

동영상 워터마킹 알고리즘

안 일 영, 안 용 학

송호대학

요 약

본 논문에서는 동영상 워터마킹에 대한 전반적인 기술과 응용 분야에 대하여 고찰한다. 동영상 워터마킹 기술은 압축영역, 비압축 영역, 실시간 응용 분야 등으로 나누어 질 수 있다. 동영상의 모든 프레임에 워터마크로 정한 시그네처(signature)를 삽입하여 실험한 결과를 보여준다. 워터마크를 주파수 확산 방식으로 원 영상의 모든 프레임에 삽입하여 워터마크의 세기 변화에 따른 화질을 PSNR로 계산하였고 워터마크 검출은 DCT 계수 합의 부호로 삽입된 시그네처를 복원한다. 검출된 시그네처의 시각적 상태에 따른 평균 PSNR값의 변화를 보여준다.

Motion Picture Watermarking Algorithm

Il-Young Ahn, Yong-Hak Ahn

Songho College

ABSTRACT

In this paper, we will provide an overview of the motion picture watermarking techniques. We will see previously proposed algorithms such as compressed domain watermarking, non-compressed domain watermarking and algorithms for realtime applications etc. We will see test results for signature embedding in motion picture. By spread spectrum method, we embed a signature in each frames. The quality of watermarked motion picture is measured by PSNR(peak signal to noise ratio) about several strengths of watermark. In watermark detection the sign of the correlation sum is the estimated embedded signature bits. We will see different mean PSNR with visual shape of the detected signature.

1. 서 론

인터넷과 초고속 통신망의 보급이 확대됨에 따라 이미지, 오디오, 비디오 등과 같은 디지털 미디어의 저작권 보호에 대한 요구가 증대되고 있다. 기존의 암호 시스템은 암호화된 데이터는 해당 키로만 액세스할 수 있으며 일단 암호가 해독된 데이터가 재생산되거나 재전송되는 데이터를 추적할 수 있는 방법이 없다. 따라서 기존의 암호 시스템은 저작권 침해에 대하여 적절히 대응할 수 없으며 디지털 워터마킹 기술로 암호화 방법을 보완할 수 있다.

워터마킹(watermarking) 연구에 있어서 인간 시각적 마스킹 모델을 이용하여 비가시성을 유지하면서 숨겨진 정보에 대한 에너지를 최대화한다. 이러한 데이터 은닉 방법은 신호에 대한 공격 및 압축에 강건하다. 디지털 비디오가 일련의 프레임들로 구성되어 있다고 하더라도 워터마킹에 대한 문제는 디지털 이미지나 프레임 각각에 워터마크를 삽입했을 때에 비하여 추가적인 요구사항들이 필수적이다. 데이터의 양이 엄청나게 많으며 여러 가지 응용에서 실시간으로 동작해야 한다는 제한이 있으므로 워터마크 알고리즘의 복잡도가 증가함으로 인해 정교한 인간 시각적 모델을 사용할 수 없게 된다.

통상적인 워터마킹은 원본 데이터에 약 1%미만의 데이터를 삽입한다. 페이퍼 뷰(pay per view) 응용, 고의적 공격에 자동 정정 가능한 이미지나 비디오 등에서와 같이 특정 비디오의 사용 여부를 추적하기 위한 목적으로 사용될 수 있다. 많은 양의 워터마크를 삽입하는 것은 데이터의 중복성을 이용하여 디지털 워터마킹의 강건성을 증대시킨다. 적은 양의 데이터를 삽입하는 것을 워터마킹, 많은 양의 데이터 삽입은 데이터 은닉이라는 용어를 사용하기도 한다. 초기의 연구는 이미지 워터마킹에 대하여 연구되었고 최근에는 비디오에 오디오와 비디오 정보를 삽입하는 방법이 연구되고 있다.

본 논문에서는 2장에서 동영상 워터마킹에 대한 요구 조건 및 전반적인 기술과 응용 분야에 대하여 고찰한다. 3장에서는 동영상의 모든 프레임에 시그네처(signature)를 삽입하여 실험한 결과를 보여준다. 워터마크를 주파수 확산 방식으로 원 영상에 삽입한다. 워터마크의 세기 변화에 따른 화질을 PSNR로 계산하였고 워터마크 검출은 DCT 계수 합의 부호로 삽입된 시그네처를 복원한다. 검출된 시그네처의 상태에 따른 PSNR값의 변화를 보여준다. 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련된 연구

2.1 워터마크의 요구조건

워터마크는 저작권 등의 부가적인 정보가 포함될 수 있으며 다음과 같은 특성을 가져야 한다.

- 비가시성(invisibility): 워터마크는 시각적으로 보이지 않아야 하며 워터마크의 존재가 전체 이미지의 질에 영향을 미치지 않아야 한다. 원영상에 허용되지 않은 조작에 워터마크가 손상되지 않고 검출 가능해야 한다. 원영상의 고주파 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 이것은 압축시 워터마크가 손상될 수 있으므로 강인성을 만족하지 못 할 수 있다.

비가시성의 제한조건에 따라 취할 수 있는 평균 워터마크의 크기 α 는 워터마킹 알고리즘과 콘텐츠의 특성에 따라 다르다. 이러한 특성은 워터마크 주파수, 인간시각 시스템(HVS:human visual system) 마스킹 방법, 프레임 사이의 워터마크 상관도, 동영상 색상, 움직임, 동영상 신호의 손실 압축정도 등이 있다. HSV가 중간 주파수 또는 고주파 영역보다는 저주파 영역에서 더욱 민감하므로 블록에 바탕을 둔 워터마크나 변화가 없는 워터마크가 화이트 노이즈와 유사한 것 보다 더욱 눈에 띄기 쉽다. 따라서 적은 양의 워터마크가 비가시성을 유지하는데 유리하다.

HSV 모델은 특정 위치에 눈에 띄지 않게 삽입 가능한 워터마크 최대 크기를 정한다. Kalker[23]는 입력 이미지에 고주파 통과 필터인 라플라시안 필터를 적용하고 워터마크에 워터마크 세기를 조절하는 요소를 곱하여 각 픽셀에 삽입하였다. 이 방법은 알고리즘이 매우 간단하다. 변형된 Girod 모델[30]은 전형적인 인간 시각 특성을 이용하였으나 계산이 복잡하다. 워터마크가 프레임 사이에서 변화하는 정도가 워터마크의 가시성에 영향을 줄 수 있다.

- **강인성(robustness)**: 워터마크를 제거하기가 어려워야 한다. 미디어에 여러 가지 변형이 가해질 수 있는데 영상인 경우 컨트라스트, 오디오인 경우는 베이스 변형 등이 있을 수 있다. 또한 여러 가지 공격에 대해서 워터마크를 추출할 수 있어야 한다. 이러한 성질을 만족하기 위해서는 미디어의 질을 저하시킬 수 있다. 예를 들어 영상의 DC 성분에 워터마크를 삽입하면 워터마크의 강인성을 유지할 수 있으나 영상의 질을 저하시킬 수 있다. 워터마크의 정확한 위치를 모르는 상태에서 워터마크를 제거하려는 시도가 미디어의 충실도를 훼손하게 된다. 워터마크는 특히 다음과 같은 공격에 강인해야 한다.

• **신호처리**: DA와 AD 변환, 재샘플링, 디더링과 재압축을 포함한 재양자화, 이미지의 대비(contrast)와 색상 및 오디오 저음부와 고음부의 강화(enhancement)

• **기하학적 변형**: 이미지와 비디오 데이터의 워터마크는 회전(rotation), 변형(translation), 자르기(cropping), 크기변환(scaling)과 같은 기하학적 이미지 변환에 강인해야 한다.

• **공모(collusion), 위조(forgery)와 같은 공격**: 같은 데이터의 복사로 인해 워터마크를 손상하지 않아야 한다. 원본 이미지에 다른 워터마크를 생성하여도 원본 이미지에 있던 워터마크가 손상되지 않아야 한다.

• **보편성(universality)**: 같은 워터마킹 알고리즘이 다른 미디어에 적용할 수 있어야 한다. 이

것은 멀티미디어 제품의 워터마킹에 도움이 되며 공통적인 하드웨어상에서 오디오, 이미지, 비디오 워터마킹 알고리즘 구현에 유용하다.

• **비모호성(unambiguousness)**: 워터마크의 복원시 소유자를 명확히 알아낼 수 있어야 한다.

워터마크가 강인하기 위해서는 콘텐츠의 중요 부분에 워터마크를 삽입해야 하므로 콘텐츠의 화질이 저하될 수 있다. 따라서 비가시성과 강인성에 대한 trade-off가 존재하는데 두 성질을 동시에 만족시키기 위한 알고리즘 개발이 필요하다.

워터마크의 종류는 시각적으로 보이게 하는 워터마킹과 보이지 않게 하는 워터마킹, 공간영역에서의 워터마킹과 주파수 영역에서의 워터마킹, 부서지기 쉬운(fragile) 워터마킹과 강건한(robust) 워터마킹, 워터마크 검출 방법에 따라 원영상이 필요한 방법과 필요없는 방법 등으로 나눌 수 있다. 눈에 보이지 않는 워터마킹은 일반적으로 워터마크의 양을 작게 하고 있으나 인간 시각적 특성을 이용하여 워터마크 시스템의 요구 사항을 만족하고 다양한 공격에 강인한 워터마크를 생성할 수 있다. 공간적 워터마킹은 다양한 공격에 다소 취약하나 방송 모니터링과 같은 실시간 응용에 적당하다. 주파수 영역의 워터마킹은 DFT(discrete fourier transform), DWT(discrete wavelet transform), DCT(discrete cosine transform) 방식이 있다. DWT 방식은 입력 영상을 그림과 같이 n레벨로 분할한다. 즉, 저주파 성분(LL), 고주파 성분(HH), 저주파-고주파 성분(LH), 고주파-저주파 성분(HL)로 분할한다. 고주파 성분을 제외한 다른 부대에 워터마크를 삽입한다. DFT는 이미지를 주파수 변환하여 진폭 성분과 위상 성분으로 나타낸다. 이 위상 성분에 워터마크를 삽입할 수 있다. 또한 부서지기 쉬운 워터마킹은 데이터 진위 여부를 쉽게 확인할 수 있는 인증(authentication)에 사용될 수 있으며 강건한 워터마킹은 저작권 보호나 복제방지 시스템, 실시간 모니터링 등에 응용될 수 있다.

2.2 시각적 마스킹

각 동영상 프레임에 삽입된 워터마크를 눈에 보이지 않게하며 강건하도록 하기 위해 HVS에 기반한 마스킹 모델을 사용한다. 비주얼 마스킹은 다른 신호에 대한 시각적 임계값을 초래하는 위치를 말한다. 마스킹 특성은 비트 레이트를 줄이기 위해 고화질, 낮은 비트 레이트 코딩 알고리즘에서 사용한다.

주파수 마스킹[18]은 마스킹 격자가 마스킹 주파수에 대한 신호 격자의 시각적 임계값을 초래한다는 사실에 바탕을 둔다. DCT에 기반한 모델로서 주파수 f에서 컨트라스트 임계값을 다음과 같이 나타낸다.

$$c(f, f-m) = c_0(f) \cdot \max \{ 1, [k(f/f-m)c-m]^a \}$$

여기서 fm은 마스킹 주파수, cm은 마스킹 컨트라스트, k(f)는 마스킹 가중치, a는 정신 물리학적 실험에 의하여 0.62로 한다. 주파수 f에서 컨트라스트 임계값 c(f)를 계산하기 위해 이미지를 DCT하고 각 주파수에서 컨트라스트를 계산한다. 그 식은 다음과 같다.

$$c(f) = \sqrt{\sum_m c^2(f, f-m)}$$

이 식은 주파수 f에서 컨트라스트 변화가 c(f)보다 작으면 인간의 눈에 그 변화를 감지할 수 없다는 것이다.

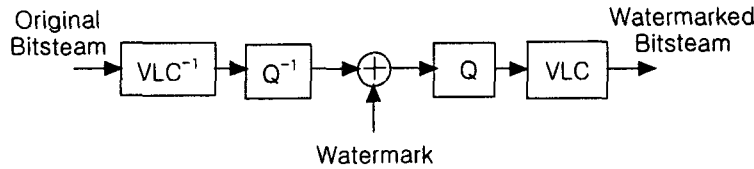
HSV에서 고주파 텍스처 보다 저주파 텍스처에서의 변화에 민감하다. 따라서 고주파 텍스처 영역에 삽입하는 것은 시각적 인지가 쉽지 않다. Swanson[29]에서 주파수 마스킹 모델을 사용하였다. 이것은 마스킹 주파수 fm과 국부적 컨트라스트 cm이 주어지면 주파수 f에서 임계값 검출을 예측하는 것이다. 8×8 호스트 DC 블록에 삽입하는 데이터 양을 텍스처 마스킹을 이용하여

정한다. 스케일 인자 γ를 사용하여 삽입하는 시그네처 양을 정한다. 스케일 인자가 8×8 블록에서 행해지므로 워터마킹된 이미지는 강건하고 압축에 탄력적이다. 또한 디코딩시 스케일 파라미터를 워터마킹된 이미지에서 직접 계산이 가능하다. 워터마킹 추출시 원본 데이터가 필요없다.

2.3 압축 동영상에 워터마크를 삽입하는 방법

이 방법은 압축된 비트 스트림에 직접 워터마크를 삽입하는 방법이다. Hartung과 Girod는[13] 주어진 동영상 프레임과 같은 크기의 의사잡음 시퀀스(pseudo random sequence) -1, 1을 워터마크로 사용한다. 워터마크의 DCT를 계산하고 압축된 스트림내의 VLC 코드에 워터마크 계수를 더한다. 워터마크를 더한 후 VLC 코드의 길이가 더하기 전 길이보다 길지 않아야 된다. 이것은 압축 스트림의 비트 레이트를 증가시키지 않는다. Langelar[25]는 I 프레임에만 워터마킹하였다. DCT계수의 고주파 성분사이의 에너지 차에 따라 8×8 블록에 워터마킹한다. 삽입된 비트는 에너지 차의 부호에 따른다. 에너지 차는 DCT 계수를 지그재그 스캔하여 컷오프 점 이전과 이후 값으로 한다. 워터마크 검출은 선택 영역의 에너지 차의 부호 값으로 계산한다.

워터마크를 비트 스트림 도메인에 직접 삽입하는 목적은 계산량을 줄이자는 것이다. 주파수 확산 방식을 사용하며 원본이 없이 워터마크를 추출할 수 있다. Arena[17]는 비트 스트림의 DCT 계수를 계산하기 위해 부분적으로 디코드하여 워터마크를 삽입한 후 다시 부호화하였다. I 프레임에만 워터마크를 삽입하고 P 프레임과 B 프레임에는 삽입하지 않으므로 드리프트 오류가 줄어들었다. P, B 프레임 삭제와 같은 공격에서 I 프레임에만 워터마크가 나타나므로 동기가 손상되지 않는다. MPEG2의 구조에 쉽게 대처하기 위해 각 매크로 블록에 워터마크를 확산시킨다. 워터마크의 가시성에 영향을 주지 않고 워터마크



(그림 1) 압축영역에서의 워터마킹

에너지를 증가시키기 위해 마스킹 효과와 각기 다른 그레이 레벨 민감도를 활용한다. 다른 주파수 민감도에 따라 MPEG 양자화 계수 및 국부적인 주파수 마스킹 효과를 고려한 이미지의 DCT 계수의 절대값에 비례한 값을 각 DCT 계수에 더한다. Swanson[29]은 DCT 도메인에서 8×8 호스트 블록 DCT 계수의 프로젝션 방법으로 워터마크를 삽입하였다. 8×8 블록당 2비트를 삽입한다. 가우시안 잡음이나 이동 JPEG 압축에 강건함을 보였다.

MPEG4와 MPEG1, 2와의 차이는 내용에 바탕을 둔 코딩이다. 입력 시퀀스인 각 프레임은 shaped region(VOP)으로 분리, VO(video object)에 속하는 VOP(video object plane)의 모양, 움직임, 텍스처 정보가 별개의 VOL(video object layer)로 코딩한다. GOV의 첫 번째 VOP는 매크로블록(macro block)으로 분리하여 인터 프레임 코딩(I-VOP 모드)한다. 각 매크로블록은 Y, Cr, Cb의 8×8 블록을 가진다. 각각 DCT를 계산하여 DCT 블록을 만든다. GOV내의 후속의 VOP는 인터 프레임 VOP 예측(P-VOP 또는 B-VOP)으로 코딩한다.

Barni[6]는 MPEG4 비트 스트림의 비디오 객체에 워터마킹하는 방법을 제안하였다. 랜덤하게 선택된 매크로블록의 휘도성분에 미리 정해진 양자화된 DCT 중간 주파수 계수를 이용하였다. 양자화된 계수는 MPEG4 스트림에서 알아낼 수 있으며 이 계수를 변경하여 워터마크를 삽입한 후 다시 코딩한다. 이 알고리즘의 단점은 부호화가

MPEG4 비트 스트림에 직접 삽입되므로 비디오 파일이 MPEG2와 같은 다른 압축 표준에 의해 다시 압축될 경우 저작권 정보가 손실된다는 것이다. 이러한 포맷 변환에 강건하기 위해서는 프레임마다 압축전에 워터마크를 삽입해야 한다. 만일 화면의 비디오 오브젝트가 매우 작다면 MPEG4 압축에 강건한 워터마크를 삽입하는 것이 매우 어렵다.

2.4 비압축 동영상에 워터마크를 삽입하는 방법

Hartung과 Girod[13]는 주파수 확산 방식에 의한 워터마킹 방법을 제안하였다. 2진 시퀀스로 표현된 워터마크를 큰 값의 확산 상수로 확산시켰다. 확산된 비트는 PN 시퀀스와 곱해져 1차원적으로 한 픽셀씩 읽어들이는 원 영상에 더해진다. 워터마크 검출은 상관관계를 이용하여 검출하였다. 이 방법은 프레임 삭제나 교환같은 공격에 취약하다. 또한 프레임을 1차원적으로 처리하지 않고 2D 평면에서 모델링한 방법도 있을 수 있다. Hsu와 Wu[22]는 비디오를 블록별로 DCT하여 워터마킹하였다. MPEG에 강인하게 하기 위하여 인트라(intra) 코딩 프레임에서 공간적으로 이웃하는 블록(같은 프레임내에 위치)과 인터(inter) 코딩된 프레임에서 시간적으로 이웃하는 블록(예측 프레임과 참조 프레임의 블록)에 속하는 중간 주파수 DCT 계수 사이 특별한 관계를 부여하여 삽입하였다. IDCT를 계산하여 워터마크가 삽입된 비디오를 얻는다. 미리 MPEG 압축에 이용된

GOP구조를 알고 있다고 가정하였다. 워터마크 검출은 원래의 영상이 필요한 방법이다.

Swanson[18]은 비디오 프레임을 scene으로 나누고 3D 웨이블릿 변환을 하고 공간적, 시간적 마스킹에 인간 시각적 모델을 적용한다. 이것은 가시성과 강인성의 조건을 만족한다. 동영상은 여러개의 프레임으로 이루어져 있으므로 하나의 프레임은 2D, 각 프레임은 나타내는 시간축 성분으로 이루어져 있다고 생각한다. 워터마크는 3D 웨이블릿 변환의 시간축 성분에 더한다. 고주파 성분에 더한 워터마크가 국부적으로 되며 시간적으로 빠르게 변하지만 저주파 성분에 더한 워터마크는 전 프레임에 확산되며 시간적으로 느리게 변한다. 웨이블릿 역변환하여 워터마크된 프레임을 생성한다. 프레임 삭제나 평균화와 같은 공격에 강하고 1개의 프레임에서 워터마크 복구가 가능하다. 그러나 많은 계산양과 검출시 원영상이 필요하다는 단점이 있다.

Kalker[23]은 비디오를 일련의 정지 영상으로 간주하고 모든 프레임에 같은 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 패턴은 평균이 0이고 분산이 1이다. 워터마크 검출은 공간영역에서 상관관계를 계산하였다. Deguillaume[24]는 비디오를 연속되는 고정 길이의 프레임으로 나눈다. 각 영역에 더해지는 정보는 워터마크와 템플릿이 있다. 각 영역에 대하여 2D 이미지와 1D 시간축으로 한 3D DFT를 행한다. 워터마크는 시그네처를 주파수 스펙트럼 방식으로 확산시켜 3D DFT의 크기에 더한다. 나누어진 영역에 같은 워터마크가 삽입된다. 템플릿은 3D DFT 크기에 삽입되는 3D 그리드이며 비디오에 가해진 기하학적 변환을 복구한다. 워터마크 검출에는 원 영상이 필요치 않는다.

Darnstaedter[27]은 이미지를 영역분류, 부영역으로 나눈 후 워터마크를 삽입하였다. 영역분류는 픽셀과 픽셀사이의 경계가 뚜렷한 그룹, 점차적으로 변화하는 그룹, 랜덤 잡음과 같이 분포하는 밝기를 가진 그룹으로 이미지를 분류한다.

부영역 구분은 각 영역에 2개의 범주가 만들어지며 부영역은 삽입전에 미리 정의된 그리드에 따른다.

Mukherjee[21]은 비디오에서 오디오를 삽입하는 기술을 발표하였다. 다중 해상도 레티스(lattice) 구조를 사용하여 음성 신호를 삽입하였고 데이터율은 약 1%이다. 다중 해상도를 사용한 데이터 은닉 기술을 제안하였으며 워터마크가 삽입된 비디오에 대하여 MPEG에 강건하다. 시그네처 이미지와 비디오 프레임을 8×8블록 DCT를 사용하여 변환한다. 시그네처 계수를 양자화하고 다중 해상도 레티스를 이용하여 코딩한 후 원 영상의 DCT 계수에 삽입한다. MPEG으로 압축하고 시그네처 데이터를 압축된 비디오에서 추출한다. 텍스처 마스킹을 사용하여 호스트 데이터의 국부적인 텍스처의 형태에 따라 시그네처 신호의 세기를 다르게 한다.

2.5 압축시에 워터마크를 삽입하는 방법

이 방법 압축된 스트림의 GOP 구조에 워터마크를 삽입한다. 대부분의 부호화기가 표준 GOP구조를 사용하므로 다른 GOP 구조를 사용하여 압축하는 경우 워터마크가 손상될 수 있다. 또한 부호화기의 레이트 제어 알고리즘과 충돌될 수 있다. 삽입된 워터마크가 이미지에서는 보이지 않으나 같은 크기의 워터마크가 동영상의 모든 프레임에 삽입되었을 때는 동영상 재생시 화소값이 급변하는 시각적 현상이 나타날 수 있다. 과거 프레임과 미래 프레임으로부터 예측하여 압축하는 B프레임에서는 워터마크가 손상될 수 있다. 따라서 많은 양의 워터마크를 삽입해야 한다. 거대한 데이터 양으로 인하여 고의적 공격에 노출되기 쉽다.

Dugad[16]는 I, B, P 프레임 전체에 워터마크를 삽입한다. I 프레임의 DCT 계수에 워터마크를 더하며 B 프레임과 P 프레임은 움직임 보상후 그 차이 값의 DCT에 워터마크를 삽입한다. B 프레임은 압축시 더해진 워터마크가 대부분 손상될 수

있고 참조 프레임으로 사용하지 않으므로 더해진 워터마크가 다음 프레임에 전해지지 않는다. P 프레임에서는 B 프레임 보다는 손상이 적으며 압축을 위한 참조 프레임으로 사용되므로 B 프레임에 삽입되는 워터마크 보다 적게 삽입한다. 변화가 많은 곳에 워터마크를 삽입하기 위해 일정값이상의 DCT 계수만 선택하여 워터마킹한다. 워터마크 검출 방법은 워터마크 삽입시에 사용하였던 임계값 보다 큰 DCT 계수만을 선택한다. 프레임과 워터마크 사이의 상관계수를 계산하여 워터마크 삽입 여부를 알아 낼 수 있다. 이 연구는 압축 강건한 워터마크를 생성할 수 있다. 임계값이상의 DCT 계수에 워터마크를 삽입하였기 때문에 이미지 형태의 시그네처를 가진 워터마크를 추출할 때 오류가 생길 수 있다.

2.6 워터마크 삽입 및 검출

워터마크 삽입은 다음과 같은 식을 사용한다.

$$v-i' = v-i+ax-i$$

$$v-i' = v-i(1+ax-i)$$

$$v-i' = v-i(e^{\alpha-i})$$

여기서 vi' 는 워터마킹된 이미지, vi 는 원본 이미지, xi 는 워터마크, α 는 스케일 파라미터이다. 첫 번째식은 워터마크의 크기가 다른 두 식에 비하여 작다. 워터마크는 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포를 갖는 것, 랜덤 시퀀스에 워터마크를 더한 형태 등이 있다. 워터마킹 알고리즘의 성능 평가 기준은 강건성과 비가시성으로 평가한다. 강건성은 BER(bit error rate), 비가시성은 PSNR로 평가할 수 있다.

$$PSNR = 10 \log -10 255^2 / MSE \quad [dB]$$

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M (CW-ij - C-ij)^2$$

여기서 N은 이미지의 세로크기, M은 이미지의 가로크기, $CWij$ 은 워터마킹된 (i, j)번째 픽셀, Cij 은 원본 이미지의 (i, j)번째 픽셀이다. 워터마크 검출은 주로 2진 가설검증, 상관검출, 유사도 비교 등을 많이 사용한다. 일반적으로 워터마크는 원본 이미지의 약 1%정도의 데이터를 가진다. Servetto[8]는 워터마크 삽입, 검출시에 다음과 같은 식을 적용하여 삽입가능한 워터마크의 최대 크기 C를 계산하였다.

$$C = \frac{nN}{2} \log -2 (1 + \frac{1}{\sigma^2})$$

n 은 8×8 블록내에서 사용한 계수 수, N은 전체 이미지에서 8×8 블록 수, σ 은 신호대 잡음비이다.

2.7 실시간 응용을 위한 워터마크

현재의 비디오는 PAL 이나 NTSC방식 등의 아날로그 도메인에서 처리되고 있으나 점차 디지털 도메인으로 점차 이전되고 있다. 디지털 MPEG 비디오에 대한 워터마크 검출이 필수적이다.

디지털 비디오의 사용자 확인 등의 실시간 응용에서 워터마킹 처리 수순은 비디오 시퀀스에 소유권자의 키로 워터마킹한 후 압축 파일을 생성한다. 암호화된 형식으로 네트워크를 통해 전송되며 셋탑 박스에서 최종 사용자를 식별한다. 비디오 인덱싱에서 사용하는 화면 정보를 기술하는데 워터마킹 기술을 이용할 수 있다. 콘텐츠 소유자가 워터마크를 전송전에 삽입하고 모니터링 시에 워터마크를 추출하고 사용료를 징수할 수도 있다. 이 시스템은 일반적이고 고의적인 공격에 워터마크가 제거되지 않으며 눈에 띄지 않아야 한다. 모니터링측에서 워터마크를 인식하고 동영상을 정확히 구별해 내고 시간, 위치, 브로드캐스트 채널을 식별할 수 있다. 워터마크 추출과정에서 압축, A/D 또는 D/A 변환, 동영상 편집, 압축

형식 변환, 중첩비 수정 등의 통상의 신호처리한 원본의 워터마크 콘텐츠가 워터마크를 오인식할 확률은 매우 작다.

또한 워터마크를 어떻게 검출해야 하는가가 중요한 문제이다. 가장 간단한 방법은 상관관계를 계산하여 검출한다. 워터마크 삽입과 검출을 푸리에 변환, DCT, 웨이블렛 변환 등 주파수 도메인에서 처리할 수 있다. 주파수 영역에서 처리하는 것이 신뢰성이 있으나 계산시간이 걸리는 관계로 실시간 검출에 문제가 있다. 이러한 문제를 블록에 기반을 두는 주파수 변환을 수행하여 해결할 수 있다. 간단한 공간적 상관관계를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$d = \frac{1}{N} \sum_i y - iw - i$$

여기서 d는 워터마크 검출값, N은 상관계산에 필요한 픽셀 수이다. d값이 크면 워터마크가 존재하며 작으면 워터마크가 없는 것이다. 이 방법은 작은 양의 워터마크를 삽입할 수 있다. 칼라 영역에서 검출을 행하지 않으므로 그레이 영상으로 변환에 강인하다. 복잡성으로 인하여 공간영역의 워터마크를 이용하여 비디오의 각 프레임에 삽입한다. 이것은 비디오를 여러개의 정지 영상으로 다루는 것이다. 워터마크 검출은 간결하게 다음과 같이 나타낼 수 있다.[23]

$$d = \frac{1}{NT} \sum_i (\sum_t y - t, i) w - i$$

i와 t는 화소의 공간적, 시간적 위치이며, N, T는 한 개의 프레임의 픽셀수와 프레임 수를 나타낸다. 괄호안의 계산에 따라 곱셈의 수를 줄여 워터마크 시스템의 속도를 향상시킬 수 있다.

Langelaar[19]은 MPEG 동영상에 대한 실시간 레이블링 알고리즘을 제안하였다. 길이 L인 레이

블 비트 스트림을 I 프레임에만 삽입한다. n×n개의 8×8 블록의 부영역에 1비트씩 삽입한다. 부영역의 위쪽 반과 아래쪽 반사이의 고주파 DCT 계수의 에너지 차이를 이용하여 레이블 비트를 삽입한다. 에너지차가 0보다 크면 레이블 비트 0, 작으면 1로 정한다. 이 방법은 낮은 레이블 비트 레이트를 가지며 계산이 복잡하다. 또한 디지털 동영상 레코딩 장치의 실시간 복사 방지 시스템에 이용할 수 있다.

3. 실험 및 고찰

본 연구에서는 주파수 확산 방식을 이용하여 동영상의 모든 프레임에 워터마크한다. 삽입할 워터마크 비트가 다음과 같다.

$$a - j, a - j \in \{-1, 1\}$$

aj를 chiprate에 의해 다음과 같이 확산 시퀀스를 구한다.

$$b - i = a - j, jcr \leq i \leq (j+1)cr$$

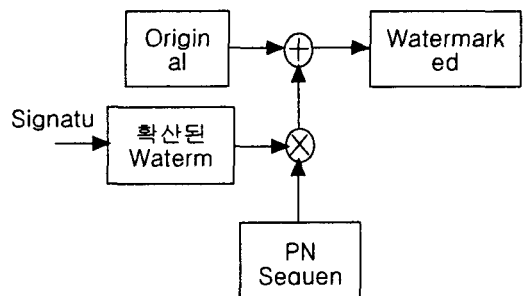
이것을 다음과 같은 슈도 시퀀스로 변조한다.

$$p - i, p - i \in \{-1, 1\}$$

확산된 워터마크 신호 wi는

$$w - i = ab - ia - i$$

이다.



(그림 2) 워터마크 삽입

워터마크가 삽입된 비디오 신호 v_i 는

$$DCT(v' - i) = DCT(v - i) + \alpha b - ip - i$$

이 된다.

워터마크 추출은 다음 식에 따라 계산된다.

$$\begin{aligned} s - j &\cong \sum_{i=j_{CR}}^{(j+1)_{CR}-1} p - i DCT(v' - i) \\ &= \sum_{i=j_{CR}}^{(j+1)_{CR}-1} p - i DCT(v - i) \\ &\quad + \sum_{i=j_{CR}}^{(j+1)_{CR}-1} \alpha p - ip - ib - i \end{aligned}$$

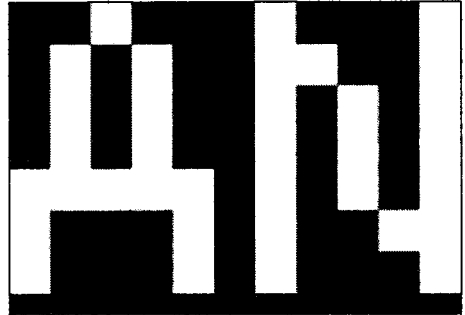
여기서 첫 번째 항은 p_i 와 v_i 가 상관관계가 없으므로 0이 된다고 가정한다. 두 번째 항에서 b_i 에 따라 s_j 의 부호가 결정되어 다음과 같이 원래의 저작권 정보를 추출할 수 있다.

$$sign(s - j) \cong a - j$$

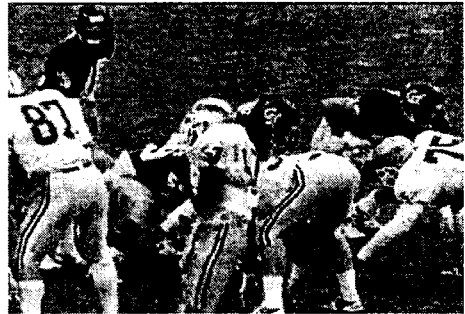
본 연구에서는 해상도 352×240 , 프레임 수 210개의 Football 동영상을 사용하였다. I 프레임의 DCT 계수에 chiprate $cr = 32 \times 32$ 로 확산된 워터마크를 더한다. 저작권 정보로 사용할 워터마크는 다음과 같다.

0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

확산된 2진 워터마크 정보는 그림과 같다.



(그림 3) 확산된 저작권 정보



(그림 4) 원 영상의 0번 프레임

그림4는 원영상의 0번 프레임, 그림5는 0번 프레임에 워터마크를 삽입한 상태를 보여주고 있다.



(그림 5) 워터마크가 삽입된 영상의 0번 프레임

한 개의 프레임에서 변화가 많은 곳에 워터마

크를 삽입하기 위해 일정값 이상의 DCT 계수만 선택하여 워터마킹한다. 여기서는 계수가 15이상 이 값을 사용하였다. 워터마킹한 주파수를 기억 하고 있으며 이것을 워터마크 검출시에 활용한다. 프레임과 워터마크 사이의 상관계수를 계산 하여 워터마크 정보를 추출한다.

표1에 워터마크의 세기 변화에 따른 평균 PSNR, 저작권 정보의 검출율을 보여준다.

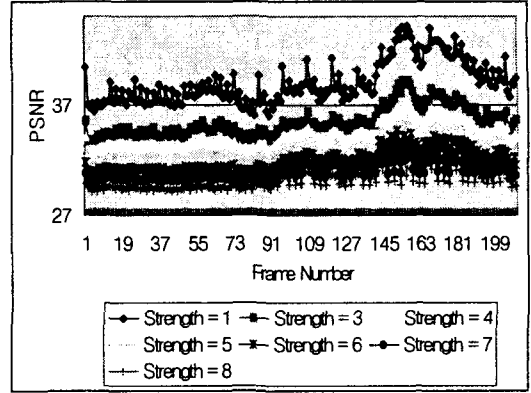
<표 1> 워터마크의 세기를 변화에 따른 평균 PSNR과 정보 검출율 변화

α	1	3	4	5	6	7	8
평균PSNR (dB)	39.3	35.5	34.2	33.0	32.0	31.1	30.3
정보 검출율(%)	3.0	40.0	72.0	95.0	98.0	99.0	100

모든 프레임에 같은 워터마크 세기를 적용하였을 때 예를 들어 $\alpha=5$ 일 경우, 평균 PSNR은 32.0dB였고 1, 5, 7, 80, 107, 109, 115번 등의 프레임에서 시각적으로 알아보기 힘든 정보가 검출되었다. 즉, 일부 B프레임에 삽입한 정보가 검출되지 못한 결과를 보여준다. 추출된 저작권 정보는 대체로 그림과 같이 출력된 정도이면 인식할 수 있다고 가정하였다.

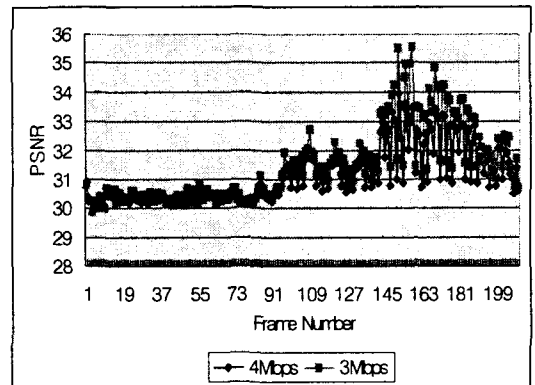


(그림 6) 검출된 저작권 정보 예



(그림 7) 워터마크 세기에 따른 각 프레임의 PSNR 변화

그림7에서는 워터마크의 세기를 증가시키면 PSNR은 감소한다. 움직임이 빠른 프레임에서 상대적으로 PSNR가 높게 나타났다. 그림8에서는 워터마크의 세기를 7로 하고 비트 레이트를 3Mbps, 4Mbps로 하였을 때의 PSNR의 비교이다. 이 때 비트 레이트를 낮추면 정보 검출율도 낮아진다.



(그림 8) 비트레이트를 변화에 따른 각 프레임의 PSNR 변화

4. 결 론

동영상에 대한 워터마킹 기술은 저작권 보호, 디지털 콘텐츠 복제 방지, 비디오의 실시간 모니터링 등에 활용될 수 있다. 동영상에 대한 워터마킹은 이미지의 워터마킹과 달리 프레임 레이트 변경, 압축 형식 변경과 프레임 삭제 등과 같은 공격에 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 동영상 워터마킹에 대한 전반적인 기술과 응용 분야에 대하여 고찰하였다. 압축영역에서의 워터마킹은 다른 방법에 비하여 알고리즘의 계산시간을 단축할 수 있으나 워터마킹 후 VLC 코드 길이가 변화가 없어야 한다. 비압축 영역에서의 워터마킹은 계산시간이 길고 압축이나 프레임 삭제와 같은 공격에 강인한 알고리즘 개발이 필요하다. 압축시에 워터마킹하는 것은 B프레임과 P프레임에 삽입한 워터마크가 손상될 수 있으나 신속히 워터마크가 삽입된 압축 동영상을 만들 수 있다.

워터마크 세기를 증가시키면 PSNR은 감소하였다. 시그네처의 검출비율을 증가시키려면 워터마크의 세기를 크게 해야한다. 따라서 PSNR도 감소한다. 본 논문에서 영상의 비가시성을 만족하면서 최적의 워터마크의 세기를 결정할 수 있다.

향후 여러 가지 공격에 대하여 강인한 워터마킹 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] J. Dittmann, T. Fiebig, R. Steinmetz, "A New Approach for Transmission Invariant Image and Video Watermarking in the Spatial Domain: SSP-self spanning patterns", proceedings of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [2] C. P. Rosiene, J. A. Rosiene, "Hiding Video in Plain Sight", proceedings of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [3] M. Ejima, A. Miyazaki, "A Wavelet-based Watermarking for Digital Images and Video", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [4] W. Macy, M. Holliman, "Quality Evaluation of Watermarked Video", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [5] W. Macy, M. Holliman, M. M. Yeung, "Robust Frame-dependent Video Watermarking", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [6] A. Piva, R. Caldelli, A. Rosa, "A DWT-based Object Watermarking System for MPEG4 Video Streams", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [7] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, N. Checcacci, "Object Watermarking for MPEG4 Video Streams Copyright Protection", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [8] S. Servetto, C. Podilchuk, K. Ramchandran, "Capacity Issues in Digital Image Watermarking", proc. of IEEE ICIP, 1998
- [9] D. Kundur, "Every Allocation for High Capacity Watermarking in the Presence of Compression", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [10] C. Y. Lin, S. F. Chang, "Zero-error Information Hiding Capacity of Digital Image", proc. of IEEE ICIP, 2001
- [11] T. H. Lan, M. F. Mansour, A. H.

- Tewfik, "Robust High Capacity Data Embedding", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [12] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimodo, A. Lu, "Techniques for Data Hiding", IBM System Journal, Vol.35, 1996
- [13] F. Hartung, B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing 66, 1998
- [14] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2001
- [15] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Trans. on Image Processing Vol6 No12, Dec 1997
- [16] R. Dugad, N. Ahuja, "A Scheme for Joint Watermarking and Compression of Video", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [17] S. Arena, M. Caramma, R. Lancini, "Digital Watermarking Applied to MPEG2 Coded Video Sequences Exploiting Space and Frequency Masking", proc. of IEEE ICIP, 2000
- [18] M. D. Swanson, B. Zhu and A. H. Tewfik, "Multiresolution Scene-Based Video Watermarking Using Perceptual Models", IEEE Journal of Selected Areas in Communications 16, May 1998
- [19] G. C. Langelaar, R. L. Lagendijk and J. Biemond, "Realtime Labeling of MPEG2 Compressed Video", Journal of Visual Communication and Image Representation 1998
- [20] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini and N. Checcacci, "Object Watermarking for MPEG4 Video Streams Copyright Protection", proceedings of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [21] D. Mukherjee, J. J. Chae and S. K. Mitra, "A Source and Channel Coding Approach to Data Hiding with Application to Hiding Speech in Video", proc. of IEEE ICIP, 1998
- [22] C. Hsu and J. Wu, "Digital Watermarking for Video", proc. IEEE International Conference on Digital Signal Processing voll. 1997
- [23] T. Kalker, G. Depovere, J. Haitisma and M. Maes, "A video watermarking system for broadcast monitoring", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents, Vol.3657, 1999
- [24] F. Deguillaume, G. Csurca, J. O'Ruanaidh and T. Pun, "Robust 3D DFT Video Watermarking", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents, Vol.3971, 1999
- [25] G. C. Langelaar, R. L. Lagendijk and J. Biemond, "Watermarking by DCT Coefficient Removal: A Statistical Approach to Optimal Parameter Setting", proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents, Vol.3971, 1999
- [26] W. Macy and M. Holliman, "Quality Evaluation of Watermarked Video", proceedings of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, Vol.3971, 2000
- [27] V. Darmstaedter, J. F. Delaigle, D. Nicholson, B. Macq, "A Block-based Watermarking Technique for MPEG2 Signals: Optimization and Validation on Real Digital TV Distribution Links", proc. of ECMAST, 1998

- [28] J. J. Chae and B. S. Manjunath, "Data Hiding in Video ", proc. of IEEE ICIP, 1999
- [29] M. D. Swanson, B. Zhu and A. H. Tewfik, "Data Hiding for Video-in-Video", proc. of IEEE ICIP, 1997
- [30] B. Zhu and A. H. Tewfik, "Low Bit Rate Near Transparent Image Coding", proceedings of the SPIE International Conference on Wavelet Applications for Dual Use, Vol.2491, 1995
- [31] 류대현, "동영상 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술", 멀티미디어 학회 논문지 2권 4호, 1999. 12

안 응 학



1995년 순천향대학교 전산학과 졸업(공학사)
 1997년 경희대학교 전자계산공학과 졸업(공학석사)
 2003년 경희대학교 전자계산공학과 (박사수료예정)
 1999년~2000년 한국통신

정보기술 GIS 연구소 연구원
 2000년~현재 송호대학 정보산업계열 조교수
 관심분야 : 멀티미디어 데이터처리, 멀티미디어 정보보호, 전자상거래 시스템

안 일 영



1983년 한양대학교 전자공학과 (학사)
 1988년 한양대학교 전자공학과 (석사)
 1996년 한양대학교 컴퓨터공학과 (박사수료)
 1990년~1993년 한국생산

성본부 선임연구원
 1995년~2001년 안동정보대학 조교수
 2001~ 현재 송호대학 조교수
 관심분야 : 영상처리, 영상압축, 멀티미디어 정보 보호