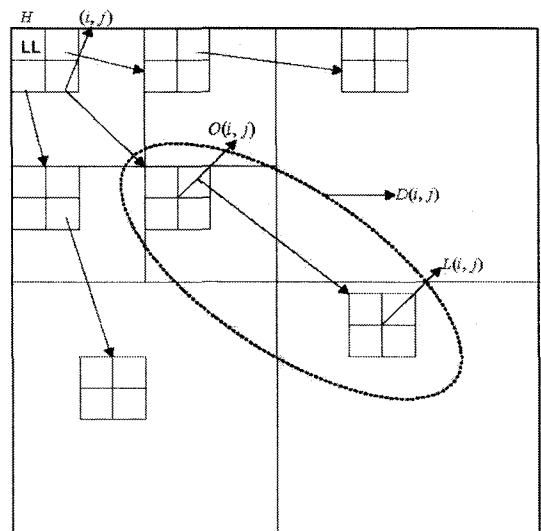
본 장에서는 SPIHT 웨이블릿 부호화에 대하여 간략히 살펴보기로 한다. Shapiro[15]가 제안한 EZW (embedded zerotree wavelet coder)는 원하는 압축률을 정확하게 얻을 수 있고, 점진적 전송에 유리하며 다음의 세 가지 기본 개념에 기초한다. 첫째, 웨이블릿 변환된 계수는 크기 순으로 set partitioning 알고리즘에 의해 정렬된다. 둘째, 크기 순으로 정렬된 계수들의 비트 평면을 전송한다. 셋째, 웨이블릿 변환된 계수가 서로 다른 대역 간에 가지는 자기 유사성(self-similarity)을 이용한다.

SPIHT는 위의 EZW 개념을 이용하고, 효과적인 set partitioning 알고리즘과 응축된 중요성 정보의 전송을 통하여 영상을 부호화하기 때문에 엔트로피 부호화를 하지 않고도 EZW 및 이전에 제안된 다른 영상 압축 알고리즘들에 비하여 속도가 빠르며, 점진

적 전송에 유리하고, 동일한 압축률에서 우수한 화질을 나타낸다[16].

그림 1은 공간-방향 트리 (spatial-orientation tree)가 4개의 부밴드 분할로 만들어진 피라미드 구조에서 어떻게 정의되는가를 보여준다. 트리의 각 노드는 하나의 화소에 대응하고, 화소 좌표에 의해 식별된다. 하나의 화소 좌표의 직접적인 자손 (off-spring)은 피라미드의 더 세밀한 다음 레벨에서 같은 공간적 위치에 있는 화소들에 대응한다. 트리는 각 노드가 자식을 갖지 않거나 4개의 자식을 갖도록 정의된다. 그리고 이 4개의 자식들은 항상 2x2 이웃 화소들로 그룹을 형성한다. 피라미드 최상위 레벨의 화소들은 트리의 뿌리들이고 또한 2x2 이웃 화소들로 그룹 지어진다. 그러나 각 화소들의 자식 분지 (branching) 규칙은 다르고, 각 그룹에서 기저대역은 자손을 갖지 않는다.

SPIHT의 부호화 과정은 초기화 과정과 분류 과정 (sorting pass), 세분화 과정 (refinement pass) 그리고 양자화 단계 갱신 과정 (quantization-step update)으로 구성된다. 초기화 과정은 부분 집합들의 중요성 검사를 하는 것으로 다음과 같은 세 가지 순서 목록으로 중요성 정보가 저장된다. 중요하지 않은 집합들의 목록인 LIS (list of insignificant sets), 중



$O(i, j)$: 노드 (i, j) 의 모든 자식들의 좌표 집합
 $D(i, j)$: 노드 (i, j) 의 모든 자손들의 좌표 집합
 H : 모든 공간 근원 트리 뿌리들의 좌표 집합

그림 1. 공간-방향 트리에서의 부모-자식 의존관계 예

요한 화소들의 목록인 LSP (list of significant pixels) 그리고 중요하지 않은 화소들의 목록인 LIP (list of insignificant pixels)이다. 이 목록들에는 좌표 (i, j) 가 저장되며 이 좌표가 LSP와 LIP에서는 각 화소를 의미하지만 LIS에서는 그 노드 (i, j) 의 모든 자손들의 좌표 집합인 $D(i, j)$ 또는 모든 자식들의 좌표 집합을 제외한 $L(i, j)$ 를 나타낸다. 여기서 $D(i, j)$ 를 type-A라 하고 $L(i, j)$ 을 type-B라 한다. 분류 과정에서는 LIP에 있는 모든 화소들에 대하여 중요성 검사를 수행하고, 중요한 화소로 판단되면 이를 LSP에 포함한다. 또한 LIS에 있는 집합들도 중요성 검사를 수행하고, 중요한 집합이면 목록에서 제거된 후 4개의 집합으로 다시 나눈다. 이 새로운 부분집합들이 하나 이상의 구성요소들을 가지면 다시 LIS에 포함되고, 하나의 좌표만 포함되고 있으면 이 화소값이 중요성 검사에 의하여 LSP 또는 LIP에 각각 포함된다. 세분화 과정에서는 LSP에 있는 모든 화소들의 MSB가 수신측으로 보내진다.

2.2 SPIHT 비디오 부호기

SPIHT 기반의 비디오 부호기 블록도는 그림 2에서와 같다. H.261이나 H.263에서는 공간적인 중복성을 제거하기 위하여 직교변환으로 사용하는 DCT 대신에 웨이브릿 변환을 사용하며, 웨이브릿 변환된 계수의 효율적인 부호화를 위하여 SPIHT 부호화 알고리즘을 사용한다[17]. 시간적 중복성을 제거하기 위한 움직임 추정(motion estimation)은 매크로 블록(16×16)에 대하여 반화소 단위로 수행된다. 여기서 움직임 보상(motion compensation)에서는 블록 중첩 움직임 보상 기법인 OBMC (overlapped block motion compensation)을 사용하므로 블록화 현상에 의한 화질 열화를 감소시킨다.

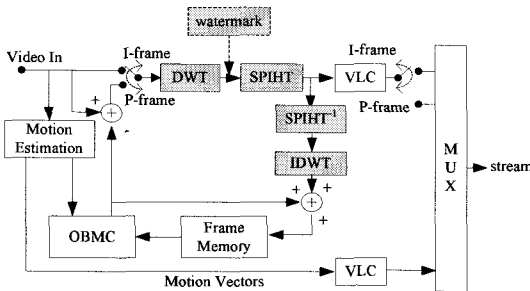


그림 2. SPIHT 비디오 부호기에서 워터마킹

3. 제안한 비디오 워터마킹 알고리즘

본 논문에서는 움직임 벡터 분석을 이용한 SPIHT 기반의 디지털 비디오 워터마킹 기법을 제안한다. 즉, 제안한 방법에서는 그림 3에서와 같이 이전 프레임의 움직임 벡터 분석을 이용하여 데이터 손실이 가장 작은 I 프레임에서 워터마크를 삽입할 영역을 웨이브릿 상에서 선택한다. 그리고 움직임 벡터의 방향성 및 HVS 기반의 지각적 중요 계수에 따라 워터마크를 적응적으로 삽입한다. 마지막으로 웨이브릿 계수들을 SPIHT 기법에 의하여 압축하여 워터마크가 삽입된 비디오 비트스트림(bitstream)을 얻는다.

3.1 워터마크 삽입 영역 및 계수 선택

제안한 방법에서는 GOP (group of picture)의 첫 번째 프레임인 I 프레임에 워터마크를 삽입하므로 이 프레임 상에서 워터마크를 삽입하고자 하는 영역을 선택해야 한다. 즉, 현재 I 프레임 상에서 이전 GOP의 마지막 B 또는 P 프레임에 대한 매크로 블록 단위로 움직임 벡터를 추정한다. 만약 현재 GOP와 이전 GOP가 움직임 차이가 많이 발생하는 경우 즉, 다른 장면일 때에는 이후 P, B 프레임의 움직임 벡터 정보를 이용한다. 그리고 이 움직임 벡터 위치에서 워터마크를 삽입하고자 하는 영역을 선택한다. 그림 4는 k번째 I 프레임 상에서 k-1번째 P 프레임에 대한 움직임 벡터 예측을 이용하여 선택된 워터마크 삽입 영역을 나타내고 있다. 빗금친 부분인 삽입 영역을 제외한 나머지 영역에서 두 프레임 간의 움직임 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다.

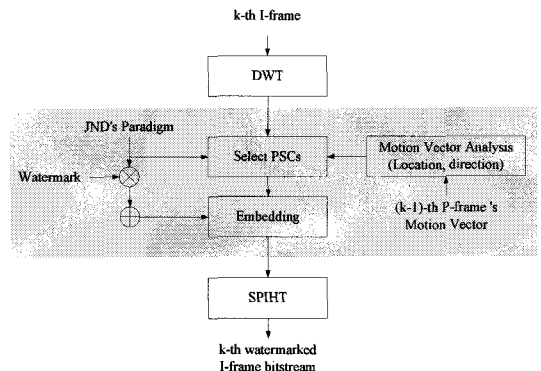


그림 3. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘

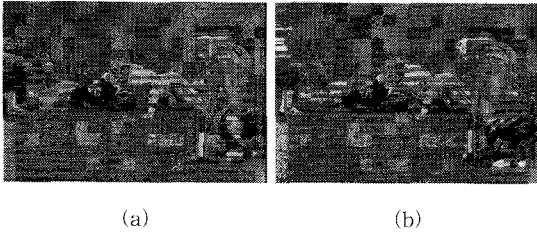


그림 4. 워터마크 삽입 영역 선택 (a) k-1번째 P 프레임 움직임 벡터 (b) k번째 I 프레임에서 선택된 영역

이와 같이 워터마크 삽입 영역을 선택한 후에 이들 영역 상에서 워터마크를 삽입할 계수 즉, 지각적 중요 계수를 찾는다. 먼저 I 프레임을 4레벨 DWT을 수행한 후 워터마크 삽입 영역에서의 부대역들 중에 중간주파 부대역 상에서의 계수를 선택한다. 즉, 화질 열화 및 기하학적 공격을 고려하기 위하여 에너지가 집중된 최저주파 부대역 및 강인성을 고려하기 위하여 점진적 전송에서 가장 마지막에 전송되는 최고주파 부대역을 삽입 대상에서 제외한다. 그리고 나머지 고주파 부대역들 상에서 움직임 벡터의 방향과 같은 방향의 부대역 상에서 정적 JND모델[8]을 사용하여 각 부대역에 대한 표 1에 나타난 문턱값보다 큰 웨이브릿 계수를 워터마크 삽입 대상 계수로 선택한다.

즉, 움직임 벡터가 수평방향으로 움직이면 f_{LH} 부대역 상에, 수직방향으로 움직이면 f_{HL} 부대역 상에, 대각선으로 움직이면 f_{HH} 부대역 상에 워터마크를 삽입한다. Football, Table Tennis, Flower Garden, Mobile 영상들의 I 프레임 상에서 선택된 워터마크 삽입 영역과 선택된 삽입 영역 내에서 움직임 벡터와 같은 방향의 부대역에서 선택된 지각적 중요 계수들은 그림 5에서와 같다.

3.2 워터마크 삽입

제안한 방법에서는 최저주파 및 최고주파 부대역을 제외한 나머지 부대역들 상에서 Watson 등[8]이

표 1. PSCs 선택을 위한 문턱값

Orientation \ Level	2	3	4
IHL	14.845	12.707	14.156
LH	14.845	12.707	14.156
HH	28.408	19.594	17.864

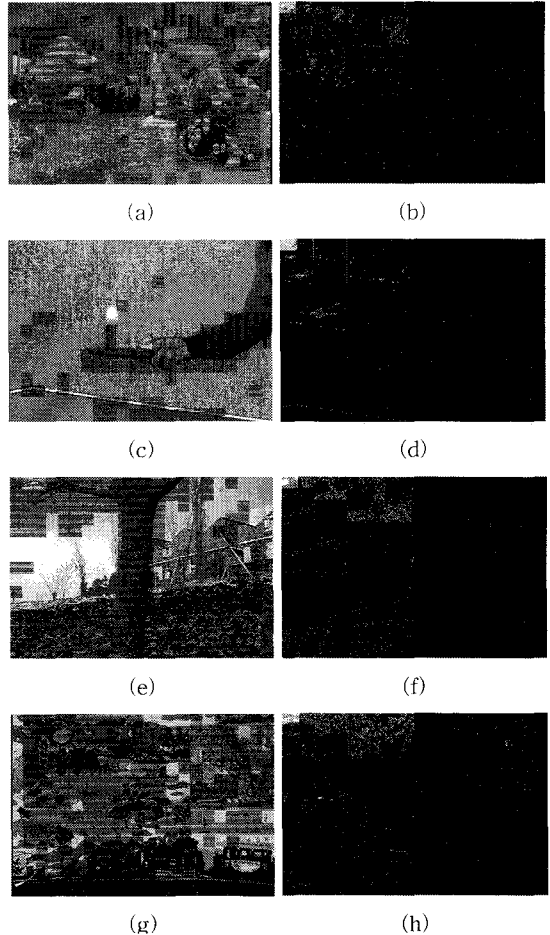


그림 5. (a) Football, (c) Table Tennis, (e) Flower Garden, (g) Mobile 영상의 워터마크 삽입 영역 및 각 영상 (b), (d), (f), (h)의 삽입 영역 상에서 선택된 지각적 중요 계수

영상 압축 방법을 위한 제시한 각 부대역 상에서의 문턱값을 이용한다. 이 문턱값은 레벨과 방향성에 대한 각 부대역내의 지각적 중요 계수를 판단하는데 사용된다. 이 지각적 중요 계수를 이용하여

$$X_{u,v,l,f}^* = \begin{cases} X_{u,v,l,f} + JND_{l,f} \times w_{u,v,l,f}, & X_{u,v,l,f} > JND_{l,f} \\ X_{u,v,l,f} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

와 같이 가우시안 랜덤 분포를 가지는 워터마크 $w_{u,v,l,f}$ 를 삽입한다. 여기서 $X_{u,v,l,f}$ 는 주파수 영역 (u, v) 상의 레벨 $l=1,2,3,4$ 과 방향성 $f=1,2,3$ 을 갖는 (l, f) 부대역 내의 웨이브릿 계수이다. 그리고 $JND_{l,f}$ 는 삽입되는 각 부대역에 해당하는 주파수 민감도로,

Watson 등이 제시한 문턱값이다. 또한, 이 문턱값은 각 부대역에 대한 워터마크 삽입강도로 사용된다. 따라서 제안한 방법은 워터마크의 강도를 각 부대역의 특징에 맞게 삽입하여 화질의 열화를 최소화하면서 강인성을 향상시킨다. 각 부대역 상에서의 삽입 강도는 그림 6에서와 같다. 이상과 같이 웨이브릿 상에서 워터마크를 삽입한 후에 이들 계수들을 SPIHT 기법에 의하여 비트스트림으로 바뀌어진다.

3.3 워터마크 검출

워터마크가 삽입된 계수를 찾기 위하여 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상을 웨이브릿 분해한 후 삽입에서 사용되었던 문턱값으로 삽입 위치를 찾는다. 찾은 계수에 대하여 다음과 같이 워터마크를 추출한다.

$$w_{u,v,l,f}^* = \frac{X_{u,v,l,f} - \hat{X}_{u,v,l,f}^*}{JND_{l,f}} \quad (2)$$

$$\rho_{ww}^* = \frac{w^* \cdot w}{\sqrt{w \cdot w}} \quad (3)$$

$$\rho_{ww}^* = \begin{cases} > T_p : & \text{detected} \\ < T_p : & \text{not detected} \end{cases} \quad (4)$$

여기서, w^* 는 추출된 워터마크로 식 (2)에 의하여 원 영상의 웨이브릿 계수와 검출하고자 하는 영상의 웨이브릿 계수의 차를 $JND_{l,f}$ 로 나눈 값이다. 그리고 추출한 워터마크와 원 워터마크와의 상관도 ρ_{ww}^* 를

LL4	14.1				
56		12.707			
14.1	17.8				
56	64			14.845	
		12.707	19.594		
					HL1
		14.845	28.408		
					HH1

그림 6. 워터마크의 삽입 강도

식 (3)에 의하여 구한 후 Cox 등[4]이 제시한 문턱값 $T_p = 6$ 을 사용하여 검출 정도를 구별한다.

4 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 비디오 워터마킹 방법의 성능 평가를 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 본 실험에 사용된 영상은 352×240 해상도의 Football, Table Tennis, Flower Garden, 및 Mobile 등 비디오 영상을 각 30 프레임씩 사용하였고, GOP (group of pictures) 구조의 프레임 수는 6이다. 여기서, Football 영상에서는 크고 불규칙한 움직임을 가지는 개체들이 많으며, Table Tennis 영상에서는 국부적인 움직임이 있고 배경이 복잡하다. 또한 Flower Garden 영상에서는 왼쪽에서 오른쪽으로 카메라의 패닝 (panning)이 있으며, Mobile 영상에서는 규칙적인 움직임이 있고 에지가 많다. 본 실험에 삽입되는 워터마크는 시드값 250을 가지고, $N(0,1)$ 인 가우시안 랜덤 분포를 가지는 시퀀스이다. 그리고 지각적 중요 계수의 개수와 일대일 대응되도록 워터마크 길이가 선택된다. 각 비디오 영상의 I 프레임에 삽입되는 워터마크 길이는 표 2에서와 같다. 이 표를 살펴보면 각 영상에 삽입되는 워터마크 길이가 영상의 특성에 따라 다르고 영상 내에서 각 프레임마다 움직임 벡터 정보가 다르므로 워터마크의 삽입 영역과 삽입되는 개수가 다를 수 있다. 각 비디오 영상의 I 프레임들 상에서 워터마크가 삽입되는 워터마크 위치는 그림 7에서와 같다. 이 그림을 살펴보면, 각 영상의 프레임들 사이에 움직임이 있는 영역에 워터마크가 삽입되는 것을 볼 수 있다. 특히 움직임이 많은 영상에서는 삽입되는 워터마크의 길이가 크며, 움직임이 작은 영상에서는 워터마크의 길이가 작음을 확인할 수 있다.

표 2. 각 I 프레임에 삽입되는 워터마크 길이

Frame Sequences	7	13	19	25	평균
Football	1084	964	1291	1061	1,100
Table Tennis	296	298	355	914	466
Flower Garden	1495	1253	1301	1256	1,326
Mobile	1061	1514	1365	1125	1,266

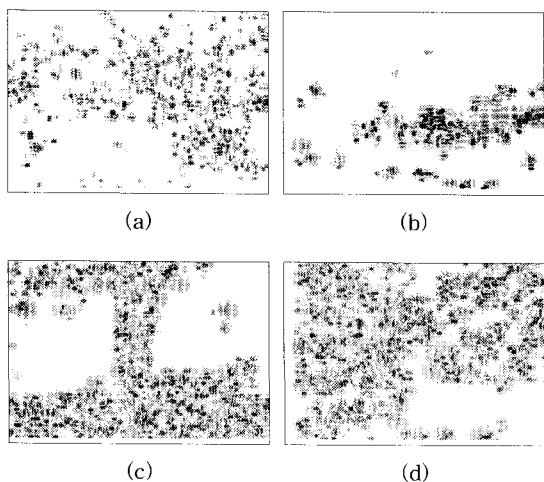


그림 7. (a) Football, (b) Table Tennis, (c) Flower Garden 그리고 (d) Mobile 영상에 워터마크가 삽입되는 위치

4.1 비가시성 평가

비가시성은 워터마크가 삽입된 데이터와 원 데이터와의 구분이 불가능하여야 한다는 것으로, 본 실험에서는 객관적인 화질 척도인 PSNR과 주관적 화질로 비가시성을 평가하였다. Football, Table Tennis, Flower Garden 그리고 Mobile 영상의 두 번째 GOP 상에서 원래의 I 프레임 및 워터마크가 삽입된 I 프레임들은 그림 8에서와 같다. 이 그림들 상에서 워터마크가 삽입된 프레임에서 화질의 열화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

객관적인 화질 척도를 평가하기 위하여 원 프레임의 웨이브릿 계수 및 워터마크가 삽입된 웨이브릿 계수를 SPIHT 부호화한 후 이를 역 부호화된 프레임들 간의 PSNR을 비교하였다.

그림 9는 각 영상에서 원 I 프레임들과 워터마크가 삽입된 I 프레임들을 다양한 비트율에 따라 SPIHT 부호화된 영상들의 평균 PSNR을 나타내고 있다. 이 그림을 살펴보면, 움직임 영역이 많은 Flower Garden, Mobile, Football에서 워터마크 삽입 개수가 크므로 워터마크가 삽입된 I 프레임들의 평균 PSNR이 압축률에 따라 0.52-1.42 dB 정도 낮아짐을 볼 수 있다. 그리고 움직임 영역이 작은 Table Tennis에서는 워터마크 삽입 개수가 작으므로 워터마크가 삽입된 I 프레임들의 평균 PSNR이 0.33-0.87 dB 정도 낮아짐을 볼 수 있다. 다른 한편으로 높은 압축률에

서는 PSNR이 약 1 dB 정도 낮으나, 낮은 압축률에서는 약 0.48 dB 정도 비가시성을 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

4.2 강인성 실험

본 실험에서는 제안한 방법의 강인성 평가를 실험하기 위하여 워터마크 삽입된 비디오 시퀀스를 MPEG으로 다양한 비트율에 따라 재부호화를 수행하였다. 즉, 각 비트율에 따라 SPIHT으로 부호화된 비디오 시퀀스에서 검출된 워터마크의 상관도 및 이를 다시 MPEG으로 재부호화한 후 검출된 워터마크

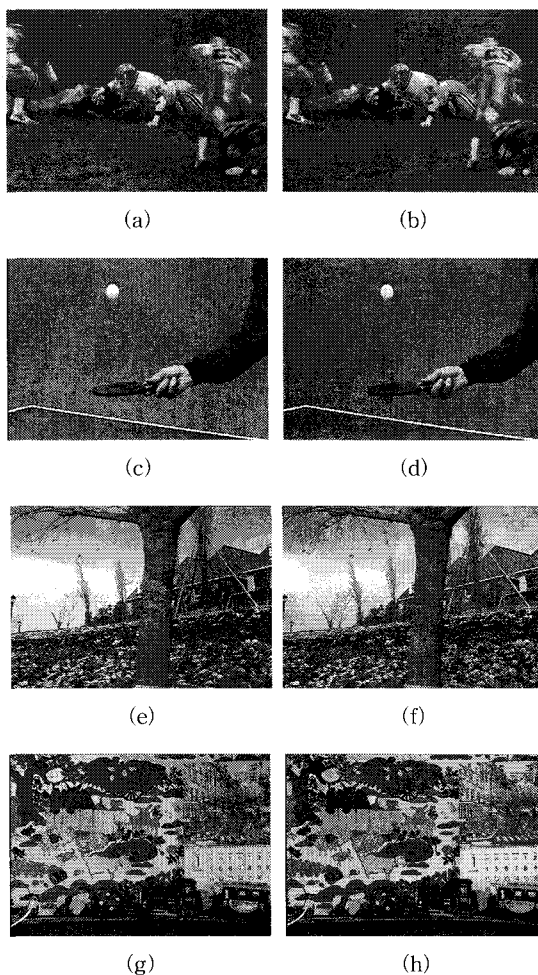
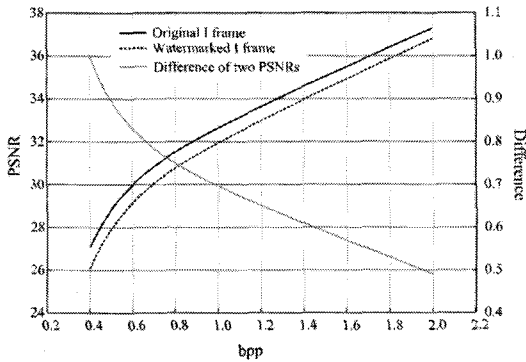
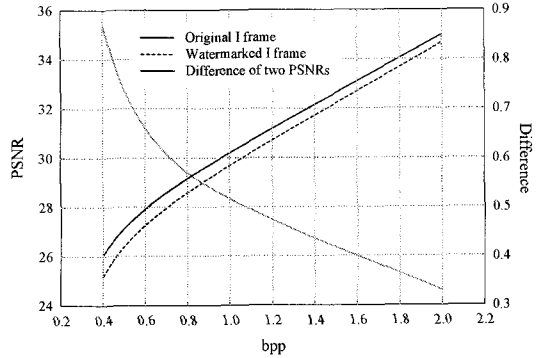


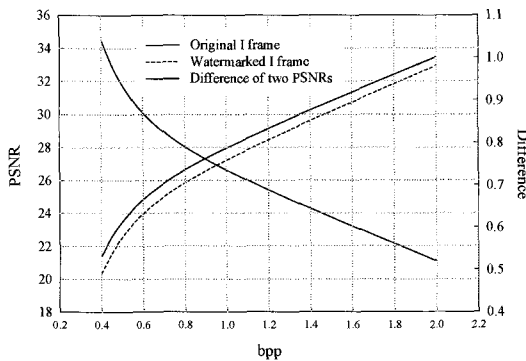
그림 8. (a) Football, (c) Table Tennis, (e) Flower Garden 그리고 (f) Mobile 영상에서 원래 I 프레임 및 각각 (b), (d), (f), (h) 워터마크가 삽입된 I 프레임



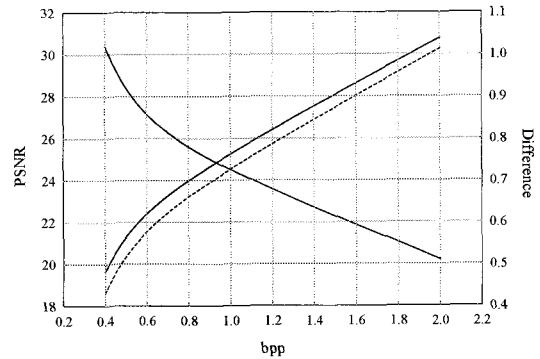
(a)



(b)



(c)



(d)

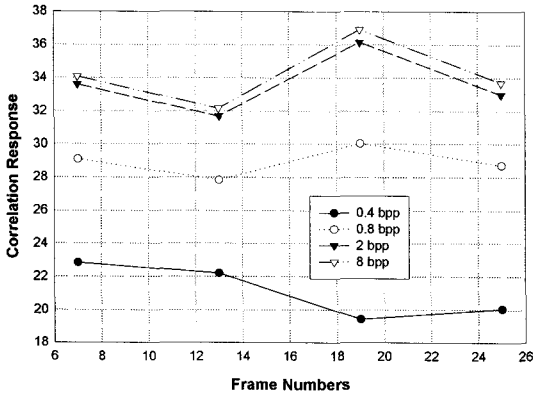
그림 9. (a) Football, (b) Table Tennis, (c) Flower Garden 그리고 (f) Mobile 영상에서 원 I 프레임 및 워터마크 삽입된 I 프레임들의 SPIHT 압축률에 따른 평균 PSNR(dB)

의 상관도를 그림 10-13에 나타내었다. 이 그림들을 살펴보면 SPIHT 압축률에 따라 상관도가 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 I 프레임을 웨이브릿 변환한 후에 SPIHT로 부호화하기 전에 워터마크를 삽입하므로 압축률이 높을수록 상관도가 낮아진다.

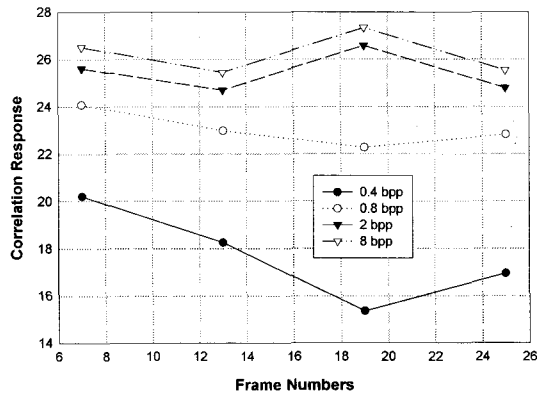
Football 영상은 크고 불규칙한 움직임을 가지는 개체들이 많이 가지므로, 그림 10에서와 같이 압축률에 따라 상관도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 특히 19번째 프레임은 다른 프레임과 달리 0.4 bpp로 압축하였을 때 워터마크가 많이 제거되는 것을 볼 수 있다. Table Tennis 영상은 배경이 복잡하지만 국부적인 움직임이 있으므로, 다른 영상에 비하여 워터마크가 작게 삽입되었다. 그러므로 높은 압축에서도 검출된 워터마크의 상관도가 그림 11에 보듯이 높음을 알 수 있다. 또한 MPEG 재부호화에서도 재부호화전과 거의 유사한 상관도를 확인할 수 있다. 왼쪽에서 오른쪽으로 카메라 패닝 (panning)이 있는

Flower Garden과 규칙적인 움직임과 에지가 많은 Mobile 영상은 그림 12 및 13에서와 같이 압축률에 따라 상관도가 달라짐을 확인할 수 있다. 또한 이 두 영상들은 움직임 영역은 많지만 움직임이 크지 않은 부분이 대부분이므로, MPEG 재부호화에서 움직임이 적은 부분들이 많이 압축된다. 그러므로 SPIHT 부호화율과 MPEG 부호화율에 따라 상관도가 크게 변하는 것을 확인할 수 있다.

본 실험의 결과로부터 제안한 방법이 영상의 움직임 특성에 따라 데이터 손실이 가장 적은 I 프레임에 워터마크를 삽입하므로 워터마크를 적응적으로 삽입할 수 있었고, 다양한 비트율에 따른 SPIHT 부호화 및 MPEG 재부호화에서도 워터마크의 강인성을 확인할 수 있었다. 그러나 움직임이 크지는 않지만, 움직임 영역이 많은 영상에서는 압축되는 부호화율을 고려하여야 할 것이다.

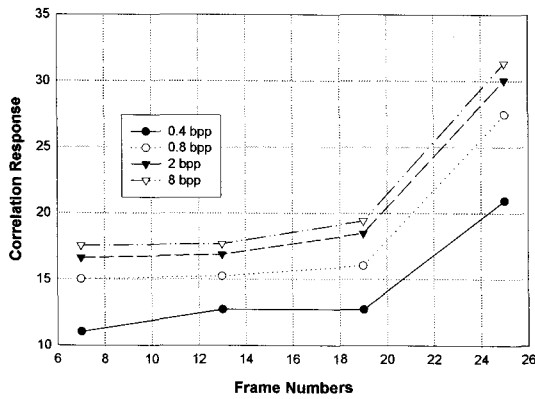


(a)

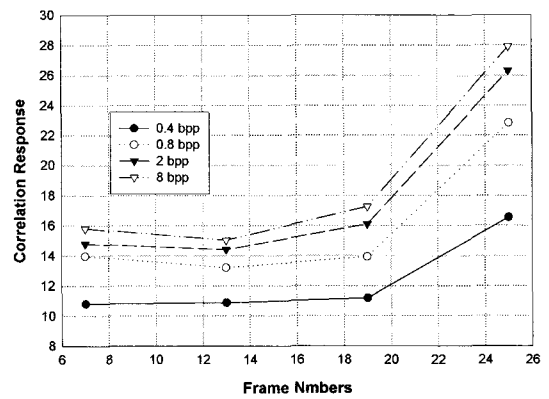


(b)

그림 10. Football 영상에 대한 상관도 (a) 워터마크가 삽입 결과 (b) 2.0 Mbps로 재부호화된 결과

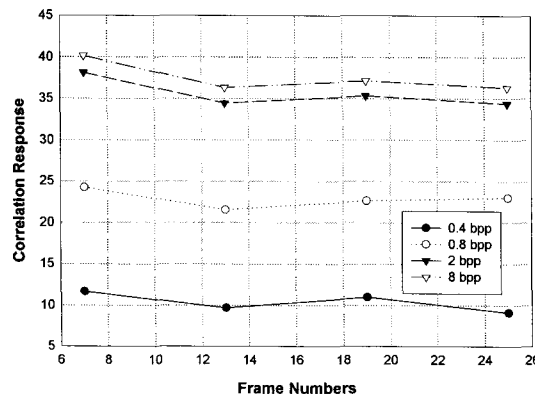


(a)

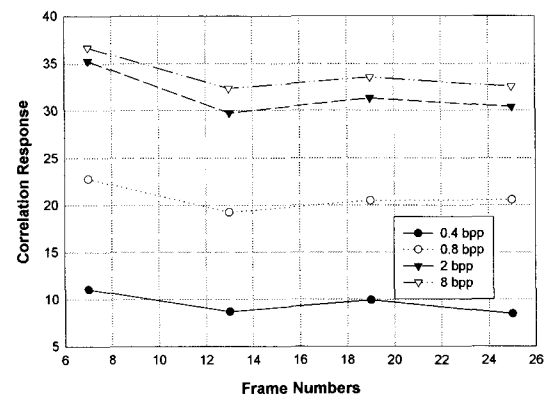


(b)

그림 11. Table Tennis 영상에 대한 상관도 (a) 워터마크가 삽입 결과 (b) 2.0Mbps로 부호화된 결과

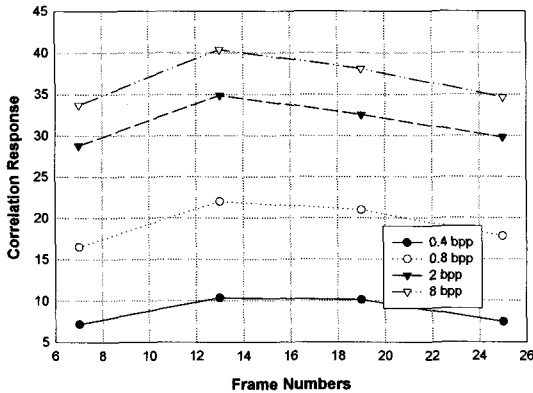


(a)

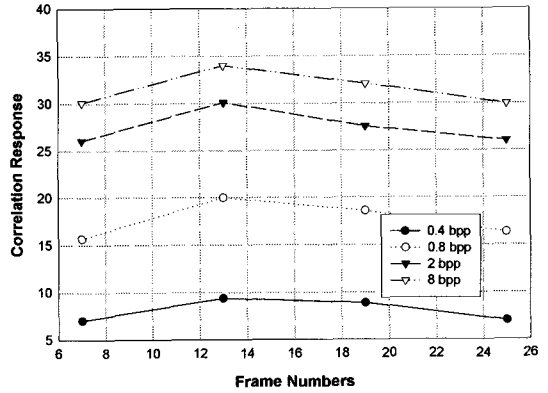


(b)

그림 12. Flower Garden 영상에 대한 상관도 (a) 워터마크가 삽입 결과 (b) 4.0Mbps로 부호화된 결과



(a)



(b)

그림 13. Mobile 영상에 대한 상관도 (a) 워터마크가 삽입 결과 (b) 4.0Mbps로 부호화된 결과

5. 결 론

비디오 워터마킹 방법에서는 비디오 데이터에 워터마크를 삽입하는 방법, 비디오 데이터를 부호화 및 복호화한 후 워터마크를 삽입하는 방법, 비디오 데이터를 부호화한 후 비트스트림에 워터마크를 삽입하는 방법 그리고 MPEG 등과 같은 부호화 과정에서 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 이 방법들은 복잡도가 높으며, 특히 MPEG 부호화 과정에서 삽입하는 방법은 블록 기반의 DCT를 수행하므로 블록화 현상과 같은 화질 열화가 발생하게 된다.

본 논문에서는 DCT 기반의 MPEG 부호화에서 발생하는 블록화 현상을 제거하고 점진적 전송 특성을 갖는 비디오 데이터를 얻기 위하여 웨이브릿 변환 영역 상에서 SPIHT를 이용한 비디오 부호화 과정에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 I 프레임 상에서 이전 P 또는 B 프레임과의 움직임 벡터를 예측하여 워터마크 삽입 영역을 선택한 후에 DWT를 수행한다. 그리고 선택된 영역에서 움직임 벡터의 움직임 방향과 같은 방향으로 워터마크 삽입할 부대역을 결정한다. 이 때 기저대역과 최고주파 부대역을 제외한 나머지 부대역 상에서 HVS 기반의 지각적 중요 계수를 선택한 후에 각 부대역마다 워터마크를 삽입한다. 이 때 지각적 중요 계수에 따라 워터마크의 길이가 결정된다.

제안한 비디오 워터마킹 알고리즘의 비가시성과 강인성을 평가하기 위하여 Football, Table Tennis, Flower Garden 및 Mobile 영상 등에 대한 컴퓨터

모의실험을 행하였다. 실험결과 PSNR 및 주관적 화질 측면에서 비가시성의 우수함을 확인할 수 있었고, 다양한 비트율에 대한 SPIHT 부호화 및 MPEG 재부호화에 대하여 우수한 강인성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Ingermar J. Cox, Matthew L. Miller, and Jeffrey A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, 2001.
- [2] R. G. Van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol.2, pp. 86-90, 1994.
- [3] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," *Proc. of the SPIE Conf. on Storage and Retrieval for Image and Video Databases III*, Vol.2420, pp. 164-173, 1995.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shammon, "Secure spread spectrum for watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.6, pp. 1673-1687, 1997.
- [5] R. Dugard, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol.2, pp. 419-423, 1998.
- [6] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet-based

- image watermarking scheme," *Proc. IEEE, Special Issue on Intelligent Signal Processing*, under review, pp. 43, 1997.
- [7] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.16, No.4, pp. 525-539, May 1997.
- [8] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for wavelet quantization Error," *Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, Vol.2657, pp. 381-392, 1996.
- [9] K. R. Kwon and A. H. Tewfik, "Adaptive watermarking using successive subband quantization and perceptual model based on multi-wavelet transform," *Proc. of SPIE*, Vol.4675-37, Jan. 2002.
- [10] K. R. Kwon, S. G. Kwon, J. H. Nam, and A. H. Tewfik, "Content adaptive watermark embedding in the multiwavelet transform using a stochastic image model," in *IWDW*, pp. 293-304, Nov. 2001.
- [11] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models," *IEEE journal on Selected Areas in Communication*, Vol.16, No.4, May 1998.
- [12] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video," *Signal Processing*, Vol.66, No.3, pp. 283-301, May 1998.
- [13] G. Langelaar and J. Diemond, "Real-time labelling of mpeg-2 compressed video," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.4, pp 256-270, 1998.
- [14] ZHU Zhongjie, JIANG Gangyi, YU Mei, and WU Xunwel, "New algorithm for video watermarking," *ICSP'02 Proceedings*, pp. 760-763, 2002.
- [15] J. Shapiro, "Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients," *IEEE transactions on signal processing*, Vol.41, No.1, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [16] A. Said and W. A. Pearlman, "A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchial tree," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.6, No.3, pp.243-250, June 1996.
- [17] 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.

권 성 근



1996년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1998년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2002년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
 2002년~현재 삼성전자 무선통신 사업부 책임연구원

관심분야 : 디지털콘텐츠제작, 디지털영상처리, 모바일 통신, 멀티미디어정보보호

황 의 창



2003년 부산외국어대학교 디지털정보공학부 졸업 (공학사)
 2005년 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)
 2005년~현재 미디어코러스 연구원

관심분야 : 디지털 워터마킹, 멀티미디어영상처리



이 미 희

- 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1998년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 2002년 창원대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)
- 2002년~현재 창신대학 모바일통신과 조교수

관심분야 : 데이터베이스, 멀티미디어영상처리, 모바일 통신



정 태 일

- 1994년 부경대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1997년 부경대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 2001년 부경대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 2002년~현재 동명대학교 정보통신공학과 전임강사

관심분야 : 워터마킹, 컴퓨터그래픽, 디지털영상신호처리



권 기 룡

- 1986년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업 (공학사)
- 1990년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업 (공학석사)
- 1994년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업 (공학박사)
- 2000년~2001년 Univ. of Minnesota, Post-Doc.

1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보공학부 부교수

2006년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

2005년~현재 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원장
관심분야 : 멀티미디어정보보호, 멀티미디어영상처리