

H.264/AVC Main Profile을 위한 CABAC-기반의 블라인드 워터마킹 알고리즘

종신회원 서영호*, 정회원 최현준**, 이창열**, 종신회원 김동욱**

A Blind Watermarking Algorithm using CABAC for H.264/AVC Main Profile

Young-Ho Seo* *Lifelong Member*, Hyun-Jun Choi**, Chang-Yeul Lee** *Regular Members*,
Dong-Wook Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 동영상 압축 기술인 MPEG-4 Part 10 H.264/AVC의 main profile에서 사용되는 엔트로피 코더인 CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coder)을 이용하여 워터마크를 삽입하고 추출하는 방법을 제안한다. 제안한 알고리즘은 워터마크 삽입을 위한 블록과 계수는 CABAC의 주변 블록 및 주변 계수와의 관계에서 추출된 컨텍스트(context)를 기반으로 선정한다. 이렇게 선별된 계수는 그 절대값과 삽입할 워터마크에 따라 원 계수를 그대로 유지하거나 LSB(Least Significant Bit) 만을 치환하는 방법으로 워터마크를 삽입한다. 따라서 공격자가 워터마크 삽입위치를 판별하기 어렵고, DC계수에 인접 계수들에 워터마크를 삽입함으로써 그 강인성(Robustness)을 만족할 수 있다. 여러 종류 및 강도의 공격을 가한 후 워터마크를 추출했을 때 최대 에러율이 5% 정도로 높은 강인성을 보였다. 또한 제안한 알고리즘은 CABAC 엔트로피 코딩 과정에서 컨텍스트 추출과정 및 이진화과정 수행 중에 워터마크를 삽입하므로, 하드웨어 구현을 고려했을 시에 워터마크 삽입을 위한 위치선정 및 계수선정에 필요한 별도의 연산 과정이 매우 적은 것이 특징이다. 따라서 이 방법은 비디오를 획득한 후 곧바로 압축하여야 하는 응용분야에서 매우 유용하게 사용될 것이라 기대된다.

Key Words : Watermarking, H.264/AVC, CABAC, Blind watermarking

ABSTRACT

This paper proposed a watermark embedding/extracting method using CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) which is the entropy encoder for the main profile of MPEG-4 Part 10 H.264/AVC. This algorithm selects the blocks and the coefficients in a block on the bases of the contexts extracted from the relationship to the adjacent blocks and coefficients. A watermark bit is embedded without any modification of coefficient or with replacing the LSB(Least Significant Bit) of the coefficient with a watermark bit by considering both the absolute value of the selected coefficient and the watermark bit. Therefore, it makes it hard for an attacker to find out the watermarked locations. By selecting a few coefficients near the DC coefficient according to the contexts, this algorithm satisfies the robustness requirement. From the results from experiments with various kinds and various strengths of attacks the maximum error ratio of the extracted watermark was 5.02% in maximum, which makes certain that the proposed algorithm has very high level of robustness. Because it embeds the watermark during the context modeling and binarization process of CABAC, the additional amount of calculation for locating and selecting the coefficients to embed watermark is very small. Consequently, it is highly expected that it is very useful in the application area that the video must be compressed right after acquisition.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10199-0)지원으로 수행되었음.

* 한성대학교 정보통신공학과 (yhseo@hansung.ac.kr), ** 광운대학교 전자재료공학과

논문번호 : KICS2006-02-075, 접수일자 : 2006년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2007년 2월 26일

I. 서론

디지털 워터마킹은 이미 상용제품에 응용되고 있으며, 그 기술은 고대부터 현재에 이르기까지 꾸준히 사용되고 발전되어 왔다. 영상/비디오에 대한 워터마킹 기술은 공간영역^[1]에서 주파수영역으로 그 대상 데이터를 변화시키면서 발전하여 왔으며, 최근에는 주로 주파수영역 데이터에 워터마킹을 수행하는 기술들이 발표되고 있다. 주파수영역의 워터마킹 기술 중에서 DCT 기반의 워터마킹 기술은 JPEG, MPEG, H.26X 계열의 압축시스템에 적용할 수 있어 지속적으로 연구되고 있다.

Cox^[2]와 Barni^[3]에 의한 DCT기반의 초기 연구를 시작으로 해서 여러 연구가 지속적으로 진행되었다. Deng^[4]은 HVS(Human Visual System)의 특징을 고려하여 경계성분이 많은 블록과 시각적으로 영향력이 큰 DC계수에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고, Tang^[5]은 HVS를 DCT 주파수 영역특성에 적용하는 방법을 제안하였다. 그리고 Ahmidi^[6]는 칼라영상을 NTSC 칼라 공간으로 변화시켜 명암성분의 영상을 DCT한 후 중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 동영상 관련 워터마킹 기술로는 He^[7]에 의해 CIF에서 QCIF로의 MPEG 포맷 변환에 적합한 압축 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였고 Alattar^[8]에 의해 MPEG-4 압축 비트율에 대한 영향을 최소화하면서 비트 스트림의 DCT계수에 직접 워터마크를 삽입하는 방법 등이 제안되었다. 특히 Lou^[9] 등은 HVS의 명암 민감도, 주파수 민감도, 텍스처 민감도, 엔트로피 민감도를 모델화하고 이들을 뉴럴 네트워크 시스템을 사용하여 계산한 결과로 워터마크 삽입위치를 선정하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 워터마킹은 H.264/AVC^[10]의 엔트로피 부호화기인 CABAC 과정에서 수행되며, H.264/AVC에서 발생하는 모든 신택스 요소는 주변과의 상관관계에 의해 추출된 컨텍스트를 발생한다. 이러한 특성을 이용하여 워터마크 삽입을 고려하였을 경우 워터마킹을 위한 위치 선정 및 워터마크 삽입을 위한 추가적인 연산량을 최소화하면서 강인성 및 비인지성을 고루 갖춘 알고리즘을 구현 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 H.264/AVC의 CABAC 알고리즘에 대해서 설명하고 3장에서는 제안한 워터마킹 기술에 대해서 나타낸다. 4장에서 제안한 워터마킹 기술의 실험결과

를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

II. MPEG-4 Part 10 H.264/AVC

본 장에서는 동영상 압축 기술인 H.264/AVC의 전체구조를 설명하며, 특히 엔트로피 코더인 CABAC에 대해 설명한다. 또한 워터마킹 기술의 기본 원리 및 기술의 분류, 워터마킹 알고리즘이 갖추어야 할 요구 조건에 대하여 설명한다.

2.1 H.264/AVC의 구조 및 동작

그림 1에 H.264/AVC의 영상 압축 및 복원 과정을 간단히 나타내었다. 기본적으로는 기존의 MPEG 계열의 구조와 비슷한 구조를 갖지만 세부 알고리즘의 내용은 상당히 다르다. 이들은 4×4 블록 기반의 정수 DCT(integer DCT), I 프레임의 인트라 예측(intra prediction), 더블록킹 필터(deblocking filter), 엔트로피 코더 등이다. 이들은 기존의 MPEG 영상보다 복잡도 및 계산량을 크게 증가시키지만, 더욱 개선된 화질과 압축성능을 제공한다.

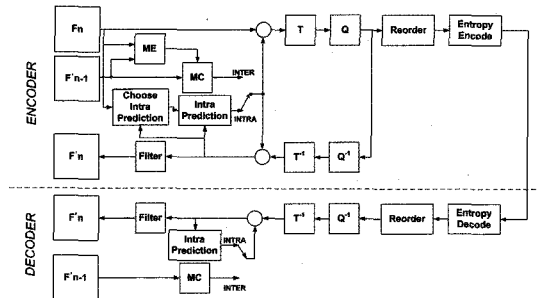


그림 1. H.264 부호화/복호화기
Fig. 1. H.264 encoder/decoder

2.2 CABAC 엔트로피 코더

H.264/AVC 부호화기 과정에서 4×4 블록 기반의 모든 연산이 끝나면 그 결과를 지그재그 스캔(zig-zag scan)을 통해서 4×4 블록의 부호화 정보 및 블록 내의 신택스 요소가 순서대로 배열된다. 스캐닝된 정보는 다시 엔트로피 코딩을 통해서 통계적 중복성을 줄이는 압축과정이 수행된다. H.264/AVC는 두 가지 방법의 엔트로피 코더를 사용한다. 그 중 CAVLC(Context-based Adaptive Variable Length Coding)는 H.264/AVC의 베이스라인 프로파일에서 사용되며, CABAC은 메인 프로파일에서 사용된다. CAVLC가 입력된 현재 블록의 계수 및 정보를 기반으로 부호화하는 반면, CABAC은 이미 부호화된 주변 블록의 정

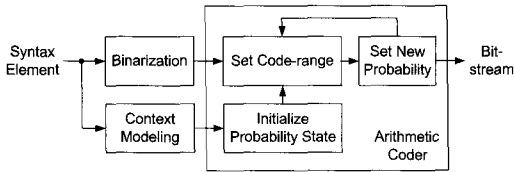


그림 2. CABAC 부호화 과정.
Fig. 2. Coding process of CABAC.

보를 이용하여 현재 블록의 경향을 예측하고 이를 부호화한다. 따라서 더욱 정밀한 방법의 예측이 사용되며, CA VLC보다 10~15% 정도의 압축성능 향상을 기대할 수 있다.

CABAC의 세부과정을 그림 2에 나타내었는데 크게 세 단계를 통해 부호화를 수행한다. 각 단계별 동작 내용은 다음과 같다.

컨텍스트 모델링(context modelling)—부호화를 수행할 신텍스 요소와 주변 신텍스 요소간의 상관관계를 추출하는 과정으로 하나의 단일한 컨텍스트를 출력한다. CABAC은 H.264/AVC의 모든 신텍스 요소의 컨텍스트(398개)를 규정한다.

이진화(binartization)—데이터를 일정한 규칙적인 이진신호로 표현한다.

산술 부호화(arithmetic coding)—발생 확률이 높은 정보에 적은 비트를 할당하고 확률이 낮은 정보는 많은 비트를 할당하여 압축 성능을 높인다.

CABAC에서 사용하는 산술 부호화는 이진화의 결과인 이진정보 신텍스 요소의 규칙성에 따른 확률예측을 통하여 정보를 감소시킨다. 이 때 컨텍스트 모델링 과정의 결과인 신텍스 요소의 컨텍스트는 산술 부호화에서 데이터의 초기 확률을 설정하며, 이진화 정보를 예측한다. 이를 통해 첫 번째 비트에 대한 확률 예측이 끝나면, 다음 비트에 대한 예측을 위해 다시 확률을 설정한다.

그림 3은 계수와 블록의 컨텍스트 추출 과정이다. 첫 번째 과정인 CBP(Coded Block Pattern) 과정은 현재 입력된 4×4 블록에 '1'이상의 중요계수가 있는지와 주변의 블록이 어떠한 조건을 갖고 있는지를 판별한다. 아래 그림 4(a)는 현재 블록 C와 상위 및 왼쪽 블록의 상황을 통하여 컨텍스트를 추출하는 과정을 나타낸 그림이며, (b)는 16×16 블록의 CBP 추출 예를 보여주고 있다. 즉 상위 및 왼쪽

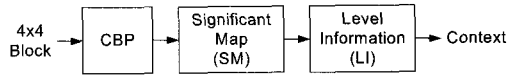


그림 3. 계수에 대한 컨텍스트 추출 과정.
Fig. 3. Procedure to extract the context for the coefficients.

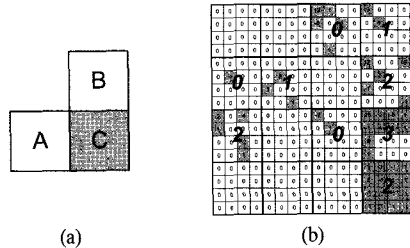


그림 4. CBP 컨텍스트 추출 과정 (a) 컨텍스트 추출 방법, (b) 추출의 예
Fig. 4. Procedure to extract the context for CBP; (a) the way of context extraction, (b) example of context extraction

쪽의 블록에 '1'이상의 계수 유무가 현재 블록의 컨텍스트가 되며, '0'부터 '3'까지의 분포를 갖는 컨텍스트가 추출된다. 이 과정은 중요계수가 있는 블록을 판별하며, 주변블록과의 상호관계를 판별하는 역할을 수행한다.

그림 3의 CBP에 대한 예를 그림 4에 나타냈다. 그림 4(a)는 현재 블록 C에 대한 위쪽(cond_term(B)) 및 왼쪽(cond_term(A)) 블록의 조건을 통해 컨텍스트를 추출하는 과정을 나타냈고, 식 (1)로 구할 수 있다.

$$Ctx_CBP(C) = cond_term(A) + 2 \times cond_term(B) \quad (1)$$

그림 4(b)는 16×16 블록의 CBP 추출 예를 보여주고 있다. 즉 위쪽 및 왼쪽의 블록에 '1'이상의 계수 유무가 현재 블록의 컨텍스트가 되며, '0'부터 '3'까지의 분포를 갖는 컨텍스트가 추출된다. 이 과정은 중요계수가 있는 블록을 판별하고, 주변블록과의 상호 연관 관계를 판별한다.

두 번째 과정인 중요계수 맵(SM, significant coefficient map)은 4×4 블록을 지그재그 스캔(zig-zag scan)하면서 절대값이 '1'이상인 계수를 찾는 컨텍스트(sig_ctx라는 컨텍스트를 '1'로 표시)와 마지막 '1' 이상인 계수를 표시하는 컨텍스트(last_sig_ctx라는 컨텍스트를 '1'로 표시)를 추출한다. 이 과정을 아래 그림 5(a)에 나타내었다. 이 과정의 가장 중요한 역할은 각 계수에 대한 컨텍스트를 추출할 때 처음 시작하는 계수의 위치를 정해주

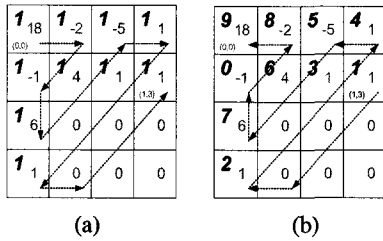


그림 5. 컨텍스트 추출 과정 (a) 중요계수 맵, (b) 계수 레벨
Fig. 5. Context extraction process for (a) significant coefficient map, (b) coefficient level

는 것이다. 그림 5에서 화색의 작은 숫자는 계수를 나타내고, 굵은 기울림꼴 숫자는 컨텍스트를 표시한다.

마지막 과정은 블록의 계수 레벨 대한 컨텍스트를 추출(LI, level information)한다. 이는 그림 5(b)에 나타내었다. 식 (2)는 역 지그재그 스캔 과정의 계수 레벨을 판단하면서 '1'의 레벨을 갖는 계수의 컨텍스트를 추출하는 과정이다.

$$ctx_abs_lbit = ((WELLdecoded.ABS(coeff) > 1) = 0) ? 0 : \min(WELLdecoded.ABS(coeff) = 1) \quad (2)$$

이 식은 처음 '1'이 나온 순간부터 '1'보다 큰 계수가 발생하기 전까지 '1'부터 '4'까지의 컨텍스트를 부여한다. '1'보다 큰 계수를 만나면 식 (3)에 의해 '1'보다 큰 계수에 대해 컨텍스트를 추출한다.

$$ctx_abs_rbits = 5 + \text{nim}(4, WELLdecoded.ABS(coeff) > 1) \quad (3)$$

ctx_abs_lbit는 '1'보다 큰 계수가 출현함으로써 더 이상 컨텍스트에 관여하지 않고, ctx_abs_rbits로 대체된다. 즉 '1'보다 큰 계수가 발생하면 '5'부터 '9'까지 다섯 단계의 카운트를 수행하는 것이다. 만약 '1'보다 큰 계수를 카운트 하는 중 '1'의 레벨을 갖는 계수가 발생하면, 이는 무조건 '0'이라는 컨텍스트를 갖게 된다. 결국 각 블록의 계수들은 총 10개의 컨텍스트로 구분된다.

III. CABAC을 이용한 워터마킹 알고리즘

3.1 워터마크 삽입을 위한 위치선정

본 논문에서는 위의 컨텍스트 중 I 프레임에 대한 세 가지의 컨텍스트를 기반으로 워터마크 삽입을 위한 위치를 결정하는데, 그 방법은 그림 6의 의사코드로 나타내었다. 첫째로 CBP 컨텍스트 (ctx_CBP)로 주변 블록과의 상관도를 판별한다. 즉

```

Procedure{Watermark Positioning}
begin
  for all blocks
    if {ctx_CBP ≥ 2}, then
      find DC coefficient with ctx_sig;
      for each higher-frequency coefficient than DC
        if {ctx_sig = 1}, then
          put in ctx_sig_list;
          ctx_sig_count++;
          if {ctx_sig_count = 4}, then
            exit;
          if {ctx_abs_rbits ≥ 7}, then
            put in watermark_position_list;
            watermark_position_count++;
          if {watermark_position_count = 2}, then
            exit;
end{Watermark Positioning}
    
```

그림 6. 워터마킹 위치선정 방법
Fig. 6. Watermarking positioning method

CBP에 대한 컨텍스트의 범위 '0'부터 '3'까지 중에서 '2' 이상의 값을 갖는 블록을 선택함으로써 주위의 변화가 많은 블록을 선택한다. H.264/AVC는 I 프레임에 대하여 인트라 예측을 수행하므로, 변화가 단조로운 블록은 이 예측 과정을 통하면서 값을 갖지 못한다. 따라서 주변의 블록 상황을 판단하여 현재 블록의 계수 분포에 대한 예측을 수행함으로써 CBP에 대한 컨텍스트가 '2'이상인 경우는 상당히 많은 변화를 보일 가능성이 높다. 일반적으로 변화가 많은, 즉 고주파 성분이 많은 영역이 비인지성이 높은 것으로 알려져 있다.

두 번째로, '1'이상의 계수의 위치를 지장하고 있는 컨텍스트 ctx_sig를 통해 현재 블록의 DC계수의 위치를 판별한다. 이것은 DC계수를 제외한 DC 주변의 계수를 워터마킹 대상영역으로 선정하기 위함이다. DC를 제외하는 이유는 DC 계수의 특성이 HVS(Human Visual System)에 민감한 값이며, 이 DC 계수에 워터마크를 삽입하면 화질에 큰 영향을 미치므로 워터마킹의 비인지성 요구조건을 만족시키지 못하기 때문이다. 본 논문에서는 DC 계수에서 가장 가까운 계수를 시작으로 네 개의 계수를 선별하는데, 이것은 고주파 성분일수록 그 값의 차이에 의해 예지성분의 변화가 크게 나타날 수 있기 때문이다.

세 번째로, 컨텍스트 ctx_abs_rbits을 통해 DC계수와 가장 인접한 '1'보다 큰 계수를 선택한다. ctx_abs_rbits 컨텍스트는 '5'부터 '9'사이의 범위를 갖는다. 이 범위는 계수의 역 스캔시 '1'보다 큰 계수를 카운트하는 것이고, 이 범위 중에서 임의의 범위를 선택하여 워터마크를 삽입할 수 있다. 본 논문에서는 '7'부터 '9'까지의 범위를 사용하였다. 따라서 ctx_CBP를 통하여 블록을 선택하고, ctx_sig를 통하여 DC를 제외하고 DC와 가장 인접한 계수

를 선택하며, *ctx_abs_rbits*를 통하여 실제적으로 워터마크가 삽입될 위치의 계수를 결정한다.

3.2 워터마크 삽입 방법

위와 같이 판별된 블록 내의 계수에 대해 워터마크 비트를 삽입하는 과정은 그림 7에 나타내었다. 본 논문에서는 워터마크 삽입으로 인한 원 데이터의 변화량을 최소화 하기 위하여 원 데이터와 워터마크를 모두 고려하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 계수의 LSB에 삽입하는데, 워터마크 삽입위치로 선택된 계수의 절대값의 LSB(Least Significant Bit)가 '0'일 때 삽입될 워터마크 비트가 '0'이면 절대값은 그대로 이진화(binairization)되고, '1'이면 계수의 LSB에 '1'을 더한다. 반대로 LSB가 '1'일 때 삽입 될 워터마크 비트가 '0'이면 계수의 LSB에 1을 더하고, 삽입 될 워터마크 비트가 '1'이면 계수의 절대값은 변화없이 이진화된다. 이로써 선택된 계수에 삽입된 워터마크 비트는 그 계수의 LSB와 같게 된다.

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 알고리즘은 엔트로피 코딩과정 이전에서 추출되는 컨텍스트들 즉, 계수의 절대값 그리고 워터마크 비트에 따라 컨텍스트 소유자의 고유한 워터마크가 삽입되므로, 엔트로피 코딩과정 이외에 워터마크를 삽입하기 위한 추가적인 연산이 거의 없다. 따라서 엔트로피 과정을 진행하면서 워터마킹을 진행하여도 코딩속도에는 거의 영향을 미치지 않는다.

```

Procedure{watermark Embedding}
begin
  for each coefficient in watermark_position_list
    if {LSB_of_absLevel=0}, then
      if watermark=0, then
        go to Binarization;
      else if {watermark=1}, then
        absLevel=absLevel+1;
        go to Binarization;
    if {LSB_of_absLevel=1}, then
      if {watermark=0}, then
        absLevel=absLevel+1;
        go to Bonarization;
      else if {watermark=1}, then
        go to Binarization;
  end{watermark Embedding}
    
```

그림 7. 워터마크 삽입 방법
Fig. 7. Watermark enbding method

3.3 워터마크 추출 방법

워터마크 추출 알고리즘을 그림 8에 나타내었다. 이 과정은 그림 7의 워터마크 삽입과정과 동일하나, LSB에 워터마크 비트를 삽입하는 과정 대신 그 계수의 LSB를 읽어내면 된다. 즉, 각 블록의

```

Procedure{Watermark Extraction}
begin
  for all blocks
    if {ctx_CBP≥2}, then
      find DC coefficient with ctx_sig;
      for each higher-frequency coefficient than DC
        if {ctx_sig=1}, then
          ctx_sign_count++;
          if {ctx_abs_rbits}≥7, then
            watermark_position_count++;
            if {LSB_of_absLevel=0}, then
              watermark=0;
            else if {LSB_of_absLevel=1}, then
              watermark=1;
            if {watermark_position_count=2}, then
              exit;
          if {ctx_sign_count=4}, then
            exit;
  end{Watermark Extraction}
    
```

그림 8. 워터마크 추출 방법
Fig. 8. Watermark extraction method

*ctx_CBP*를 확인하여 워터마크가 삽입된 블록을 판별하고, 워터마크가 삽입된 블록에서 *ctx_sig*와 *ctx_abs_rbits*를 확인하여 워터마크가 삽입된 계수를 찾아 그 계수의 LSB를 읽어낸다.

IV. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 검사하기 위해 다양한 비디오를 대상으로 비인지성 및 공격에 대한 강인성 실험을 수행하였다. 실험환경 및 조건은 다음과 같다. H.264/AVC GOP는 기존의 MPEG계열과 마찬가지로 I, P, B가 혼재된 구조였으며, 제안한 알고리즘의 성격상 수행 프레임을 I프레임으로 한정한다. 제안한 알고리즘은 JM 9.8을 기반으로 하여 C언어로 구현하였다. 양자화 파라미터(QP)를 28로 한정하며, 사용된 워터마크의 크기는 32×32의 크기의 1024비트 2진 시퀀스를 사용하였다. 사용된 비디오는 352×288 크기의 Foreman, Container, Stefan 비디오이었다. 워터마킹의 비인지성을 실험하기 위하여 워터마킹이 수행되지 않고 H.264/AVC 코덱에 의해 바로 복원된 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 비교하였다. 또한 공격에 대한 강인성을 실험하기 위하여 가우시안(Gaussian) 잡음 첨가, sharpening, blurring, cropping, 그리고 다양한 기하학적 공격을 가한 뒤 워터마크를 추출하였다. 기하학적 공격은 영상을 쌍선형 크기조정(bilinear interpolation)을 통하여 그 크기를 변화시켰다. 워터마크의 강인성을 판단하는 기준은 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 에러율(error ratio)로 하였으며, 에러율은 식 (4)와 같다.

$$ErrorRatio(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{M \times N} W(i) \oplus W_{ex}(i)}{M \times N} \times 100 \quad (4)$$

이 식에서 $W(i)$ 와 $W_{ex}(i)$ 는 i 번째의 원 워터마크 비트와 추출된 워터마크 비트를 의미하며, $M \times N$ 은 워터마크의 총 비트 수를 나타낸다.

4.2 워터마크 삽입 결과

그림 9는 Foreman과 Container 비디오에 워터마크를 삽입한 결과 중 한 프레임 씩을 보여주고 있다. 워터마크가 삽입된 Foreman(b)과 Container(d) 영상은 37.65dB과 36.89dB의 PSNR을 보였으며, 원 영상들(a와 c)이 38.34dB 및 37.66dB인 것에 비해 워터마킹으로 1dB 미만의 화질열화를 보임을 알 수 있다. 가시적으로도 (a)와 (b), (c)와 (d)를 비교할 때 워터마킹 유무를 판단할 수 없을 정도의 비인지성을 유지함을 알 수 있다. 따라서 워터마킹을 수행한 결과가 워터마킹의 중요한 요구조건 중 하나인 비인지성을 강하게 유지하고 있음을 알 수 있다.

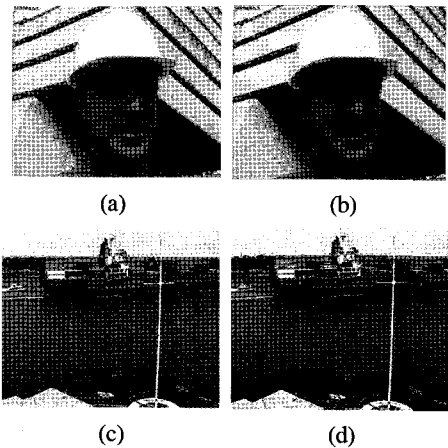


그림 9. 워터마킹 결과 영상, Foreman; (a) 원영상, (b) 워터마크된 영상, Container; (c) 원 영상, (d) 워터마크된 영상.
Fig. 9. Images resulted from watermarking, Foreman; (a) original image, (b)watermarked image, Container; (c) original image, (d) watermarkd image.

4.3 공격에 대한 강인성 실험결과

제안한 워터마킹 알고리즘 강인성 실험은 Gaussian 노이즈 첨가, cropping, sharpening, blurring 및 기하학적 변형 공격을 수행하였다. 그림 10은 이들 중 대표적인 공격결과를 나타낸 것이다. 그림 10에서 보듯이 원 영상에 비해 각 공격 결과는 그 특성에 따라 결과 영상이 변화한 것을 볼 수 있

다. 이들 공격을 가한 후 추출된 워터마크를 에러율에 따라 그림 11에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 5% 정도의 에러율에서도 원 워터마크를 충분히 식별할 수 있다.

표 1에 다양한 공격에 대한 강인성 실험결과를 나타내었다. 일반적으로 강인성 실험결과는 검출된 워터마크의 원 워터마크에 대한 에러율이나 normalized correlation 값으로 나타내는데, 본 논문에서는 식 (4)의 에러율로 나타내었다. 각 종류의 공격강도는 공격결과 영상이 상품으로서의 가치가 있다고 판단되는 정도까지로 하였다. 예를 들어 Gaussian 잡음을 10% 이상 첨가하면 영상의 주요부분이 알아볼 수 없을 만큼 왜곡되므로 이 공격의 강도는 10%로 제한하였다. 또한 Up-down sampling 공격에서 up sampling 한 후 down sampling할 때 추가되는 화소와 제거되는 화소를 달리하였다.

표 1의 각 공격에 대한 에러율은 각 실험대상 비디오들에서 얻은 값들을 평균한 결과이다. 표에서 보는 것과 같이 모든 공격에서 5% 이하의 에러율을 보여 제안한 알고리즘이 다양한 공격에 대해 매

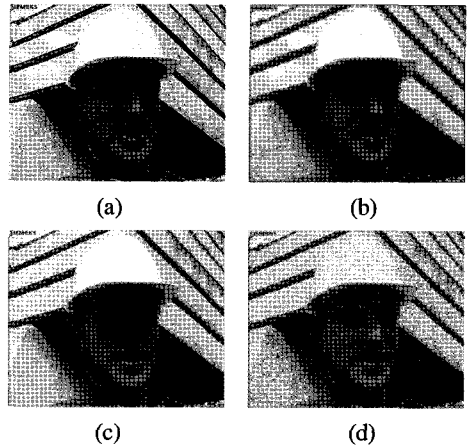


그림 10. 공격된 영상; (a) sharpening, (b) blurring, (c) cropping, (d) Gaussian 잡음 첨가.
Fig. 10. Attacked images; (a) sharpening, (b) blurring, (c) cropping, (d) Gaussian noise addition.

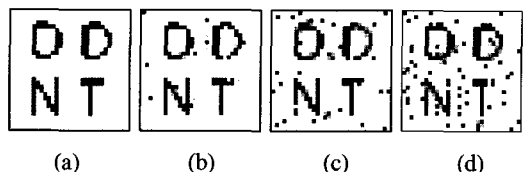


그림 11. 에러율에 따른 추출된 워터마크; (a) 원 워터마크, (b) 1.86%, (c) 3.69%, (d) 5.02%
Fig. 11. Extracted watermarks for error ratios; (a) original watermark, (b) 1.86%, (c) 3.69%, (d) 5.02%

표 1. 공격에 대한 강인성 실험결과
Table 1. Experimental results for robustness against attacks

Attacks		Error ratio (%)
Gaussian noise addition(%)	5	2.62
	10	2.81
Cropping (%)	10	1.07
	15	1.86
	20	3.23
Sharpening		1.17
Blurring		0.96
Bilinear geometric attacks	Up sampling($\times 2$)	2.61
	Down sampling($1/2$)	3.69
	Up-down sampling	5.02

우 강한 강인성을 보였다. 예측되는 바와 같이 단일 공격으로는 down sampling 공격이 가장 높은 에러율을 보였으며, up-down sampling의 복합공격에도 5% 정도의 에러율을 보였다.

4.4 기존 연구와의 비교

표 2는 본 논문의 방법과 기존의 워터마킹 방법의 성능을 비교하는 것이다. Alattar[15]는 워터마크에 따라 DCT를 변화시킴으로써 워터마크를 삽입한다. Alattar의 방법은 이득 조절 알고리즘(Gain Control Algorithm)을 사용하여 이미지의 공간적 특성에 기인하여 워터마크의 삽입 강도를 조절한다. 본 논문과는 워터마크 삽입을 위한 위치선정 방법은 틀리지만 DCT계수의 조절을 통한 워터마크를 삽입한다는 점에서 유사한 특성을 보인다. Alattar의 공격 방법은 가우시안 노이즈 추가 및 기하학적 공격인 sampling을 통한 공격을 수행하였으며, 이 표에서 알 수 있듯이 제안하는 방법이 공격에 더욱 강인하다는 것을 증명하고 있다. 특히 기하학적 공격에 있어서는 약 14배의 월등한 성능의 차이를 보여주고 있다.

표 2. 기존 방법과의 비교
Table 2. Comparison with existing method

Attacks		Ours	Alattar ^[8]
PSNR (dB)	Watermarked Image	36.86dB	35.5dB
Error Rate (%)	Gaussian Noise Addition	2.81%	4.47 %
	Spatial Sampling(125%)	2.29%	30.15 %

V. 결론

본 논문에서는 동영상 압축 표준인 MPEG-4 Part 10 H.264/AVC의 메인프로파일을 위한 워터마킹

알고리즘 CABAC 엔트로피 코딩방법을 이용하여 개발하였다. 이 방법은 CABAC이 진행되는 중에 CABAC으로 생성되는 결과물들로 워터마킹 위치를 판별하고 CABAC의 과정인 이진화 과정 중에 각 데이터의 LSB 만을 변경함으로써 워터마킹을 위한 연산량을 최소로 하여 CABAC 진행과 함께 수행할 수 있도록 하였다. 또한 이 알고리즘은 삽입된 워터마크를 추출할 때 원 영상정보를 사용하지 않고 워터마킹된 영상만 사용할 수 있도록 하였다.

다양한 종류와 다양한 강도의 공격을 가한 실험 결과 제안한 알고리즘은 최고 5.02%의 낮은 에러율을 보였으며, 이 경우에도 추출된 워터마크는 원 장표를 충분히 식별할 수 있음이 확인되었다. 따라서 제안한 알고리즘은 현재와 미래의 비디오 압축기술인 H.264/AVC를 위한 우수한 워터마킹 방법으로 사료된다. 특히 이 방법은 연산량이 적고 워터마킹을 위한 특별한 조치가 필요없으므로 비디오를 획득한 즉시 압축을 수행하여야 하는 응용분야에서 매우 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

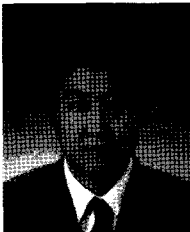
- [1] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bosson, "Digital signature of solar images using amplitude modulation", Proc. of SPIE, Vol. 3022, pp. 518-526, 1997.
- [2] I. J. Cox, et al., "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [3] M. Barni, "Image watermarking of secure transmission over public networks", Proc. of COST, pp. 290-294, July, 1997.
- [4] F. Deng and B. Wang, "A novel technique for robust image watermarking in the DCT domain", International Conference on Neural Networks and Signal Processing, Vol. 2, pp.1525-1528, Dec. 2003.
- [5] T. Xianghong, X. Shuqin, and L' Qiliang, "Watermarking for the digital images based on model of human perception", International Conference on Neural Networks and Signal Processing, Vol. 2, pp. 1509-1512, Dec. 2003.
- [6] N. Ahmidi and R. Safabakhsh, "A novel

DCT-based approach for secure color image watermarking”, Proc. ITCC, Vol. 2 , pp.709 - 713, April 2004.

- [7] D. He, et al., “A practical watermarking scheme aligned with compressed-domain CIF-to-QCIF video transcoding”, Pacific Rim Conference on Multimedia, Vol.2, pp.1168 - 1172, Dec. 2003.
- [8] A. M. Alattar, et al., “Digital watermarking of low bit-rate advanced simple profile MPEG-4 compressed video”, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13 , Issue 8 , pp. 787-800, Aug. 2003.
- [9] D. C. Lou, et al., “Adaptive digital watermarking using neural network technique”, IEEE International Conference on Security Technology, pp. 325-332, Oct. 2003.
- [10] ISO/IEC 14496-10 and ITU-T Rec.H.264, Advanced Video Coding, 2003.

서 영 호 (Young-Ho Seo)

종신회원

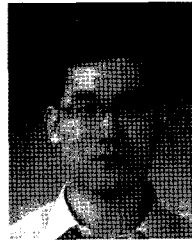


2001년 2월 광운대학교 일반대학원(공학석사)
 2000년 3월~2001년 12월 인티스 닷컴(주) 연구원
 2004년 8월 광운대학교 일반대학원(공학박사)
 2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원

2004년 12월~2005년 8월 유한대학 연구교수
 2005년 9월~현재 한성대학교 전임강사
 <관심분야> 2D/3D 영상 및 비디오 처리, 디지털 홀로그래프, SoC 설계, 워터마킹/암호화

최 현 준 (Hyun-Jun Choi)

정회원



2005년 2월 광운대학교 대학원(공학석사)
 2005년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 박사과정
 <관심분야> Image Processing, 암호학, FPGA/ASIC 설계

이 창 열 (Chang-Yeul Lee)

정회원



2003년 2월 광운대학교 전자재료공학과(공학사)
 2005년 8월 광운대학교 일반대학원(공학석사)
 2005년 9월 (주)코어로지 연구원
 <관심분야> SVC, JPEG2000

김 동 옥 (Dong-Wook Kim)

종신회원



1983년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1985년 2월 한양대학교 대학원(공학석사)
 1991년 9월 Georgia공과대학 전기공학과(공학박사).
 1992년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 정교수

2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원
 <관심분야> 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication