

DCT 기반의 블록 재정렬 알고리즘을 이용한 디지털 비디오 워터마킹

정회원 김경식*, 박경준**, 고희화**

Digital Video Watermarking Using Block Reordering Algorithm Based on DCT

Kyoung-Sik Kim*, Kyung-Jun Park**, Hyung Hwa Ko** *Regular Members*

요 약

소프트웨어의 비약적인 발전으로 인해 전문가들에 의해서만 가능하였던 디지털 콘텐츠에 대한 복사, 변질이 일반인들에 의해서도 손쉽게 되었다. 이렇게 디지털 콘텐츠는 여러 장점에도 불구하고 많은 문제점을 야기하게 되었다. 따라서 콘텐츠의 제작자는 소유권 주장이나 내용의 변질에 대한 인증과 검증을 필요로 하게 되었다. 본 논문에서는 디지털 비디오 콘텐츠에 적합한 동영상 워터마킹을 제안하여 MPEG-2 부호기와 복호기에 적용하였고, 동영상에 워터마크를 삽입하기 위해 블록 재정렬 알고리즘과 SCL(Secret Code List)을 제안하여 알고리즘의 기밀성(confidentiality)과 무결성(integrity)을 동시에 만족하였다. 제안한 동영상 워터마킹 시스템의 실험결과는 CIF 크기의 MPEG-2 동영상을 기준으로 16대 1의 압축비에서 최대 3kbps의 워터마크 삽입용량과 추출된 워터마크가 0.99 이상의 상관도를 가지는 강인함과 워터마크 된 동영상의 화질열화와 비트율의 변화가 없는 장점을 가지며, 압축과 크기변경 등의 트랜스코딩(Transcoding) 공격에 대해 강건함을 보였다.

Key Words : watermark, video, DCT, MPEG-2, SLC.

ABSTRACT

The rapid progress of the software has enabled individuals to copy and remake digital contents, which was only done by professionals. However, this rapid growth of software has brought many other defects. As a solution to the problems, contents producer needs to have certification and inspection of its contents text and hold the proprietary rights. In this paper, the new video watermarking scheme is proposed which is appropriate for the requirements mentioned for digital video contents and it is applied to MPEG-2 video encoder and decoder. In order to insert watermark sequence for digital video data, watermarking used blocks reordering algorithm and SCL(secret code list). It is satisfied two properties of cryptography that confidentiality and integrity. We test the proposed algorithm to see its performance in terms of watermark capacity, compression robustness and visual quality impact. According to the experiment of proposed watermarking algorithm, we obtained satisfactory results that watermark can still be extracted after MPEG-2 re-encoding at lower bit rates. It is important property for data hiding and user authentication in video data.

* 삼성전자(ksfree@samsung.com), ** 광운대학교 전자통신공학과({red2000, hhkoh}@kw.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-02-061, 접수일자 : 2005년 2월 6일

I. 서론

21세기 정보화 사회에서 정보통신의 발달과 함께 멀티미디어 산업의 발전으로 다양한 멀티미디어 콘텐츠의 제작과 사용이 급증하게 되었다. 그러나 멀티미디어 콘텐츠는 디지털 기술의 발전에 힘입어 콘텐츠들의 생성 단계부터 디지털로 저장·관리되고 있으며, 디지털 데이터는 원본의 손상 없이 저장·복사·편집·전송 등이 쉽게 이루어지는 특성으로 인하여 불법복제 및 위·변조 등에 노출되어 있다. 따라서 디지털 데이터의 불법 복제 및 변조 등의 문제를 해결하기 위한 필요성과 함께 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호(copyright protection)할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 워터마킹은 다른 저작권 보호 수단들이 해킹 등으로 파괴 이후에도 저작권자가 소유권을 주장할 수 있다는 장점과 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 인증 분야에서 다양하게 응용될 수 있는 특징으로 인하여 그 중요성이 크게 인식되고 있다. 이 중에서 동영상에 대한 디지털 워터마크 기술은 디지털 방송과 하드디스크에 영상정보를 기록하고 재생하는 PVR(Personal Video Recorder)의 확산, 양방향 디지털 방송에 네트워크 기능이 추가된 홈 엔터테인먼트 비디오 시스템의 보급 추세에 따라 멀티미디어 콘텐츠의 상업적 가치를 보존하여 공급자의 수익원을 보장할 수 있는 기술로서 연구되고 있다.

본 논문에서는 디지털 방송 서비스와 다양한 멀티미디어 환경에 널리 쓰이고 있는 동영상 압축 부호화의 표준인 MPEG-2 방식에 적용할 수 있는 디지털 동영상 워터마킹 방법을 제시하였다. 제안한 방식은 영상에 대한 DCT 영역의 주파수 스펙트럼은 영상정보에 따라 에너지가 밀집되는 특성을 고려하여 특성파라미터를 추출하며, 이를 기반으로 양자화 된 DCT 블록들의 특성을 분류하여 블록 재정렬 알고리즘에 의하여 삽입할 워터마크 정보와 블록 배열정보가 상관성을 갖도록 블록을 재배열함으로써 워터마크 정보를 삽입하는 방법이다. 제안한 동영상 워터마킹 알고리즘은 워터마크 삽입으로 인해 비트율이 변하지 않으므로 비트율 제어를 위한 복잡한 제어부분이 필요하지 않으며, 기존방식의 문제점인 동영상의 화질열화 없이 충분한 워터마크 삽입용량을 보장함으로써 인증정보의 안정된 삽입이 이루어진다. 또한 콘텐츠마다 고유한 식별키의 분배와 인증 정보의 암호·복원이 가능하며 워터마크의 강인함을 보장함으로써 양방향 디지털 방송과 네트

워크 환경에서 동영상 콘텐츠의 유통과 관리를 위한 목적으로 사용 가능할 것이다.

II. 동영상 워터마킹

동영상은 정지영상이 연속된 형태로 이루어져 있다. 일반적인 워터마킹 알고리즘은 정지영상과 동영상 사이에 있는 유사성으로 인하여 정지영상의 방법이 동영상에서도 적용될 수 있으나, 정지영상과 동영상 사이에는 중요한 차이가 있다. 정지영상의 경우 신호 범위가 제한적이므로 시각적인 저하를 최소로 하는 것이 중요하며 영상의 손실 없이 강인한 워터마크를 넣기 위하여 HVS(Human Visual System) 모델을 사용한다. 반면 동영상의 경우 큰 신호 범위를 가지고 있으나 워터마킹 시스템에 실시간 혹은 실시간에 가까운 처리와 재부호화환경에서의 워터마킹의 적합성을 고려하여야 한다^[1-4].

동영상 워터마킹은 멀티미디어 콘텐츠에서의 목적에 따라 크게 사용자 인증과 소유권 인증으로 분류된다. 사용자 인증은 사용자가 획득한 권한에 따라 콘텐츠의 사용 권한을 다르게 부여하는 것으로 사용자가 획득한 권한은 경우에 따라 콘텐츠에 대한 시청권한, 복사기능의 여부, 결제를 위한 사용자 인증으로 구성된다. 향후 양방향 디지털 방송과 홈 네트워크 환경의 발전으로 네트워크를 통한 사용자 사이의 접속과 집안의 컴퓨터, TV, 녹화장치, 휴대용 단말기 등의 다양한 디지털 기기간의 상호 연결이 증가할 것으로 예상되고 있다. 이는 다양한 채널을 통하여 여러 장치들 사이에 전송·공유되는 환경을 의미하며, 이에 따라 콘텐츠를 생산하고 제공하는 미디어 업계에서는 소비자가 저작권에 상응하는 비용을 지불하고 멀티미디어 콘텐츠를 이용하도록 하는 것이 최우선 과제이다. 이를 가능하게 하는 사용자 인증 기술은 디지털 콘텐츠에 대한 소비자의 투명한 접속과 이용, 콘텐츠 사용권리의 자유로운 이동을 보장하여 저작권과 사용자의 편리성을 보호하는 방향으로 발전할 것이다^[5].

본 논문에서 제안한 동영상 워터마킹은 멀티미디어 환경에서 콘텐츠의 관리와 인증을 위한 통합 솔루션인 DRM에서 논의되는 기술이다. 이는 DRM의 핵심기술으로써 디지털 콘텐츠가 유일한 식별자를 갖도록 하여 유통과정에서 사용권한의 소유자에 대한 확인 및 권한의 표현을 연계하는 등 많은 애플리케이션에서 중요한 역할을 담당하는 콘텐츠 식별 관리체계(Identification)와 암호화가 필요한 사용자 인

중, 결제 등의 정보를 콘텐츠와 결합시키는 기술을 포함한다. 본 논문의 동영상 워터마킹 시스템은 이러한 콘텐츠 정보를 워터마크로 하여 동영상에 삽입하는 알고리즘을 제안하였다.

2.1 동영상 워터마킹 시스템의 요구사항

동영상의 부호화 구조에서 워터마킹 시스템이 고려해야 하는 문제점은 다음과 같다. 첫째, 워터마크 삽입 프레임의 화질열화는 필연적이며 프레임간에 부호화되는 모든 영상에 전파(propagation)되어 전체 영상의 화질에 영향을 미친다. 둘째, 워터마크의 삽입과 추출에 대하여 동영상 시스템이 요구하는 실시간 특성이 보장되지 않을 경우 워터마크 삽입과 정 동안 프레임 처리에 대한 지연이 발생한다. 동영상은 대부분의 프레임이 참조 프레임(reference frame)을 이용하여 부호화하는 프레임 내에서 이루어지므로, 프레임에 대한 부호화 지연은 동영상 부호화기 성능에 치명적이다. 셋째, 정보의 삽입으로 워터마크 된 동영상의 비트율 증감에 대한 문제이다. 이러한 경우 비트율의 재조정 없이는 원만한 복호화를 이룰 수 없다. 즉 복호화기의 버퍼에서 오버플로우(overflow)가 발생하면 프레임 버림(drop)이 일어나고, 언더플로우(underflow)가 발생하면 동영상의 복호화가 늦어져 동영상과 오디오 사이의 동기가 어긋나는 지터링(jittering)이 일어난다. 영 삽입(zero padding)과 페이드인 시퀀스의 삽입으로 비트율을 재조정하면 비트율 제어에는 효과가 있지만, 시각으로 감지되는 불필요한 영상 정보가 삽입되므로 화질열화가 일어난다. 이에 따라 동영상 워터마킹 시스템은 정보 삽입에 따른 비트율 변화와 화질 열화, 훼손된 영상에서의 강인성 보장, 압축과 비압축 영역에서 워터마크 추출 등의 조건을 만족하고, 시스템에 따라 요구되는 실시간 처리 성능을 만족해야 한다³⁻⁴⁾.

2.2 기존의 동영상 워터마킹 알고리즘

기존의 워터마킹은 삽입·추출방식, 삽입 영역에 따라 다양한 방식으로 같이 연구되고 있다. 그 중 DCT 블록 사이의 에너지 차를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 압축에 강인하고 동영상 부호화 방식에 적합한 방식으로 Langelaar가 제안한 DEW¹⁶⁻⁷⁾ 알고리즘은 인간의 시각이 고주파수에 덜 민감하다는 특성에 기반하여 압축된 영상에서 고주파 영역의 에너지를 부분적으로 제거하여 워터마크를 삽입하는 방식이다.

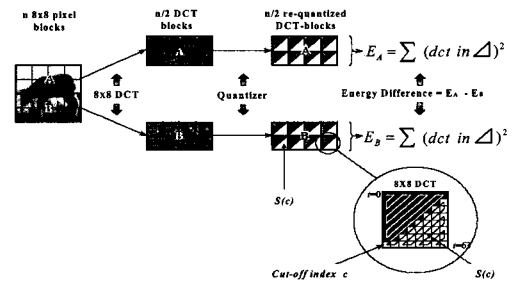


그림 1. DEW 방식에서 n=16 인 8x8 DCT 블록들에 대한 에너지 정의

워터마크의 삽입은 삽입 비트에 따라 DCT 영역의 고주파 성분을 제거하여 두개의 블록영역의 에너지 차에 따라 이루어진다. 그림 1은 이러한 DEW 알고리즘을 나타내며, 워터마크의 삽입 과정은 영상을 n개의 8x8 픽셀 블록으로 나눈 후, 이를 8x8 블록 DCT 하여 n/2개의 DCT 블록으로 나눈다. 워터마크 비트는 선택된 영역인 A와 B의 에너지 차이 값인 "EA-EB"의 부호로써 정의된다. 워터마크 비트가 "0"이면 양의 에너지 차를, 워터마크 비트가 "1"이면 음의 에너지 차를 의미한다. 그러므로 워터마크 삽입은 삽입비트가 "1"이면 EA가 "0"이 되도록 A영역에서 c(cutoff index) 이후의 고주파 계수를 제거하고, 워터마크 비트가 "0"이면 EB가 "0"이 되도록 B영역에서 c 이후의 고주파 계수를 제거하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크 된 스트림이 삽입되지 않은 원본 스트림보다 항상 작으므로 동기화 문제나 버퍼 오버플로우 문제는 자연스럽게 피할 수 있으며, c에 의하여 삭제할 고주파 영역의 DCT 계수를 결정하므로 c의 결정은 곧바로 워터마크의 강인성과 영상의 화질에 영향을 준다.

DEW 알고리즘은 원본 비디오 데이터 없이 압축된 데이터에서 실시간으로 워터마크의 삽입과 추출이 가능하다. 또한 버퍼 오버플로우가 없으므로 음성과 영상사이의 동기가 깨지지 않는다는 장점을 가진다. 단점으로는 워터마크 삽입용량 증가에 따른 화질열화가 크며, 낮은 비트율의 동영상인 경우 고주파 성분의 에너지가 거의 없으므로 워터마크 삽입을 위해 시각적으로 중요한 저주파 성분의 삭제가 필요하여 삽입 비트용량이 작고 화질의 열화가 크다는 것이다.

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서 제안한 동영상 워터마킹은 사용자

인증과 정보 암호화를 위해 제안되었으며 영상정보에 사용자 인증 정보 등을 삽입하는 암호화(Cryptography) 방식에 속한다. 특징으로는 정보량이 큰 워터마크를 가지고, 워터마크 된 동영상의 화질열화와 비트율 변화가 없으며 압축과 크기변경과 같은 재부호화에 강인하다는 것이다. 이러한 워터마크의 삽입과 추출을 위해 DCT 영역의 계수를 분석하여 영상 고유정보를 기술하는 블록 특성 파라미터를 정의 하였고, 영상 변형에 강인한 블록 분류 알고리즘과 암호화의 비밀키에 해당하는 SCL (Secret Code List)을 이용하는 동영상 부호화에 적합한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이에 대한 기본적인 구조는 MPEG-2 시스템을 기반으로 그림 2와 같이 구성된다.

워터마크의 삽입은 양자화 된 I 프레임의 밝기 (luminance) 성분에 대하여 이루어지며, 워터마크의 추출은 I, P, B 프레임을 포함하는 모든 프레임의 밝기 성분에서 이루어진다. 정보의 직접적인 삽입은 12 프레임으로 구성된 GOP(Group of Picture)를 기준으로 모든 I 프레임마다 삽입이 이루어지며, 추출은 I 프레임을 포함하여 연속되는 프레임이 가지는 시간적·공간적 유사성으로 인하여 직접적으로 삽입되지 않은 P, B 프레임에 대해서도 이루어진다. 이에 따라 워터마크는 I 프레임을 기준으로 이전 5 프레임과 이후 6 프레임에서 동일한 워터마크가 추출되며, 그림 3은 이러한 워터마크의 삽입과 추출영역을 나타낸다.

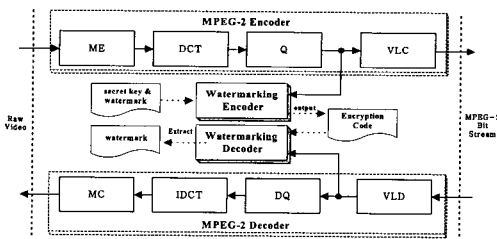


그림 2. 제안한 비디오 워터마킹 시스템 구조

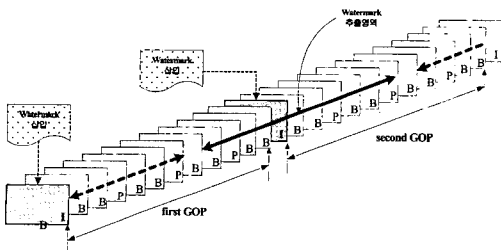
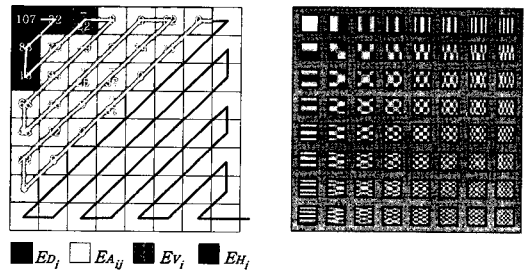


그림 3. 워터마크 삽입 및 추출 영역

3.1 워터마크의 삽입과 추출을 위해 제안한 방법

3.1.1 블록 특성 파라미터

본 논문에서 제안한 동영상 워터마킹 시스템은 공간적 압축을 위하여 블록 DCT를 수행하는 동영상 부호기의 부호화된 블록들에 대한 블록 분류 알고리즘을 포함하며, 블록 분류는 공간 주파수에 따라 정의한 블록 특성 파라미터에 의해 이루어진다. 재부호화 공격에서의 워터마킹 시스템 성능은 블록 분류 오류에 따라 결정되며, 이는 영상 고유 정보는 DCT 영역에서 저주파와 고주파 계수로 표현되며, 압축 후에도 DCT 블록의 대역별 계수의 비율이 일정하게 유지됨을 응용하여 정의한 블록 특성 파라미터에 따른다. 그림 4의 (a)는 블록 영상의 특징을 나타내는 특성 파라미터의 영역과 추출을 위한 스캔 순서를 (b)는 2차원 영상에서의 8x8 DCT의 기저 함수들을 나타낸다.



(a) 특성 파라미터 영역 (b) DCT 기저 함수들
그림 4. 특성 파라미터의 추출영역과 8x8 DCT 블록

블록 분류를 위해 정의되는 블록 특성 파라미터는 DC 성분과 AC 성분에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$E_{D_i} = dc_i$$

$$E_{HVi} = \frac{E_{H_i}}{E_{V_i}}$$

$$E_{A_{ij}} = \sum_{j=1}^Q ac_{ij}$$

여기서, ED_i : DC 에너지 특성 파라미터

$EHVi$: 에지 방향 특성 파라미터

EA_{ij} : AC 에너지 특성 파라미터

$j = 1, 2, 3, 4, \dots, 63$: zigzag scan order

$i = 1, 2, 3, 4, \dots, btotall$: 8x8 DCT 블록 순서

$c_j = 2, 5, 9, 14, 27, 53$: scan order

$$E_{H_i} = \sum_{j=2}^3 ac_{ij}, (h_j = 2, 3)$$

$$E_{V_i} = \sum_{j=1}^5 ac_{ij}, (v_j = 1, 5)$$

위의 식에서 정의된 EDi는 양자화 된 DCT 블록의 DC 계수로써 영상의 평균 명암레벨을 나타내고, EAij는 스캔 순서에 따라 저주파에서 고주파대역까지의 AC 계수의 대역별 누적 합으로 계수 값에 따라 영상의 에지, 텍스처 특징 등의 고유한 정보를 포함하고, EHVi는 영상의 에지 방향성을 나타내는 특성 파라미터이다. EAij에 대한 Cj의 선택은 압축률 증가에 따른 블록 분류의 오류 가능성과 분류를 위한 검색시간의 증가를 고려해서 적절하게 조절해야 하는 trade-off의 관계가 있다.

3.1.2 블록 분류 알고리즘

블록 분류는 워터마크 삽입용량과 함께 전체 시스템의 성능을 결정하는 중요한 부분으로써 압축 공격과 같은 재부호화에 따른 블록 분류의 오류 가능성을 고려해야 한다. 8x8 블록 DCT 된 프레임은 유사성을 감소시킨 4개의 블록을 기본블록으로 하여 구성되며, 블록 분류란 이러한 기본블록 내의 블록들을 특성 파라미터 의해 순위를 결정하고 분류하는 것이다. 블록 분류 과정은 동영상 부호화 과정에서 발생하는 영상정보의 손실과 압축, 재부호화 공격 등을 고려하여 정의된 블록 특성 파라미터의 우선순위에 의해 이루어지며, 워터마크 비트열에서 기본비트(4-bits) 단위로 삽입 되며, 기본비트 삽입을 위한 전처리 과정으로 인트라 프레임의 모든 블록에 대해 다음과 같은 과정으로 기본블록내의 블록을 내림차순으로 분류한다.

단계 1. 각 블록의 EDi의 정규화 된 값인 ENDi에 따라 블록을 최대에서 최소 값으로 배열하고, 내림차순으로 분류된 블록에서 인접 블록간의 ENDi의 차이인 diff (ENDi) 구한다. 기본블록이 모두 식(2)을 만족한다면, 다음 기본블록에 대해 단계 1을 수행한다.

$$E_{NDi} = \frac{E_{Di}}{\sum_{m=4k+1}^{4(k+1)} E_{Dk}} \quad (1)$$

$$diff(E_{NDi}) > T_d \quad (2)$$

여기서, $k = (i - 1) \bmod 4$

$$diff (ENDi) = ENDi - ENDi-1$$

Td : DC threshold

단계 2. 이전 과정에서 분류되지 않는 기본블록내의 블록은 에지 파라미터 EHVi를 비교하여 에지의 방향성에 따라 내림차순으로 분류된다.

단계 3. 단계 1과 2에 의해 분류되지 않는 블록은 식(3)를 만족하도록 Cj를 증가시키며 내림차순으로 분류한다.

$$diff(E_{Ai}) > T_a \quad (3)$$

여기서, $diff (EAij) = EAij - EAij-1$

Ta : AC threshold

위 과정에 따라 인트라 프레임의 모든 블록들은 기본블록 단위로 분류된다. 임계값인 Td, Ta는 재압축 부호화와 영상 정보의 변화로 인한 블록분류에 대한 오류의 가능성을 줄이며, 워터마크 삽입·추출 성능과 워터마크 삽입용량을 결정한다.

그림 5는 이러한 블록 분류 알고리즘의 과정을 나타낸다.

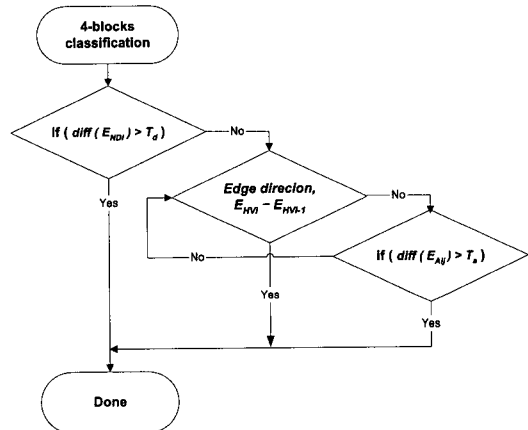
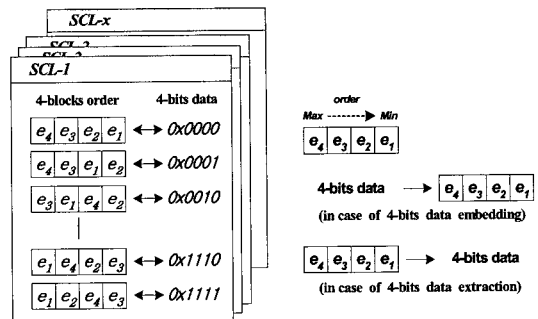


그림 5. 블록 분류 과정

3.1.3 SCL(Secret Code List)

그림 6의 (a)는 워터마크의 삽입과 추출시 사용되는 SCL(Secret Code List)의 구조를 나타내고, (b)는 기본블록의 구조를 나타낸다.



(a) SCL의 구조

(b) 기본블록의 구조

그림 6. 비밀 코드 리스트

SCL은 워터마크인 데이터 비트를 암호화 하여 영상정보에 따라 워터마크의 삽입과 추출을 가능하게 하는 비밀키(secret key)이며, 4개의 블록으로 기본블록을 정의할 경우, 약 1.5×10^{19} 개의 서로 다른 비밀키가 존재한다. SCL은 순위에 따른 4개 블록의 배열정보와 4 비트의 데이터가 짝을 이루어 하나의 코드를 이루는 구조로써 모두 16개의 코드로 구성되며, 블록의 순위는 앞서 정의한 블록 특성 파라미터에 의해 결정된다. SCL의 특성은 다음과 같다. 워터마크의 삽입과 추출은 동일한 SCL에 의해서만 이루어지고, 보안성을 만족하기 위한 충분한 개수의 비밀키가 존재한다. 이는 60억의 개체마다 25억(2.5×10^9)개의 서로 다른 비밀키 분배가 가능하여 암호화의 기밀성을 만족하고, 이상적인 워터마킹의 조건인 알고리즘 공개에 제한되지 않고 키에 따라 암호화 되는 워터마킹이 가능함을 의미한다.

3.2 워터마크의 삽입과 추출 과정

제한한 워터마킹 시스템의 성능은 인접 블록간의 유사성이 클수록 블록 분류 오류가 증가하여 낮아지게 된다. 따라서 유사성 감소를 위하여 블록들은 분할된 4개의 영역에서 재배열 키(shuffling key)에 의해 그림 7과 같이 불규칙하게 배열된다.

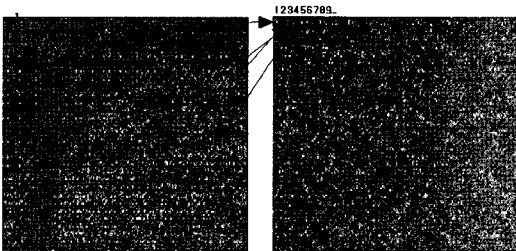


그림 7. 블록단위로 불규칙하게 배열된 I-frame

워터마크의 삽입과 추출은 그림 8과 같은 알고리즘에 의해 이루어진다.

3.2.1 워터마크 삽입 과정

워터마크의 삽입은 그림 7과 같은 알고리즘에 따라 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

단계 1. 양자화 된 인트라 프레임에서 인접 블록 사이의 유사성을 줄이기 위해 재배열 키로 생성된 의사난수(Pseudorandom) 수열에 의해 8x8 블록 단위로 그림 8과 같이 분할된 영역에서 프레임의 블록 단위로 불규칙하게 배열한다.

단계 2. 모든 블록에 대해 EDi, EAij, EHVi의 블록 특성 파라미터를 추출한다.

단계 3. 블록 특성 파라미터를 참조하여 블록분류 알고리즘에 따라 블록의 순위로부터 블록을 분류하고, 프레임 내의 모든 기본블록에 대해 반복 수행한다.

단계 4. 단계 3의 과정으로 순위에 따라 분류된 블록들은 사용자에 따른 비밀키인 x번째의 SCL에 따라 그림 9와 같이 SCL-x에 의해 삽입정보인 워터마크 비트열의 기본비트 값에 대응하는 블록배열로 재배열된다. 이 과정은 인트라 프레임의 모든 블록에 대해 반복 수행됨으로써 워터마크의 삽입과 암호화가 이루어진다.

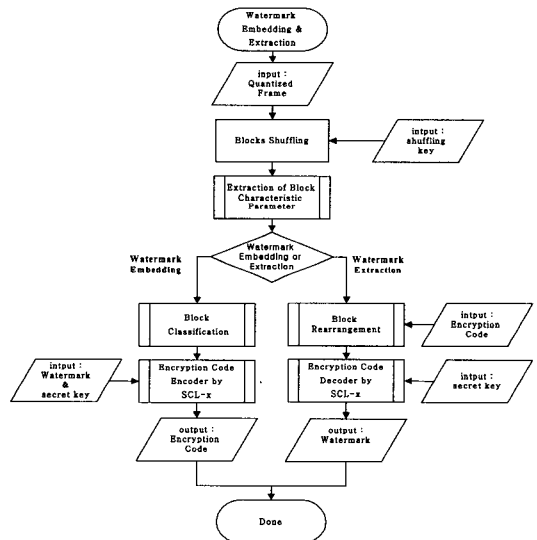


그림 8. 워터마크 삽입과 추출 알고리즘

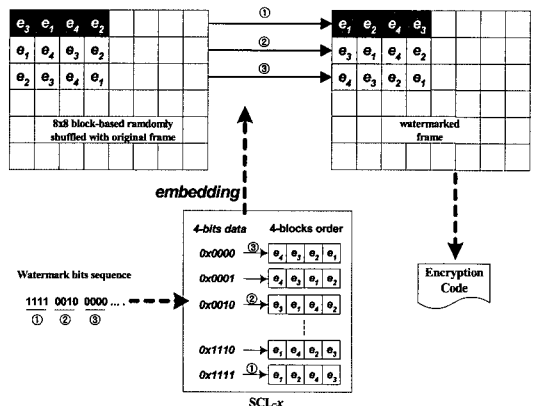


그림 9. 워터마크 삽입

암호화코드(Encryption Code)는 워터마크 비트열이 블록배열 정보로 암호화된 불규칙 비트열이며, 워터마크 추출에 사용된다.

3.2.2 워터마크 추출 과정

워터마크 추출과정은 그림 8과 같은 알고리즘에 의해 다음의 과정으로 이루어진다.

단계 1. 재배열 키에 의해 역양자화 이전의 프레임의 블록을 불규칙하게 배열한다.

단계 2. 모든 8x8 DCT 블록에서 블록 특성 파라미터인 EDi, EAij, EHVi를 추출한다.

단계 3. 블록 특성 파라미터를 참조하여 블록분류 알고리즘으로 블록의 순위에 따라 블록을 분류하고, 프레임 내의 모든 기본블록에 대해 반복 수행한다.

단계 4. 암호화코드에 따라 블록을 재배열하고, 그림 10과 같이 삽입과정과 동일한 SCL-x을 참조하여 기본블록 단위로 블록 배열 정보에 대응하는 4 비트 정보를 추출한다. 이 과정은 프레임내의 블록에 대해 반복하여 수행함으로써 워터마크의 추출이 이루어진다.

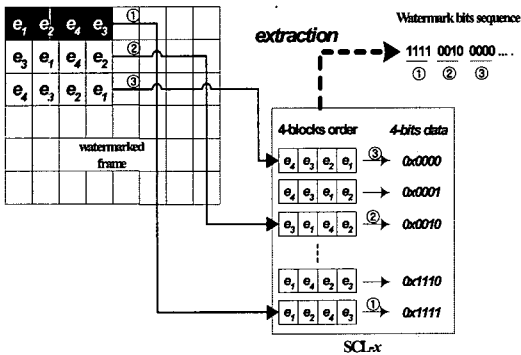


그림 10. 워터마크 추출

IV. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 동영상 워터마킹 방법에 대한 검증은 위하여 블록 DCT 기반의 동영상 부호화 방식인 MPEG-2 부호기와 복호기를 사용하였다. 352x288(CIF) 크기의 salesman, akiyo, foreman, children, claire, football의 영상에 대해 각 150프레

video information (4 byte)	watermark information (2 byte)	watermark image data (191 byte)
-------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------



Watermark bit sequence (197 byte)

(a) 워터마크 비트열 구조 (b) 워터마크 로고 영상
그림 11. 실험에 사용한 워터마크

임을 29.97fps, 12 프레임의 GOP 구조로 256kbps~4Mbps의 비트율로 부호화하여 실험하였다. 197byte의 비트열과 이진 로고 영상을 워터마크로 하였다. 제안한 방법에 의해 워터마크가 삽입된 동영상에 대하여 재압축(re-compression), 크기 변경(re-sizing) 공격 후 워터마크를 검출하여 트랜스코딩 환경에서의 강인성에 대해 실험하였다. 그림 11은 실험에 사용된 워터마크의 데이터 구조와 이진 로고 영상을 나타낸다.

워터마킹 시스템의 객관적 성능 평가를 위한 방법으로 검출된 워터마크와 원본 워터마크 사이의 유사성 판단하는 NC(Normalized Correlation)를 사용하였다. NC가 "1" 일 경우 삽입된 워터마크와 추출된 워터마크가 완벽하게 동일함을 의미하며, 다음과 같이 정의된다.

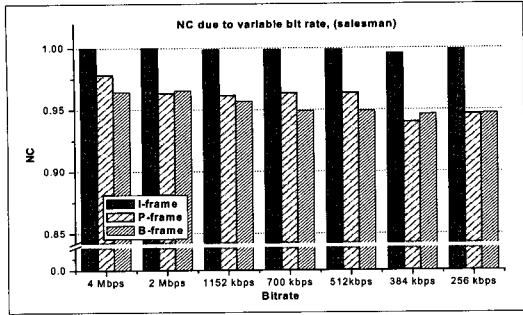
$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W_{i,j} W_{i,j}^*}{\sum_i \sum_j [W_{i,j}]^2}$$

여기서 W는 원본 워터마크의 화소 값을 나타내고 W*는 검출된 워터마크 영상의 화소 값을 나타낸다.

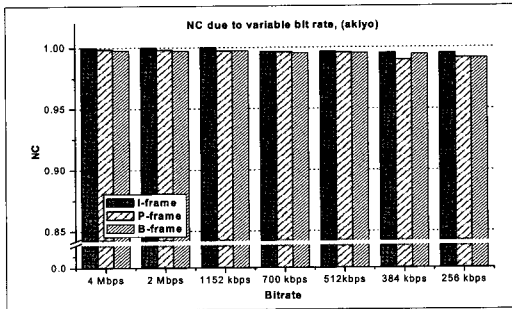
4.1 다양한 비트율에서의 워터마크 추출 성능

다양한 비트율로 부호화된 동영상에서의 워터마크 추출 성능에 대한 실험은 동영상을 256kbps~4Mbps로 부호화하여 CIF 크기의 영상일 기준으로 최대 워터마크 삽입용량인 3kbps의 비트율로 I 프레임마다 삽입하였고, 복호화 과정에서 I, P, B 프레임을 포함하는 모든 프레임에서 워터마크를 추출하였다. 그림 12는 동영상의 비트율에 따라 I, P, B 프레임에서 추출된 워터마크의 NC의 실험결과를 나타낸다.

실험 결과는 I 프레임에서 추출된 워터마크는 salesman과 akiyo에서 0.997 이상의 NC를 나타내며, P, B 프레임에서도 높은 NC를 나타낸다. 이는 고화질부터 저화질의 동영상에서 충분한 워터마크 삽입용량과 압축 환경에서의 내성을 보장하며, 프레임 평균·삭제·교체 등의 특별한 공격에 대한 제안 방식의 강인함을 나타낸다.



(a) salesman



(b) akiyo

그림 12. 다양한 비트율로 부호화된 동영상에 대한 실험결과

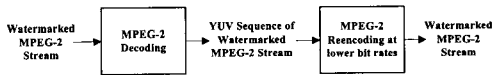


그림 13. 재부호화 과정

4.2 재부호화 공격에 대한 워터마크 추출 성능

재부호화에 대한 강인성을 측정하기 위한 실험으로, 워터마크가 삽입된 동영상을 복호화한 후, 복호된 영상을 입력으로 낮은 비트율의 동영상으로 재부호화 하였다. 워터마크는 재부호화된 동영상 스트림에서 추출하여 압축 공격에 대한 성능을 평가하였다. 그림 13은 이러한 재부호화 과정을 나타낸다.

실험은 워터마크된 4Mbps의 동영상을 256kbps~2Mbps까지 재부호화 하였으며, 이에 대하여 그림 14는 3kbps의 워터마크 삽입용량에 대한 동영상의 압축 비트율과 NC의 관계를 나타낸다. 이는 3kbps의 워터마크 삽입용량에 대해 모든 압축 비트율에서 0.978 이상의 높은 NC 값을 나타낸다. 이것은 재압축 부호화 환경에서 제안한 방식이 높은 워터마크 삽입용량의 보장과 강인성의 조건을 동시에 만족함을 나타낸다. 그림 15는 재부호화 된 동영상에 대한 연속 프레임에서의 압축 비트율과 NC의 관계를 나타내며, 이는 압축공격과 프레임 평균·삭제·교체 등의 공격에 대한 강한 내성을 나타낸다.

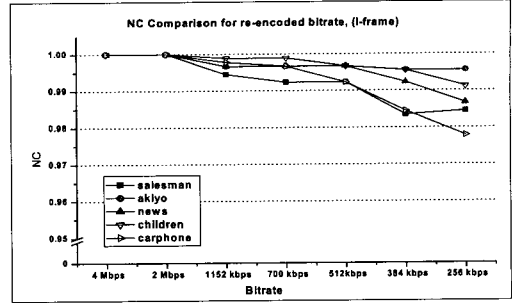


그림 14. 4Mbps의 동영상상을 낮은 비트율로 재부호시 인트라 프레임에서 추출된 NC

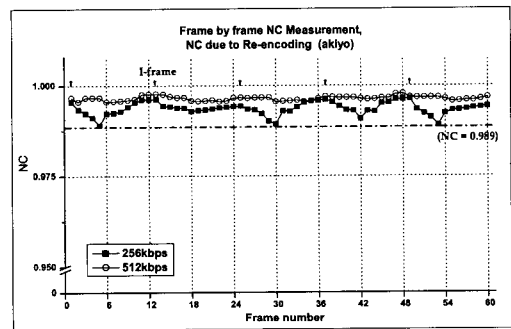


그림 15. 4 Mbps의 동영상상을 낮은 비트율로 재부호시 비디오 스트림에서 추출된 NC

그림 16은 크기변경 공격에 대한 실험 결과를 나타내며, 원본 동영상의 10%의 크기에서 0.95 이상의 높은 NC 값을 나타낸다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 비교를 위하여, 기존 방식 중 블록 사이의 에너지 차를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 압축에 강인하고 동영상에 적합한 워터마킹인 Langelaar의 DEW 방식^[6]과, Langelaar가 제안한 방식에서 낮은 비트율의 동영상에 대한 성능을 개선한 Setyawan의 XDEW

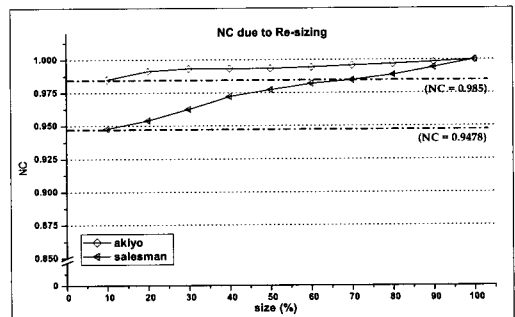


그림 16. 크기변경 비율과 NC에 대한 실험 결과

표 1. 낮은 비트율에서 기존방식과 제안한 방식과의 비교(CIF, clare)

MPEG-2 영상의 비트율	DEW				XDEW				제안방법			
	256kbps		512kbps		256kbps		512kbps		256kbps		512kbps	
위터마크 삽입조건	opt	max	opt	max	opt	max	opt	max	opt	max	opt	max
위터마크 삽입비트율(bps)	70	380	110	380	70	870	110	870	1844	3168	2648	3168
BER(%)	2	32	8.2	39.5	3	41.3	1.4	31.6	0	0.14	0	0.06

(Extended DEW) 방식^[8]과 비교 평가를 하였다. Langelaar와 Setyawan이 제안한 방식은 압축을 고려한 방식으로 동영상의 비트율에 따른 화질열화를 고려하여 위터마크 삽입용량이 가변적이며, CIF의 영상 크기를 기준으로 256kbps의 낮은 비트율인 경우 위터마크 삽입에 따른 화질열화가 심하여 약 70bps의 위터마크 삽입율이 최적이며 2~3%의 BER(Bit Error Rate)을 나타내고, 최대 110~870bps의 위터마크 삽입율에 대해서는 32~41%의 BER을 나타낸다. 제안한 방식은 동일 조건에 대하여 3kbps의 위터마크 삽입율과 0.14% 이하의 BER을, 1.8kbps의 삽입율에 대하여 0%의 BER을 나타내어 향상된 결과를 보였다. 또한 압축과 낮은 비트율의 동영상 환경을 고려한 기존 알고리즘과의 비교에서도 제안한 알고리즘은 위터마크 삽입용량과 화질열화가 비례하지 않는 특성을 가진다. 표 1에서는 낮은 비트율로 부호화된 동영상에 대해 Langelaar, Setyawan의 방식과 본 논문에서 제안한 방식에서의 동영상 비트율에 따른 위터마크 삽입용량과 BER을 비교하였다. 위터마크가 삽입된 512kbps의 동영상을 428kbps로 부호화하는 재압축 공격의 경우도 Setyawan의 방식과 비교하여 제안한 방식이 향상된 결과를 나타내었다. 표 2는 재압축 공격에 대해 Setyawan의 방식과 제안한 방식의 압축율에 따른 여러 비트율의 비교를 나타내었다.

본 논문에서는 위터마크의 삽입량과 강건함을 동시에 만족하고, 동영상의 화질열화와 비트율의 변화 없이 위터마크의 삽입과 검출이 가능한 동영상 위터마킹 알고리즘을 제안하였다.

표 2. 재압축 공격에 대한 성능 비교

	BER (%)			위터마크 삽입 비트율
	512kbps	468kbps	428kbps	
XDEW	3	7	17	70 bps
제안 방법	0	0	0	70 bps
	0	0	0	2.6 kbps
	0.062	0.107	0.124	3.1 kbps

V. 결론

동영상 위터마킹은 멀티미디어 콘텐츠의 사용 목적에 따라 크게 사용자 인증과 소유권 인증으로 분류된다. 본 논문에서는 사용자 인증을 위한 방식으로써 블록 재정렬 알고리즘과 SCL을 제안하여 인증 정보에 대한 암호화의 기밀성(confidentiality)과 무결성(integrity)을 만족하고, 동영상 압축 부호화 방식에 적합한 위터마킹 방식을 제안하였다. 영상정보가 DCT 영역에서 주파수 대역별 에너지의 값으로 변환되는 특성을 고려하여 블록 특성 파라미터에 의한 블록 분류를 수행하고, 삽입 정보를 비밀키인 SCL에 의한 블록의 배열정보로 암호화하여 위터마크를 삽입하는 방식을 제안하였다. 이는 압축 등에 의해 DCT 블록의 계수 값이 변하는 특성과 달리 블록들 간의 대역별 에너지 비율이 변하지 않는 성질을 고려하여 압축 부호화 환경에서 강한 내성과 적응성을 가지도록 하였다. 또한 사용자와 소유권 인증을 위한 정보가 개체마다 구분된 비밀키인 SCL에 의해 삽입·추출되므로 사용자와 콘텐츠에 따른 개별성과 암호화 특성을 만족한다.

실험에 의한 결과에서 제안한 방식은 위터마크된 동영상의 화질열화와 비트율의 변화가 없으며, 위터마크 삽입용량에 대한 성능은 기존 방식과 비교하여 CIF 크기의 영상을 256kbps로 부호화한 동영상에 대해 최대 위터마크 삽입용량인 3kbps에서 0.14%의 낮은 BER을 가진다. 위터마크가 삽입된 4Mbps의 동영상을 재부호화 하여 16대 1의 비트율을 가지도록 압축한 256kbps의 동영상의 I 프레임에서는 3kbps의 위터마크 삽입율에 대해 0.978 이상의 NC 값을 나타내고, 크기변경 실험으로 위터마크가 삽입된 원본 영상의 10% 크기의 영상에서 0.95 이상의 NC 값을 가지는 위터마크의 추출이 가능함으로써 동영상의 트랜스코딩에 환경에 대한 적응성과 내성을 보였다. 또한 I 프레임에만 삽입하는 방식을 제안하여 시스템의 복잡도를 줄였으며, 위터마크가 인프라 프레임으로 전파(propagation)되

는 특성으로 인하여 프레임 평균·삭제·교체 공격에 강인하고, 동영상 시스템에서의 구현을 위한 실시간 성능을 만족하였다.

향후 연구 과제로는 스포츠 중계와 같이 움직임이 큰 영상에서의 워터마크 전파 성능을 개선하기 위한 보상 알고리즘과 재채단위의 부호화 방식에 적합한 알고리즘의 개발이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Katzenbeisser and F. A.P. Petitcolas, "Information hiding : technique for steganography and digital watermarking," Artech House, 2000.
- [2] K. Tanaka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding secret information into a dithered multilevel image," in *Proc. 1990 IEEE Military Commun. Conf.*, pp. 216-220, Sept. 1990.
- [3] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video," *Signal Processing vol. 66*, no. 3, pp. 283-301, May 1998.
- [4] F. Jordan, M. Kutter and T. Ebrahimi, "Proposal of a watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed and decompressed video," *ISO/IEC document JTC/SC29/WC11/MPEG7/M2281*, July 1997.
- [5] 조소연, "디지털 콘텐츠 식별체계", *TTA 저널*, 84호
- [6] G. C Langelaar, "Real-time Watermarking Techniques for Compressed Video Data," *Ph.D. dissertation, Delft University of technology, The Netherlands*, Jan. 2000.
- [7] G. C Langelaar and R. L Lagendijk, "Optimal Differential Energy Watermarking of DCT Encoded Image and Video," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.10, no.1, Jan. 2001

- [8] I. Setyawan and R. L Lagendijk, "Low bit-rate video watermarking using temporally extended Differential Energy Watermarking algorithm," in *Proc. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol.4314, Jan. 2001.

김 경 식 (Kyoung-Sik Kim)

정회원



2002년 2월 광운대학교 전자통신공학과 졸업
2005년 2월 광운대학교 전자통신공학과(석사)
2005년 2월~현재 삼성전자 <관심분야> 워터마킹, MPEG

박 경 준 (Kyung-Jun Park)

정회원



1999년 2월 서울산업대학교 전자공학과 졸업
2001년 2월 광운대학교 전자통신공학과(석사)
2001년 8월~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사과정
<관심분야> 워터마킹, 얼굴검출

고 형 화 (Hyung Hwa Ko)

정회원



1979년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
1982년 2월 서울대학교 전자공학과(석사)
1989년 2월 서울대학교 전자공학과(박사)
1985년 2월~현재 광운대학교

전자통신공학과 교수

<관심분야> 영상통신, 2진문서 압축, 웨이블릿 부호화