일반논문-08-13-3-06

UCC 편집에 강인한 DCT 압축영역 기반 고화질 영상 워터마킹 기법

김 정 연^{a)}, 남 제 호^{a)†}

UCC-Resilient HD Content Watermarking Scheme on DCT Compressed Domain

Jung-Youn Kim^{a)} and Jeho Nam^{a)†}

요 약

본 논문은 UCC 환경에 강인한 고화질 영상 워터마킹 방법을 제안한다. 우선 영상의 저작권 측면에서 방송영상과 UCC의 관계를 설명하며, UCC 편집유행의 분석을 통하여 워터마크 요구사항을 제시한다. 그리고 기존 연구의 고찰을 통하여 요구사항에서 제시한 주요공격에 강인한 워터마킹 방법을 살펴본다. 제안된 알고리즘의 워터마크 삽입은 8×8 블록 DCT 영역의 DC 성분과 AC 성분에서 수행되며, 워터마크 추출은 기하학적 공격에 대비하여 DC 영상을 이용한 동기화 과정 후 수행한다. 성능평가 실험에서는 삽입된 워터마크의 비가시성과 강인성을 검증하여 제시된 요구사항에 만족함을 확인하였다. 특히 제안된 알고리즘은 다양한 공격이 복합적으로 적용되는 UCC 환경에서 강인한 것으로 확인되었다.

Abstract

We propose a novel high-definition content watermarking algorithm that is highly feasible in UCC (User Created Contents) environment. We begin by addressing an association between broadcasting content and UCC in a view of copyrights, then present watermark requirements by analyzing various UCC editing-effect. Also, we provide a brief review of previous watermarking techniques that are supposed to satisfy the requirements. Our proposed scheme inserts a invisible watermark into both DC and AC components on 8×8 block DCT domain and extracts them after synchronization using DC image. Experimental results show that our technique satisfies the requirements of invisibility and robustness to a variety of attacks such as rotation, scaling, cropping, and JPEG compression, etc. Note that the proposed scheme is highly resilient to UCC edit attacks that are combined by many different types of watermark attacks.

Keywords : Watermark, UCC, DCT, DWT, DC, AC

I. 서 론

새로운 문화로 자리 잡은 사용자제작콘텐츠(User Created Content; UCC)의 80% 이상이 기존 미디어·방송콘텐츠의 단순 복제물이거나 임의로 편집·재가공한 저작권 침해물인 것으로 보고되었다^[1]. 특히 UCC 이용자의 46.1%는 영화·드라마·CF 등 기존 창작물의 패러디 작품을 선호하는

a) 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털방송공학
School of Mobile Communication & Digital Broadcasting Engineering, UST
한국전자통신연구원(ETRI) 방통미디어연구부
Broadcasting & Telecommunications Media Research Department, ETRI

† 교신저자 : 남제호 (namjeho@etri.re.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-003-02, 지상파DTV 방송 프로그램 보호 기술개발]

것으로 조사되었고, 이러한 UCC 저작권 침해는 방송영상물 저작권자인 방송사와 UCC 서비스 업체 간의 심각한 갈등을 야기하였다. 현재 UCC 저작권 침해 문제의 해결을 위한 방송사와 UCC 서비스 업체 간의 지속적인 협의와 UCC 서비스 활성화를 위한 공동노력이 진행되고 있다^[1].

최근 지상파 방송사들은 저작권 보호를 위한 수세적 태도를 탈피하고 UCC 이용자에 대한 방송콘텐츠 개방의 폭을 넓히고 있다. SBS의 'NeTV'와 MBC의 'MBC 드라마편'이 그 예이다. 방송콘텐츠를 이용한 UCC의 저작권은 UCC 제작자에게 있으며, 또한 원본 방송콘텐츠뿐만 아니라 UCC에도 저작권자의 동의없이 타인에 의해 영리적 목적으로 사용될 경우를 대비한 저작권 보호가 필요하다.

방송영상 등 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 방법의 하나로 디지털 워터마크 기술이 있다. 저작권 정보가 포함된 워터마크를 디지털 콘텐츠에 은닉 삽입함으로써 추후 저작권 침해에 대한 분쟁 발생 시에 저작권자로서의 권리를 행사할 수 있다. 방송영상 또는 1차적으로 제작된 UCC는 또 다른 UCC를 만들기 위한 콘텐츠로 이용될 수 있다. 따라서 원본 영상뿐만 아니라 1차적으로 제작된 UCC에 대해서도 워터마크를 삽입함으로써 해당 UCC의 저작권 보호가 가능하다.

본 논문은 UCC 이용 환경에서 방송콘텐츠의 저작권 보호를 위하여 다양한 UCC 편집 효과에 강인한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. UCC 편집·재가공에 주로 활용되는 드라마·CF 등의 방송콘텐츠는 1920×1080 해상도의 고화질 영상이다. 제안된 알고리즘은 디지털 방송영상의 일반적인 포맷인 MPEG-2 압축방식의 8×8 블록 DCT 변환을 기반으로 하며, 특히 DCT 영역의 DC 및 AC 성분에서 워터마킹이 이루어진다. 먼저 8×8 블록 DCT 영역의 DC 성분만으로 구성된 DC 영상에 워터마크 삽입 후^[2], DC 영상에 삽입된 워터마크의 특성에 따라서 각 블록의 AC 성분에 적응적으로 워터마크 삽입이 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 방송콘텐츠의 주요 UCC 편집유형을 분석하고, 이에 따른 UCC 환경에 강인한 방송콘텐츠 워터마크의 요구사항을 제시한다. 그리고 기존 연구의 고찰을 통하여 제시된 각각의 요구사항에 따른 최적의 워터마킹 방법을 살펴본다. III장에서는 8×8 블록 DCT 영역의 DC 및 AC 성분 워터마킹 방법을 제안한다.

그림 1. UCC의 주요 편집과정

Fig. 1. The main edit process of UCC.

IV장에서는 기존 워터마킹 알고리즘과의 다양한 성능 비교 실험을 통하여 UCC 편집 효과에 대한 워터마크의 비가시성 및 강인성을 평가하고, 그 실험결과를 제시한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺음으로써 본 논문을 마친다.

II. UCC 환경의 워터마크 요구사항

그림 1은 HD 방송영상을 이용한 UCC의 주요 편집과정의 예를 나타낸다. HDTV 수신카드 등을 이용하여 HD 방송영상의 특정 장면을 정지영상 형태로 획득하고, 이를 인터넷 전송 및 UCC 사이트 등에 게재가 용이한 저해상도 영상 크기로 변환한 후 말풍선 및 텍스트 등의 다양한 UCC 효과를 삽입한다. 마지막으로 저용량의 JPEG 압축 포맷으로 저장한다.

그림 2는 다양한 UCC 편집 효과가 적용된 영상의 예제를 나타내고 있다. 그림 2(a)는 말풍선과 텍스트가 적용되었으며, 그림 2(b)는 말풍선 및 텍스트뿐만 아니라 다른 영상의 일부분을 원본 영상에 붙인 것이다. 그림 2(c)의 경우 영상의 양끝을 잘라냄으로써 HD 방송영상의 16:9 종횡비를 4:3으로 변환하였으며, 그림 2(d)는 말풍선과 임의의 그림을 추가함으로써 원본영상을 변형시킨다. 그리고 이러한 UCC 편집 영상은 약 0.5~0.25 비율로 크기감소(down-scaling)가 이루어지며, JPEG 압축 포맷으로 저장된다.

그림 2. UCC 편집 효과가 적용된 영상의 예: (a) 말풍선 + 텍스트, (b) 말풍선 + 다른 영상의 일부분 + 텍스트, (c) 4:3 영상비 변환, (d) 말풍선 + 입의의 그림 추가
Fig. 2. Example of UCC edited image: (a) speech balloon + text, (b) speech balloon + one part of other images + text, (c) speech balloon + a certain image.

표 1. UCC 편집 효과와 통계

Table 1. Statistics and types of UCC edit.

말풍선 비율*	텍스트		UCC 영상의 평균 크기		저장 포맷
	평균 문자수	평균 폰트 크기	가로	세로	
12%	23.20 개	13.97 pt	408.59 px	278.23 px	JPEG

* 말풍선 비율 : 전체영상에서 말풍선 영역이 차지하는 픽셀(pixel) 비율

본 연구에서는 UCC 환경에서의 워터마크 요구사항을 도출하기 위하여 각 UCC 편집유형에 대한 정량적인 분석을 실시하였다^[3]. iMBC 드라마편(<http://dramafun.imbc.com>), 디시인사이드(<http://www.dcsinside.com>) 등 주요 UCC 서비스 사이트로부터 약 100개의 방송콘텐츠 편집영상(패러디) 등을 수집하여, 그 조사결과를 표 1에 정리하였다. 말풍선 비율은 전체영상에서 말풍선 영역이 차지하는 비율을 %로 나타낸 것이다. 워터마크의 공격 측면에서 볼 때 말풍선 및 텍스트 삽입과 화면 종횡비 변환 등은 잘라냄(cropping) 공격의 일종이다. 그리고 영상의 크기변환은 1920×1080 HD 방송영상을 기준으로 할 때 평균적으로 가로 0.21($\approx 408.59/1920$), 세로 0.26($\approx 278.23/1080$)의 화면 비율로 스케일링(scaling) 공격이 가해진 것으로 확인되었다(즉, HD: 1920×1080 → UCC: 408.59×278.23). 마지막으로 UCC 영상의 일반적인 파일 포맷인 JPEG 압축 변환도 영상의 화질 열화 측면에서 워터마크 공격으로 간주된다.

본 연구에서 조사한 통계자료와 유럽방송연맹(European Broadcasting Union; EBU)의 워터마크 요구사항^[4]을 참고하여 UCC의 복합적인 편집에 대한 방송콘텐츠 워터마크의 요구사항을 표 2와 같이 제시한다.

기존의 워터마킹 알고리즘을 살펴보면 각각의 공격마다 강인한 특성을 보이는 주파수 영역이 존재함을 알 수 있다.

표 2. UCC 환경에서의 방송콘텐츠 워터마크 요구사항

Table 2. Watermark requirement of broadcasting under UCC environment.

종류	세부사항	요구사항
비가시성	PSNR	40dB 이상
	크기변환(scaling)	0.2 ~ 1.5
	잘라냄(cropping)	최대 50%
강인성	회전(rotation)	0° ~ 5°
	종횡비 변경 (aspect-ratio change)	16:9 → 4:3
	화이트 노이즈 (white noise)	30dB 이상
	색상 변환	color → gray
	JPEG 변환	Q = 5% 이상
	기타 UCC 공격	텍스트, 말풍선 등

크기변환에 강인한 주파수 변환 기법은, 영상의 전체 DCT (Discrete Cosine Transform) 영역의 저주파 AC 성분 워터마킹 방법^[5]과 블록 DCT 영역에서의 AC 또는 DC 성분 워터마킹 방법^[6,7] 등이 있다. 전체 DCT의 경우 HD 방송영상과 같은 고화질 영상에 적용하였을 때 화질열화가 크다는 단점이 있다. 그리고 블록 DCT 영역에서의 DC 성분의 경우 역시 해당 블록의 평균 화소값을 결정하기 때문에 워터마크 삽입 과정에 신중한 주의가 필요하며, 히스토그램 평활화(histogram equalization) 등과 같이 블록의 평균값에 영향을 주는 공격에는 상대적으로 강인하지 못하다는 단점이 있다. 잘라냄 공격에 강인한 방법으로는 블록 DCT 영역에서의 AC 성분 워터마킹 방법^[7] 등이 있다. 블록 단위로 워터마크를 삽입하기 때문에 전체영상의 일정 부분이 사라져도 남은 블록에서 워터마크의 추출이 가능하다. 그러나 상대적으로 크기변환(scaling) 등 기하학적 공격에는 강인성이 떨어진다는 단점이 있다. 회전(rotation) 공격에 강인한 워터마킹 방법으로는 DFT(Discrete Fourier Transform)

* MLV : Mean of Localized Variation

그림 3. 워터마크 삽입 과정

Fig. 3. Process of inserting watermark

영역에 LPM (Log Polar Mapping)과 결합하여 워터마크를 삽입하는 방법과^[8-9], 템플릿(template)을 삽입하여 동기화를 수행하는 방법이 있다^[10]. 특히 LPM과 결합한 방법의 경우 기하학적 공격(Rotation, Scaling, and Translation)에 강인한 방법으로 알려져 있으나 크기변환(scaling)의 경우 0.5~1.5 비율 내에서만 효과적인 것으로 보고되었다^[11]. 따라서 표 2에 제시된 UCC 환경에서의 방송콘텐츠 워터마크 요구사항을 만족시키지 못한다. JPEG 압축 공격은 앞서 살펴본 블록 DCT의 DC 성분에 삽입하는 방법이 강인성을 보이는데, 특히 8×8 블록 DCT는 JPEG 압축에서 사용되는 방식이기 때문에 JPEG 압축 공격에 매우 강인하다. 그 밖에 DWT(Discrete Wavelet Transform) 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 있는데^[12-14], 다른 주파수 영역에 비해서 상대적으로 알고리즘에 따른 강인성 차이가 큰 것으로 확인되었다.

HD 방송영상물은 일반적으로 8×8 블록 DCT 기반의 MPEG-2 동영상 압축 표준을 따른다. 따라서 방송콘텐츠에서 8×8 블록 DCT 영역이 아닌 다른 주파수 영역(즉, DFT, 전체 DCT, DWT 등)에 워터마킹을 적용하려면 공간 영역(spatial domain)에서 각 주파수 영역으로 변환 후에 다시 역변환을 요구하게 된다. 이러한 방법은 HD 영상과 같이 해상도가 높은 방송콘텐츠의 경우에 그 처리량이 매우 증가되기 때문에 효율적이지 못하다.

제안된 알고리즘은 방송영상의 MPEG-2 압축에 사용되는 8×8 블록 DCT 영역에서 크기변환, JPEG 압축 등에 강

인한 DC 성분과 잘라냄 공격 등에 강인한 AC 성분에 각각 워터마크를 삽입하여 앞서 제시된 워터마크 요구사항을 만족시킨다. 그리고 회전 공격에 강인성을 제공하기 위한 방법으로 DC 영상을 통한 동기화를 수행한다.

III. DCT 압축영역 기반 워터마킹 알고리즘

본 절에서는 제안된 워터마킹 알고리즘의 삽입과 추출 방법을 설명한다.

1. 워터마크 삽입

워터마크의 삽입은 영상 휘도(luminance) 성분의 8×8 블록 DCT 영역의 DC 성분과 AC 성분에서 각각 이루어진다. DC 성분에 삽입하는 방법은 DC 영상을 이용하며^[15], AC 성분은 DC 성분에 삽입된 워터마크가 각 블록에 미치는 영향에 따라서 적응적으로 삽입한다. 워터마크는 평균 0, 분산 1의 정규 분포를 가지는 1,000개의 가우시안 랜덤 시퀀스(gaussian random sequence)를 사용하며^[5] 그림 3은 워터마크 삽입 과정의 블록도를 나타낸다.

우선 입력 영상을 8×8 블록으로 나누어 각각의 블록에 DCT를 수행한다. 이는 $N_1 \times N_2$ 크기의 영상 $f(x, y)$ 를 식(1)과 같이 서로 겹치지 않는 8×8 블록 B_k 들로 나누고 각 블록에 식(2)와 같이 DCT를 수행하여 $F_k(u, v)$ 를 얻는 과정이다.

그림 4. 워터마크가 삽입되는 DC 및 AC 성분의 위치

Fig. 4. The position of DC and AC components which watermark is inserted into.

$$f(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} B_k, \quad \bigcap_{k=0}^{K-1} B_k = \emptyset, \quad (1)$$

$$B_k = \{b_k(0, 0), \dots, b_k(7, 7)\}.$$

$$F_k(u, v) = DCT\{B_k\}, \quad 0 \leq u, v < 8. \quad (2)$$

B_k 는 k 번째 8×8 DCT 블록이고, $k = 0, 1, \dots, K-1$ 이다. 그리고 K 는 입력 영상에 있는 블록의 총 개수로 $K = (N_1 \times N_2) / 64$ 이다.

각 DCT 블록의 DC 성분과 AC 성분에 대한 워터마크 삽입은 아래의 과정을 따른다.

1.1 DC 성분 워터마크 삽입

$N_1 \times N_2$ 크기의 영상에 8×8 블록 DCT를 수행한 후, 각 블록의 DC 성분만을 모아서 식(3)과 같이 DC 영상 I_{DC} 를 구성한다.

$$I_{DC}(i, j) = \bigcup_{k=0}^{K-1} \frac{F_k(0, 0)}{8}, \quad (3)$$

$$0 \leq i < (N_1/8) - 1, \quad 0 \leq j < (N_2/8) - 1.$$

$F_k(0, 0)$ 는 k 번째 블록의 DC 성분을 의미하며, DC 영상 $I_{DC}(i, j)$ 는 원본 영상을 수평·수직 방향으로 각각 1/8로 축소한 영상과 동일한 크기를 갖는다^[15].

영상의 특성에 따라 워터마크를 삽입하기 위하여 DC 영상에 DWT를 수행한 후, 그림 4와 같이 DWT로부터 얻어진 각각의 서브밴드(sub-band), 즉 저주파(LL), 수직(HL), 수평(LH) 및 대각(HH) 성분들 중에서 LL 서브밴드를 제외

한 나머지 서브밴드의 각 분해레벨(decomposition level)에 식 (4)를 이용하여 워터마크를 삽입한다.

$$X'_{sb}(s, m, n) = X_{sb}(s, m, n) + \alpha_{DC} |w(l) X_{sb}(s, m, n)|. \quad (4)$$

식 (4)의 sb 는 서브밴드(HL, LH, HH), s 는 스케일(분해레벨), 그리고 m 과 n 은 각각 DWT 계수 영역의 열과 행을 나타낸다. $X_{sb}(s, m, n)$ 은 원본 DC 영상의 DWT 계수를, $X'_{sb}(s, m, n)$ 은 워터마크된 DWT 계수를 의미하며, α_{DC} 는 워터마크 강도를, $w(l)$ 은 l 번째 워터마크 값을 뜻한다.

II절에서 언급했듯이 DC 성분의 워터마크는 해당 블록의 평균 화소값을 변화시키기 때문에 워터마크 삽입에 신중함이 요구된다. 따라서 강인성과 비가시성간의 적절한 절충(trade-off)이 필요하다. 본 알고리즘에서는 DWT 분해레벨과 워터마크의 삽입기준, 그리고 각 서브밴드에서의 삽입량과 삽입강도를 차별화하여 워터마크를 적응적으로 삽입함으로써 강인성과 비가시성을 만족시킨다.

분해레벨은 크기변환에서의 강인성을 제공하기 위하여 영상 크기를 고려하여 가능한 많은 분해레벨에 워터마크를 삽입한다. 삽입 위치는 각 서브밴드의 가장 큰 절대값을 가지는 n 개의 DWT 계수이며, 실험에서는 HH 서브밴드는 $n=240$, HL과 LH 서브밴드는 $n=380$ 으로 정하였다. DC 영상에 삽입되는 워터마크의 강도 α_{DC} 는 HH 서브밴드의 경우 $\alpha_{DC}=0.04$, HL과 LH 서브밴드는 $\alpha_{DC}=0.05$ 로 정하였다.

워터마크 삽입이 끝난 후 IDWT를 수행하여 워터마크가 삽입된 DC 영상으로 복원하고, DC 영상의 각각의 DC 성분을 해당 DCT 블록에 재할당한다.

1.2 AC 성분 워터마크 삽입

DC 영상을 이용한 DC 성분 워터마크 삽입이 완료되면 8×8 DCT 블록의 AC 성분에 워터마크를 삽입한다. 워터마크를 삽입할 각 블록의 AC 성분 위치는 HD 영상의 주요특성을 고려하여 선택한다. HD 영상은 해상도가 기존영상보다 상당히 크기 때문에 8×8 블록으로 나눌 경우 평활한(homogeneous) 블록이 비교적 많다. 따라서 8×8 DCT 영역에서 대부분의 중·고 주파수 성분은 그 값이 매우 작아서 효과적인 워터마크의 삽입과 검출이 상대적으로 용이하지 않다. 본 알고리즘에서는 그림 4와 같이 7개의 저·중간 주파수 대역의 AC 성분에 식 (5)를 이용하여 워터마크를 삽입한다.

$$Y'_k(u, v) = Y_k(u, v) + \alpha_{AC} |w(l)| Y_k(u, v). \quad (5)$$

$Y'_k(u, v)$ 는 워터마크된 k 번째 블록의 AC 성분, $Y_k(u, v)$ 는 원본 영상의 k 번째 블록의 AC 성분, 그리고 α_{AC} 는 AC 성분에 삽입되는 워터마크의 삽입 강도를 의미한다. 각 8×8 블록의 삽입강도 α_{AC} 는 블록의 특성과 미리 삽입된 DC 성분의 지역적인 변화량을 고려하여 각 블록마다 식 (6)과 같이 적응적으로 결정한다.

$$\alpha_{AC} = \begin{cases} 1 - \beta \{ MLV(p, q) \sum_{i=1}^7 |AC(i)| \}, \\ 0.1, \end{cases} \quad \text{if } \alpha_{AC} < 0.1. \quad (6)$$

$AC(i)$ 는 앞에서 선택한 7개의 AC 성분을 의미하며, β 는 모든 α_{AC} 의 크기를 조절하기 위한 파라미터이다. 즉, β 가 클수록 각 블록의 α_{AC} 는 작아지며, 작을수록 각 블록의 α_{AC} 는 커진다. 제안된 알고리즘에서는 $\beta=0.035$ 로 정하였다. $MLV(p, q)$ 는 원본 DC 영상 I_{DC} 와 워터마크된 DC 영상 I'_{DC} 의 지역적인 평균 변화량(Mean of Localized Variation; MLV)이다. DC 영상의 p, q 좌표에 해당하는 DC 성분이 포함된 8×8 블록에서의 $MLV(p, q)$ 를 계산하기 위하여 식 (7)과 같은 방법을 이용한다.

$$MLV(p, q) = \frac{\sum_{i=p-r}^{p+r} \sum_{j=q-r}^{q+r} |I_{DC}(i, j) - I'_{DC}(i, j)|}{(r+1)^2}. \quad (7)$$

그림 5. $MLV(p, q)$ 를 계산하기 위한 블록의 범위
Fig. 5. The range of block for calculating $MLV(p, q)$.

r 은 $MLV(p, q)$ 를 계산하기 위한 영역의 크기를 의미한다. 즉, 그림 5와 같이 해당 블록을 중심으로 좌우상하로 r 의 범위 내에 있는 블록들을 이용하여 $MLV(p, q)$ 를 계산하며, 제안된 알고리즘에서는 $r=5$ 로 정하였다.

식 (6)으로부터 계산된 α_{AC} 가 워터마크의 최소 삽입강도인 0.1보다 작으면 해당 블록의 α_{AC} 를 0.1로 결정한다.

적응적인 방법을 이용하여 결정된 삽입강도 α_{AC} 를 적용하여 워터마크를 전체영상에 반복적으로 삽입한다. 삽입되는 워터마크의 반복 횟수는 워터마크의 길이에 따라서 달라지며, 워터마크가 삽입되는 블록의 순서는 임의로 결정이 가능하다. 앞서 언급했듯이 본 알고리즘의 워터마크는 평균 0, 분산 1의 정규 분포를 가지는 1,000개의 가우시안 랜덤 시퀀스를 사용한다. 워터마크의 삽입 경로는 그림 6과 같이 $(16 \times 8) \times (9 \times 8)$ 블록 단위로 래스터 스캔(raster scan)의 순서에 따르고, 8×8 블록 내의 7개의 AC 성분은 지그재그 스캔(zig-zag scan) 방법을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

DC 성분과 AC 성분에 워터마크의 삽입이 완료되면 각 블록을 IDCT하여 최종적으로 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

2. 동기화 및 워터마크 추출

2.1 동기화(synchronization)

크기변환 및 회전 등의 기하학적 공격이 가해진 영상에서 워터마크를 효과적으로 추출하기 위해서는 원본 영상과의 동기화 과정이 필요하다. 본 알고리즘에서는 DC 영상을 사용하

그림 6. AC 성분 워터마크 삽입 블록의 순서

Fig. 6. The order of inserting watermark into AC components.

여 동기화를 수행한다. DC 영상은 원본 영상의 전체적인 정보(global view)를 가지고 있으며, 영상의 크기 또한 작아서 고속 처리가 가능하기 때문에 HD 영상의 빠른 동기화에 적합하다.

먼저 기하학적 공격이 가해진 워터마크된 영상의 DC 영상을 얻는 후, 어파인 변환(affine transform)을 이용한 DC 영상의 회전, 확대 또는 축소 과정을 통하여, 회전 및 스케일링된 DC 영상의 적절한 어파인 회전각과 스케일링 파라미터를 얻는다. 그 후 워터마크된 DC 영상과 원본 DC 영상의 MSE(Mean Square Error)를 계산하여 최소의 값을 갖는 회전각과 스케일링 파라미터를 설정함으로써 동기화를 이룬다.

2.2 워터마크 추출 및 상관도 측정

DC 성분의 워터마크 추출 과정은 삽입의 반대과정을 따르며 식 (4)를 $w(l)$ 에 대한 식으로 변환하여 추출이 가능하다. 그리고 AC 성분의 워터마크 추출은

$$w^*(l) = Y'_k(u, v) - Y_k(u, v) \quad (8)$$

와 같이 간단하게 구할 수 있다. AC 성분의 워터마크를 삽입의 반대과정을 이용하여 구하지 않는 이유는 삽입강도 α_{AC} 가 원본 영상과 워터마크된 영상 각각의 DC 영상 차이를 고려하여 적응적으로 구해짐으로, 만약 워터마크된 영상이 공격을 받을 경우 워터마크 추출시 각 블록에 식 (6)을 적용한 α_{AC} 는 삽입시의 α_{AC} 와 달라지기 때문이다.

DC 및 AC 성분에서 추출된 길이 $L=1000$ 의 워터마크 $w^*(l)$ 은 식 (9)과 같이 원본 워터마크와의 정규화된 상관도(Normalized Correlation; NC)를 측정하여 워터마크의 존재 여부를 판단한다.

$$NC = \{NC_1, \dots, NC_N\}, \quad NC_n = \frac{\sum_{l=0}^{L-1} w(l)w^*(l)}{\sum_{l=0}^{L-1} w(l)^2}. \quad (9)$$

NC_n 은 추출된 n 번째 워터마크와 원본 워터마크와의 상관도를 나타내며, NC 는 모든 워터마크 상관도의 집합이다. DC 성분에서 추출된 워터마크 상관도의 집합 NC 에서 워터마크의 개수 N 은 워터마크를 삽입한 DWT 분해레벨의 수와 일치하며, 워터마크의 추출은 각 분해레벨마다 단계적으로 이루어진다. 추출된 워터마크와 원본 워터마크의 상관도 NC_n 을 계산하여 임계값 T 를 넘을 경우 워터마크가 검출된 것으로 판단하며, 넘지 않을 경우 다음 분해레벨의 워터마크를 추출하는 방식으로 워터마크가 삽입된 마지막 분해레벨까지 반복한다. 모든 분해레벨의 워터마크 상관도가 임계값 T 를 넘지 않을 경우 모든 분해레벨의 NC_n 을 더한 값을 임계값 T 와 비교하여 최종적으로 워터마크의 검출 여부를 판단한다. 이는 워터마크 랜덤 시퀀스의 상관도는 일정 값 이상의 상관도를 가지고 있어 더하면 검출 여부를 판단할 수 있으며, 워터마크가 아닌 랜덤 시퀀스의 상관도는 가우시안 노이즈의 특성상 더하더라도 그 값이

감소하는 특성을 이용한 것이다. 따라서 거짓 긍정 검출(false positive detection) 현상은 발생하지 않는다.

AC 성분에서 추출된 워터마크 상관도의 집합 NC 에서 워터마크의 개수 N 은

$$N = \left\lfloor \frac{7(N_1/8)(N_2/8)}{L} \right\rfloor \quad (10)$$

이며, 각 워터마크는 길이 L 의 동일한 가우시안 랜덤 시퀀스를 의미한다. 따라서 AC 성분에서 추출된 워터마크들의 상관도 중에서 임계값 T 를 넘는 워터마크가 발견되었을 경우 워터마크가 검출된 것으로 판단한다.

IV. 성능평가 실험

제안된 워터마킹 알고리즘의 성능평가를 위하여 HD 영상 30장을 실험 영상으로 이용하였다. 비가시성 평가를 위하여 제안된 알고리즘을 실험 영상에 적용하여 비가시성을 검증한다. 강인성 평가에서는 전체 DCT 영역 기반의 알고리즘인 Cox^[5], 8×8 블록 DCT 기반의 Huang^[6], DFT-LPM 기반의 Zheng^[9], 그리고 Digital Watermarking Source^[16]에 공개된 워터마킹 알고리즘들 중 상대적으로 강인한 것으로 평가된 DWT 기반의 Xia^[13]와 Zhu^[14]의 알고리즘과 비교실험을 통하여 제안된 알고리즘의 강인성을 평가한다. 또한 크기변환, 잘라냄 등의 복합공격으로 이루어진 UCC 편집 효과에 대한 강인성을 확인한다.

워터마크 삽입 시 DC 영상에 적용되는 DWT의 분해레벨은 Level 3으로 정하였으며, DC와 AC 성분의 워터마크 검출 여부를 판단하기 위한 정규화된 상관도의 임계값 T 는 모두 0.2로 설정하였다.

1. 비가시성

본 알고리즘은 비가시적(invisible) 워터마킹 방법이며, 특히 방송콘텐츠와 같은 HD급 고화질 영상에서의 비가시성은 워터마킹 성능평가에서 매우 중요한 요소이다. 비가시성 평가를 위하여, 객관적 평가는 원본 영상과의 PSNR 비

교를, 주관적 평가는 워터마킹된 영상에서 블로킹 효과의 발생 여부를 확인하였다. 이는 8×8 블록 단위로 워터마크가 삽입되기 때문에 워터마크 삽입의 부주의시 높은 PSNR에도 불구하고 블로킹 효과가 발생할 수 있기 때문이다. 제안된 방법을 이용하여 워터마크를 삽입한 실험 영상의 평균 PSNR은 45.91dB이며, 블로킹효과는 발생되지 않았다. 그 이유는 DC 성분에 워터마크 삽입 시 화질열화를 최소화하기 위하여 DWT의 각 서브밴드에서 최적의 삽입량과 워터마킹 강도 α_{DC} 를 적용하였으며, 또한 AC 성분의 삽입에서 적응적인 삽입강도 α_{AC} 를 적용하였기 때문이다. 본 알고리즘의 객관적 비가시성 평가 결과인 평균 PSNR 45.91dB는 표 2에서 제시한 워터마크 요구사항을 만족함을 확인할 수 있다.

2. 강인성 평가

본 알고리즘의 강인성 평가를 위하여 워터마크의 일반적인 공격에 대한 기존 연구와의 성능비교 실험을 수행하였다. 공정한 평가를 위하여 기존 알고리즘을 이용한 워터마킹 영상의 평균 PSNR을 제안된 알고리즘과 최대한 가깝도록 조절하였다. 기존 알고리즘들의 워터마킹을 수행하는 변환 영역, 삽입 방법 등 각각의 특성이 다르기 때문에 제안된 알고리즘과 평균 PSNR을 정확히 일치시키는 것은 어려웠다. 공격에는 기하학적 공격(크기변환, 회전, 잘라냄) 및 기타공격을 수행하였다.

표 3은 각각의 공격에 대한 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능비교 실험결과를 나타낸다. 평균 PSNR은 원본 HD 영상 30장과 각 알고리즘을 이용하여 워터마킹된 영상의 평균 PSNR을 나타낸다. 검출률은 30개의 HD 영상 중 워터마크가 검출된 영상 개수의 백분율(%)을 의미하며(즉, 검출된 영상 개수 / 30 × 100), AC와 DC 성분에서의 워터마크 검출률을 각각 표시하였다.

2.1 기하학적 공격

본 논문에서는 기하학적 공격으로 크기변환(scaling), 회전(rotation), 그리고 잘라냄(cropping)을 수행하였다.

특히 크기변환의 경우, UCC 환경에서의 방송콘텐츠 위

표 3. 워터마크 강인성 성능평가실험 결과

Table 3. The results of robustness performance evaluation.

검출률(%)*		Cox ^[5]	Huang ^[6]	Zheng ^[9]	Xia ^[13]	Zhu ^[14]	제안된 알고리즘		
							AC	DC	결과 (AC+DC)
평균 PSNR		43.86dB	46.73dB	43.69dB	41.72dB	46.70dB	45.91dB		
회전 0°~5°		0	0	100	0	0	100	100	100
크기변환	0.60	100	100	100	100	100	100	100	100
	0.50	100	100	96	100	100	100	100	100
	0.40	90	100	53	100	100	96	100	100
	0.30	80	100	0	17	20	50	100	100
	0.20	70	100	0	6	0	0	100	100
	0.15	46	93	0	6	0	0	100	100
50% 잘라냄	①*	100	100	100	100	100	100	100	100
	②*	0	0	100	100	67	100	0	100
히스토그램 평활화		16	66	100	100	100	100	96	100
JPEG (Q=5%)		90	100	40	90	93	86	100	100
AWGN*	25dB	100	100	96	100	100	90	100	100
	20dB	93	100	96	100	100	46	100	100
	15dB	23	100	90	100	96	3	100	100

* 검출률(%) : 검출된 영상 개수 / 전체영상 개수 × 100

* ① 원본영상 대체, ② 흰색·검은색 바탕의 사각형으로 대체(그림 7 참조)

* AWGN : Additive White Gaussian Noise, dB는 노이즈가 추가된 영상과 원 영상의 PSNR을 의미, 즉 낮을수록 더 많은 노이즈가 추가된 영상을 의미함.

터마크의 요구사항에서 밝혔듯이 최소 0.2 비율의 크기감소에서 강인함을 필요로 한다(표1 및 표2 참조). 본 논문에서의 크기변환 강인성 평가는 0.15~0.6 비율 내에서 실험을 수행하였으며, 실험결과를 통하여 제안된 알고리즘이 크기변환에 매우 강인함을 확인하였다. 특히 DC 영상을 이용하여 DC 성분에 삽입된 워터마크는 최대 0.15 비율의 크기변환에도 강인한 특성을 보였다. 그 이유는 DC 영상의 크기가 0.125 비율로 축소된 크기에 해당하고, 크기변환 과정의 특성상 AC 성분 보다는 블록 화소의 평균값을 의미하는 DC 성분이 상대적으로 적게 변형되기 때문이다.

Huang^[6]의 방법도 DC 성분을 이용하여 크기변환에 강인한 것으로 드러났으나 알고리즘의 특성상 모든 블록의 DC 성분에 워터마크를 삽입하기 때문에 HD 영상에 적용 시 평활한 블록은 부분적으로 블로킹 효과가 발생하여 화질열화가 발생하는 것으로 확인되었다. 이에 반하여 제안된 알고리즘은 비가시성 평가에서 언급했듯이 블로킹 효과가 발생하지 않는 상대적 우수성을 보였다^[2].

회전 공격은 각각의 영상에 대하여 0°~5° 사이에서 회전 공격을 수행하였다. 제안된 알고리즘은 크기가 작고 영상의 전체적인 정보를 포함한 DC 영상에 기반한 고속의 동기화를 수행하므로, 회전 공격에도 강인함을 실험결과로부터 확인하였다. 기존 알고리즘에서는 LPM (Log Polar Mapping)을 이용한 Zheng^[9]의 알고리즘이 회전에 강인한 것으로 확인되었으나, 크기변환 공격에서는 0.4~0.5 비율 내에서만 강인하다는 단점을 가지고 있다.

잘라냄은 영상의 중심으로부터 전체 넓이의 50%에 해당하는 부분을 잘라내었으며, 구체적으로 그림 7과 같이 두 가지 방법으로 실험하였다. 첫 번째 방법은 그림 7(a)와 같이 워터마크된 영상의 50%를 원본 영상(점선)으로 대체한 것인데, 실험결과로부터 제안된 알고리즘을 비롯한 모든 알고리즘에서 워터마크가 검출됨을 확인하였다. 따라서 원본 영상으로 대체하는 잘라냄 공격에는 모든 알고리즘이 강인한 것을 알 수 있었다. 두 번째 방법은 그림 7(b)와 같이 원본 영상이 아닌 전혀 다른 영상, 즉 UCC 편집의

그림 7. 잘라냄 공격의 두 가지 예: (a) 원본 영상 대체(점선 부분), (b) 흰색 및 검은색 사각형 대체

Fig. 7. Two types of cropping attack: (a) replacement of original image(dotted parts), (b) replacement of white and black figure.

말풍선 등과 같은 흰색·검은색 사각형으로 워터마킹된 영상의 50%를 대체하였다. 실험결과로부터 제안된 알고리즘과 Zheng[9], 그리고 Xia[13]의 방법이 강인함을 확인하였다. 제안된 알고리즘의 DC 성분에 삽입되는 워터마크는 흰색·검은색 사각형으로 대체된 부분이 8×8 DCT 블록의 평균값인 DC 성분에 크게 영향을 미치기 때문에 결과적으로 워터마크 검출이 어려운 것으로 확인되었다. 같은 이유로 DC 성분에만 의존하는 Huang[6]의 알고리즘 역시 다른 영상으로 대체하는 종류의 공격에는 취약한 것으로 확인되었다. 반면 제안된 알고리즘의 AC 성분에는 반복적으로 워터마크가 삽입되기 때문에 공격받지 않은 부분에서 워터마크를 성공적으로 검출함으로써 UCC 말풍선 편집과 같은 잘라냄 공격에 강인함을 확인하였다.

2.2 기타 공격

본 논문에서는 기타 공격으로 히스토그램 평활화(histogram equalization), JPEG 압축 및 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 공격을 수행하였다.

히스토그램 평활화의 경우 워터마킹된 영상의 AC 성분에서 워터마크가 모두 검출되었음을 확인하였다. DC 성분의 경우 일부 영상에서 워터마크가 검출되지 않았는데, 그 이유는 히스토그램 평활화에 의하여 블록의 평균값이 크게 변화하기 때문이다. DC 성분에 비하여 AC 성분은 히스토그램 평활화에 비교적 영향을 적게 받기 때문에 모든 실험 영상에서 워터마크가 검출되었음을 확인하였다. 기존 알고리즘의 경우 Zheng[9], Xia[13], 그리고 Zhu[14]의 방법에서 모두 워터마크가 검출되었으며, Cox[5]와 Huang[6]의 방법의 경우 상

대적으로 히스토그램 평활화에 취약한 것으로 확인되었다.

JPEG 압축 공격은 5%의 품질로 압축한 후 워터마크를 추출하였으며, 실험결과로부터 제안된 알고리즘이 JPEG 압축 공격에 매우 강인함을 확인하였다. 그 이유는 JPEG이 8×8 블록 DCT 기반으로 압축을 수행하여 5% 압축에서도 DC 성분의 정보는 거의 사라지지 않기 때문이다. DC 성분에 삽입된 워터마크는 1~2% 이하의 압축에도 강인한 것으로 확인되었으나 화질열화가 심해져서 원 영상을 인지할 수 없다고 판단하여 실험에서 제외하였다. 기존 알고리즘의 경우 Zheng[9]를 제외한 대부분의 알고리즘에서 JPEG 5% 압축에 강인한 것으로 확인되었으나, DC 성분 기반의 Huang[6]의 방법을 제외한 다른 방법의 경우 93% 이하의 상대적으로 낮은 검출률을 보였다.

AWGN 공격의 경우 30장의 워터마킹된 영상과의 평균 PSNR이 15dB, 20dB, 그리고 25dB의 AWGN 공격이 가해진 모든 영상에서 워터마크가 검출됨을 확인하였다. 기존 알고리즘의 경우 Cox[5]의 방법을 제외한 대부분의 알고리즘도 AWGN 공격에 강인함을 확인하였다.

2.3 UCC 공격

마지막으로 워터마킹된 영상에 그림 2와 그림 8과 같이 복합공격이 가해지는 UCC 편집을 수행한 후 워터마크의 강인성을 검증하였다. UCC 편집의 말풍선 및 텍스트 추가는 워터마크 공격 측면에서 잘라냄 공격이며 원본영상이 아닌 다른 영상으로 대체하는 공격에 해당한다. JPEG 압축은 모두 80% 품질의 일반적인 압축 수준을 적용하였으며, 실험결과로부터 그림 2와 그림 8에 해당하는 총 8 종류의 대표적인 UCC 편집공격 예제영상에서 모두 워터마크가 성공적으로 검출되었음을 확인하였다. 특히 UCC 말풍선 편집은 영상의 일정한 영역을 흰색 등의 단색으로 대체함으로써 해당 부분의 AC 성분 주파수 특성이 제거되고, DC 성분에 심한 왜곡을 야기한다. DC 성분에는 DC 영상을 기반으로 워터마크를 삽입하였기 때문에 이러한 경우 워터마크의 추출이 어렵지만, 블록 단위로 삽입된 AC 성분 워터마크는 UCC 편집으로 인하여 훼손되지 않은 블록들로부터 추출이 가능하므로 DC 성분 워터마크만을 사용할 때의 단점을 보완할 수 있는 것이다. 그러나 표 3의 크기변환 성능

앞으로도 계속 새롭고 다양한 형태가 등장할 것으로 기대되는 만큼, 이에 대응하는 복합적 워터마크 공격의 분석과 강인성 향상에 대한 지속적인 연구개발이 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김문형, 남제호, 홍진우, "UCC의 동향 및 전망," 주간기술동향 통권 1262호, pp. 1-13, 2006. 09. 06.
- [2] 김정연, 남제호, "스케일링 변환에 강인한 DC 영상 워터마킹," 대한전자공학회 추계학술발표대회, pp. 591-592, Nov. 2007.
- [3] 김정연, 김주섭, 남제호, "드라마 패러디 UCC 분석," 한국전자통신연구원 기술문서(TM), TM-DTVP-WM-002, Feb. 2008.
- [4] L. Cheveau, E. Goray, and R. Salmon, "Watermarking-summary results of EBU tests," EBU Technical Review, March, 2001.
- [5] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Process., vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [6] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding image watermarks in DC components," IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., vol. 10, no. 6, pp. 974-979, Sep. 2000.
- [7] B. Tao and B. Dickinson, "Adaptive watermarking in the DCT domain," IEEE ICASSP, pp. 21-24, Munich, Germany, Apr. 1997.
- [8] C. Y. Lin, M. Wu, J. A. Bloom, I. J. Cox, M. L. Miller, and Y. M. Lui, "Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images," IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 5, pp. 767-782, Mar. 2001.
- [9] D. Zheng, J. Zhao, and A. E. Saddik, "RST-invariant digital image watermarking based on log-polar mapping and phase correlation," IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., vol. 13, no. 8, pp. 753 - 765, Aug. 2003.
- [10] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," IEEE Trans. Image Process., vol. 9, no. 6, pp. 1123 - 1129, Jun. 2000.
- [11] D. Zheng, Y. Liu, J. Zhao, and A. E. Saddik, "A survey of RST invariant image watermarking algorithms," ACM Computing Surveys, vol. 39, issue 2, no. 5, 2007.
- [12] C. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," IEEE J. on Sel. Areas Commun., vol. 16, no. 4, pp. 525 - 539, May 1998.
- [13] X.-G. Xia, C. G. Bonchelet, and G. R. Arce, "Wavelet transform based watermark for digital images," Opt. Express, vol. 3, pp. 497-508, Dec. 1998.
- [14] W. Zhu, Z. Xiong, and Y.-Q. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video: a unified approach," IEEE ICIP, pp. 465-468, Chicago, USA, Oct. 1998.
- [15] B. L. Yeo and B. Liu, "On the extraction of DC sequence from MPEG compressed video," IEEE ICIP, pp. 260-263, Washington D.C., USA, Oct. 1995.
- [16] <http://www.cpsy.sbg.ac.at/~pmeerw/Watermarking/source>, "Digital Watermarking Source".

저 자 소 개

김 정 연

- 2007년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털방송공학과 석사과정
- 주관심분야 : 워터마킹, 디지털방송기술, 파일포맷, 비디오 암호화

남 제 호

- 1992년 2월 : 홍익대학교 전기제어공학과 학사
- 1996년 12월 : University of Minnesota, Electrical Engineering 석사
- 2000년 12월 : University of Minnesota, Electrical Engineering 박사
- 2001년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 방통미디어연구부 선임연구원, 융합콘텐츠보호연구팀장
- 2007년 1월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털방송공학과 부교수
- 주관심분야 : 신호처리, 디지털방송기술, 멀티미디어 보호관리, MPEG