

論文2002-39SP-6-5

연성 워터마크를 이용한 비디오의 효율적인 에러 검출 방법

(Effective Error Detection Method for Video using Fragile Watermark)

黃榮輝*, 全炳宇**

(Younghooi Hwang and Byeungwoo Jeon)

요 약

이동 통신의 급속한 발전으로 고품질 영상 서비스가 요구됨에 따라 이동 통신 환경과 같은 에러에 노출된 채널환경 하에서 고품질 영상 서비스를 제공하기 위한 에러 강인 기술의 필요성이 증가되고 있다. 이러한 에러 강인 기술을 복호화기에서 효과적으로 활용하기 위해서는 정확한 에러 검출이 선행되어야 하기 때문에, 본 논문에서는 연성 워터마크 삽입 기술을 이용한 실시간 영상 통신 환경 하에서의 간단하고, 효율적인 에러 검출 방법을 제안한다. 제안하는 에러 검출 방법은 화질 저하를 최소로 하면서 에러 검출을 효과적으로 하기 위해서 선택된 변환 계수의 최하위 비트에만 워터마크를 삽입한다. 제안된 에러 검출 방법은 비트 스트림에 추가적인 비트 없이 사용할 수 있어 매우 효율적으로 실행될 수 있으며, 무선 채널 환경과 같이 에러에 영향받기 쉬운 영상 통신에서 사용할 수 있다.

Abstract

Recent advances in technology have resulted in rapid growth in mobile communication. With this explosive growth, reliable transmission and error resilient technique become increasingly necessary to offer high quality multimedia service. The success of error resilient techniques at decoder sensitively depends on error detection performance. Therefore, this paper proposes a computationally very simple and efficient error detection technique using fragile watermark for real-time video communication. To balance between image quality degradation and error detection efficiency, fragile watermark is embedded only in least significant bits of selected transform coefficients. The proposed method is workable without additional bit in video bitstream and can be implemented very efficiently. This method will be useful in video communication in error prone environment such as wireless channel.

Keywords : error detection, fragile watermarking, video communication.

I. 서 론

최근 인터넷과 이동 통신의 급속한 성장과 더불어

* 學生會員, ** 正會員, 成均館大學 情報通信工學部
(School of Electrical and Computer Engineering,
Sungkyunkwan University)

※ 이 논문은 2001년도 한국 학술진흥 재단의 지원에
의하여 연구되었음(KRF-2001-003-E00162).

接受日字:2002年7月15日, 수정완료일:2002年10月23日

다양한 멀티미디어 서비스가 가능해 지고 있으며, 특히 이들 멀티미디어 중에서 비디오는 압축 및 부호화 기술의 발달과 함께 가장 크게 주목받고 있다. 현재 대부분의 영상 압축 표준(H.263, H.264, MPEG-1, 2, 4)들은 가변장 부호화 기술(VLC, variable length coding)과 예측 부호화(prediction casting) 기술을 사용하여 높은 압축 효율을 얻고 있으나 VLC 기술은 에러가 있는 채널환경에서 매우 취약하여 에러가 발생할 경우 복호시 동기를 잃어버리게 하는 원인을 제공한다. 또한, 예측 부호화 기술은, 전체 영상을 통해 에러가 전파되도

록 만들기 때문에 전송 채널환경에서의 에러는 복원된 영상의 품질을 저하시키고 심지어 전체 영상 통신 시스템의 서비스 단절을 가져오기도 한다. 따라서 이동 통신 환경과 같이 다 경로 반사(multipath reflection)와 페이딩(fading)에 의한 비트 에러와 버스트 에러가 많은 경우, 이를 효과적으로 취급하기 위한 영상 부호화 및 복호화 알고리즘을 개발하는 것이 중요하다.^[1]

에러 환경 하에서 압축된 동영상 데이터의 강한 전송을 위해 다양한 에러 강인 기술들이 개발되어 왔다. 일반적으로 이들 에러 강인 기술들은 에러 검출, 재 동기화, 데이터 복원, 에러 은닉 기술로서 분류된다. 특히 MPEG-4 영상 압축 규격에서는 재 동기화(resynchronization), 데이터 구분화(data partitioning), 역 방향 가변장 부호화(reversible VLC) 기술들이 에러 강인 기술로서 제공되고 있다.^[2] 그러나, 이러한 에러 강인 기술의 성능은 에러 검출 성능에 크게 의존하기 때문에 정확하고 효과적인 에러 검출이 필수적이다.

한편, 멀티 미디어 관련기술과 컴퓨터 네트워크의 발전으로 디지털 콘텐츠의 정보 보호 기술도 활발히 개발되고 있는데, 이러한 정보 보호 기술 중 대표적인 것이 디지털 워터마킹(watermarking) 기술이다. 디지털 워터마킹은 콘텐츠 소유자에 의해서는 쉽게 검출될 수 있지만, 그 밖의 사용자에게 의해서는 검출되거나 지워질 수 없고, 다양한 후처리에 의해서도 지워지지 않는 패턴이나 정보를 콘텐츠 내에 삽입하는 기술이다. 이러한 디지털 워터마크 중 연성 워터마크(fragile watermark)는 변형이나 공격에 대해 삽입된 워터마크 정보가 쉽게 변형되는 것으로 이러한 변형여부를 판단하여 공격이 있었다는 사실을 증명할 수 있는 방법이다. 따라서 연성 워터마크 기술은 소유권이나 저작권의 보호차원이 아닌 변형여부를 판별하는 인증(authentication) 및 무결성 입증을 위해 주로 사용되며, 간단히 LSB에 워터마크를 삽입하는 방법^[3]과, 해쉬(hash) 함수를 사용하여 정보를 삽입하는 방법^[4] 등을 포함하여 매우 다양하게 연구되고 있다. 본 논문에서는 압축시 연성 워터마크를 삽입한 후, 전송도중 에러가 발생하면, 연성 워터마크가 손상되는 원리를 이용하여 에러 검출을 효과적으로 할 수 있는 방법을 제안한다.

에러 검출에서 가장 잘 알려진 기술은 구문 분석에 의한 에러 검출 방법(syntax-based error detection)이다.^[1,2] 구문 분석에 의한 에러 검출 방법은 복호화된 움직임 벡터가 미리 정해진 범위를 벗어나거나, 잘못된

VLC 부호어, 유효범위 외 DCT 변환 계수, 8×8 한 블록 내 64개 이상의 DCT 변환 계수가 발생할 경우 에러를 검출할 수 있으며, 또한, 양자화 파라미터 QP값의 범위초과, 매크로 블록(MB) 번호감소, 유효 매크로블록 수를 초과할 경우 에러를 검출하는 방법이다. 효과적인 전송에러 처리 성능은 정확한 전송에러 검출에 달려있으나, 구문 분석에 의한 에러 검출 방법은 전체 에러의 40 ~ 60% 만 검출할 수 있을 뿐이다.^[5,6] 따라서, 본 논문에서는 효과적이고 정확한 에러 검출을 수행하기 위해 구문 분석에 의한 에러 검출 방법에 추가하여 사용할 수 있는 에러 검출 방법을 제안한다. 먼저 구문 분석에 의한 에러 검출을 적용하고, 그 후 구문 분석에 의한 에러 검출 방법에 의해 검출되지 않는 매크로 블록은 제안된 방법에 의해 삽입된 워터마크 패턴을 추출하여 추가적인 매크로 블록 단위의 에러를 검출할 수 있도록 한다. 제안된 연성 워터마크 삽입 방법은 선택된 블록에서 0이 아닌 양자화 된 DCT 계수의 최하위 비트(LSB)에 특별한 패턴을 선택적으로 삽입하는 것이다. DCT계수의 최하위 비트(LSB)의 변경은 PSNR의 손실을 초래하게 되는데,^[5] 특히, 부호화 되는 매크로 블록에서 0이 아닌 양자화 된 대부분의 DCT 계수에 대한 최하위 비트(LSB)가 변경된다면 화질저하는 매우 심각할 것이다.^[5,6] 한편 인터 매크로 블록에서 움직임 추정 후 양자화 된 DCT 계수는 일반적으로 Laplacian 분포를 나타내므로,^[7] 0이 아닌 양자화 된 DCT 계수가 짝수보다 홀수일 확률이 높음을 알 수 있다. 따라서 [5]에서 제안된 방법처럼 대부분의 최하위 비트(LSB)를 1이 되도록 워터마크를 삽입할 경우 화질저하는, 반대로 최하위 비트를 0이 되도록 워터마크를 삽입할 경우보다 감소할 수 있으나 에러 검출 성능 또한 감소하게 된다.

화질 저하 문제를 개선하기 위해서, 본 논문에서는 인터 매크로 블록 내에서 선택된 블록의 마지막으로 부호화 되는 0이 아닌 양자화 된 DCT 데이터의 최하위 비트(LSB)에 특별한 패턴을 삽입한다. 인트라 매크로 블록의 경우는 [5]에서 제안된 동일한 방법의 워터마크 삽입 기술을 사용한다. 이것은 에러 검출 특성을 유지하면서 화질 저하를 가능한 한 적게 하기 위한 것이다. 인터 매크로 블록의 경우 삽입 방법은 해당 블록의 마지막으로 부호화 되는 DCT 계수의 최하위 비트(LSB)를 변경하여 선택된 블록의 양자화 된 DCT 계수들의 총 합이 짝수(또는 홀수)가 되도록 만드는 것이다.

부호기가 부호기로부터 DCT 계수에 대한 VLC 부호어를 받을 때, 해당 DCT 계수의 추출된 LSB가 삽입 규칙에 맞지 않으면 상응하는 매크로 블록은 에러를 포함하는 것으로 판단한다.

II. 에러 검출 문제

HL263 또는 MPEG-4 등의 영상 압축 표준에 의해 압축된 데이터를 전송할 때 발생하는 전송 에러를 은폐하기 앞서 먼저 에러의 발생 위치를 알아야 하는데, 이를 위해 사용하는 보편적인 방법은 구문 분석에 의한 에러 검출 방법이다. <그림 1>은 이러한 전통적인 복호기에서 구문 분석에 의한 에러 검출 문제점을 하나의 예시로 보여 주고 있다. <그림 1>에서 두 번째 GOB(group of block)는 6번째 매크로 블록 (macro-block)에서 비트 에러를 가진다. 그러나 구문 분석에 의한 에러 검출 방법은 해당 비트 에러를 검출할 수 없기 때문에 이러한 경우 복호기는 해당 에러 매크로 블록이 아무런 에러를 갖지 않은 것으로 판단하지만, 이 에러에 의해 후속 데이터들이 영향을 받는다.

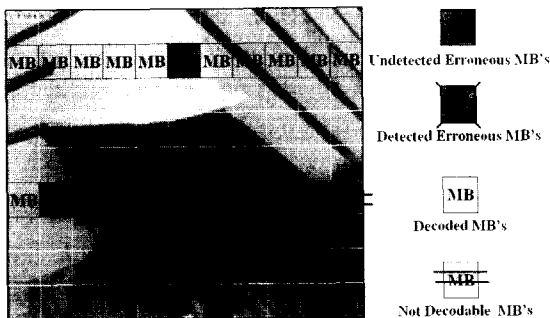


그림 1. 기존 구문 분석 기반 에러 검출 방법에 대한 문제점의 예

Fig. 1. Illustration of error detection problem by the conventional syntax-based scheme.

또한, <그림 1>에서 6번째 GOB는 두 번째와 네 번째, 그리고 여덟 번째 매크로 블록에 비트 에러를 포함하고 있다. 그러나 구문 분석에 의한 에러 검출 방법은 단지 여덟 번째 매크로 블록의 에러만 검출할 수 있다. 이것은 이전의 매크로 블록들이 구문 분석 기반 에러 검출 방법에 의해 검출되지 않고 복호되는 것을 의미한다. 이렇게 구문 분석에 의한 검출 방법에 의해 에러가 검출되지 않는 경우는 에러에 의해 VLC 코드

가 바뀌어 해석되거나 블록에서 마지막으로 부호화되는 계수임을 가리키는 EOB(end of block) 데이터가 에러에 의해 변경되어 블록간의 구별이 잘못되는 경우가 발생할 수 있다.^[5] 이러한 경우, 같은 GOB에서 여덟 번째 매크로 블록 이전의 매크로 블록들의 복호된 데이터는 불확실한 데이터로 에러를 포함할 수 있기 때문에 문제가 있는 GOB의 모든 매크로 블록에 대한 복호된 데이터를 제거하고, 에러 은닉(error concealment) 과정으로 전환하여 처리하는 것이 좋을 것이다. 그러나 워터마크 삽입 기술을 적용한 제안된 에러 검출 방법은 복호된 매크로 블록이 에러를 포함하고 있는지 여부를 정확하게 검출할 수 있다. 이러한 정확한 에러 검출은 에러를 포함한 매크로 블록의 데이터만을 선택적으로 검출하여 에러 은닉이 가능하도록 하기 때문에 에러 검출의 부정확성에 의한 불필요한 화질 저하를 크게 줄일 수 있다.

III. 제안된 에러 검출 방법

<그림 2>는 워터마크를 사용한 제안된 에러 검출 기술의 부호화기 블록도를 보여준다. 에러 검출을 위한 워터마크 삽입과정은 DCT와 양자화 과정 후에 수행된다. 그림 2에서 "TCOEFF & block selector"는 양자화된 DCT 계수, 모드 정보, 부호화 블록 패턴 (Coded Block Pattern) 정보를 입력받아 워터마크를 삽입할 블록을 선택한다. "LSB pattern generator"의 입력 정보는 TCOEFF & block selector 정보와 워터마크 정보로서, 이들은 선택된 블록의 해당 DCT 계수에 대한 최하위 비트(LSB)를 변경할지 여부를 결정한다. 워터마크는 단지 0이 아닌 DCT 계수값, 즉, LEVEL 데이터 (LEVEL 데이터는 Zig-zag 스캔과 같은 주사 방향에 따라 연속된 0의 개수(RUN)에 이은 0이 아닌 DCT 계수의 절대 값을 나타낸다)에 삽입된다. 만일 현재의 최하위 비트(LSB)를 변경해야 한다면 "LSB pattern generator"는 양자화 에러와 VLC 코드 길이를 줄이는 방향으로 LEVEL 데이터에 추가시켜 더해주기 위해서 1이나 -1을 선택하게 된다(단, LEVEL 데이터가 1인 경우는 1만을 선택). 또한, 인트라 매크로 블록과 인터 매크로 블록의 서로 다른 코딩특성을 고려하여 이들 매크로 블록의 모드 정보에 따라 다른 워터마크 삽입 기술을 사용한다.

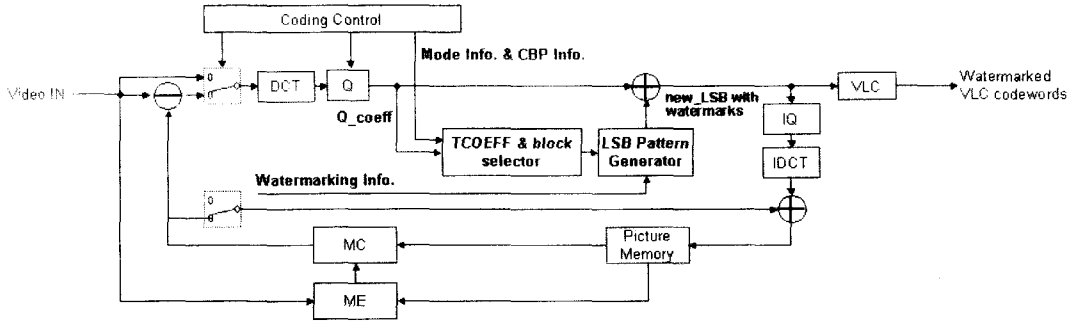


그림 2. 워터마크 삽입 기술을 사용한 제안된 에러 검출 방법의 부호화기
 Fig. 2. Encoder with the proposed embedding technique using fragile watermark.

1. 인트라 매크로 블록의 에러 검출 패턴

인트라 매크로 블록의 수는 인터 매크로 블록의 수에 비해 상대적으로 적으나, 매크로 블록의 압축 데이터의 크기는 인터 매크로 블록에 비해 훨씬 크다. 따라서, 인터 매크로 블록의 경우보다 인트라 매크로 블록의 경우 다양한 워터마크 삽입이 가능하다. 인트라 매크로 블록의 경우는 [5]에서 제안된 동일한 방법을 사용하여 식 (1)과 같이 연성 워터마크를 삽입한다. 식 (1)은 현재의 0이 아닌 DCT 변환 계수가 DC 계수로부터 Zig-zag 스캔 순서에서 짝수 위치에 있다면 해당 DCT 계수의 LSB를 '0'으로 변경하고, 홀수 위치에 있다면 '1'로 변경한다.

LSB pattern(Coeff - position)

$$= \begin{cases} \text{Coeff_position mod 2} & \text{when } \text{Coeff_pos} \geq \text{position_start} \\ 0 & \text{when DC} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 "Coeff_position"은 8x8 블록 내에 주어진 계수들의 위치(0~63)를 나타내며, "mod"는 나머지 연산자(modular operator)이다. 패턴 삽입 후에 화질 저하를 최소화하기 위해서 "position_start" (1~63)에 의해 삽입을 시도할 수 있는 AC 계수의 위치를 조절할 수 있으며, 본 실험에서는 [5]에서 제안된 것과 동일하게 'position_start=11'을 사용하였다. 또한, 인트라 매크로 블록의 경우 DC 계수에는 항상 워터마크가 삽입된다. 이것은 에러에 의해 매크로 블록의 경계를 잘못 인식하여 해당 블록의 복원된 DC 값이 잘못 복호되는 경우 심각한 화질 저하를 초래하기 때문에 이를 검출하기 위함이다. 인트라 매크로 블록내의 부호화 되는 모든

휘도 성분(luminance component) 블록과 색차 성분(chrominance component) 블록 모두에 동일한 방법이 적용된다.

2. 인터 매크로 블록의 에러 검출 패턴

(1) 인터 매크로 블록의 워터마크 삽입 문제

인트라 매크로 블록의 수는 인트라 매크로 블록의 수보다 많으나 인터 매크로 블록의 압축된 데이터 크기는 인트라 매크로 블록의 데이터 크기에 비해 작다. 따라서, 인터 매크로 블록의 경우 적은 수의 양자화된 DCT 계수를 갖는다는 사실에 근거하여 인트라 매크로 블록의 경우와 다른 방법으로 처리할 필요가 있다. 따라서, 인터 매크로 블록의 워터마크는 단지 4개의 휘도 성분(luminance component) 블록 중 마지막으로 부호화 되는 블록에만 삽입이 되며, 해당 블록에서 최종으로 부호화 되는 0이 아닌 양자화된 DCT 계수에만 삽입된다. 휘도 성분 블록이 부호화 되지 않는 경우, 색차 성분(chrominance component) 블록이 부호화 된다면 워터마크는 부호화되는 색차 성분 블록에 삽입된다. 휘도 성분 블록에 우선적으로 워터마크를 삽입하는 이유는 색차 성분 블록의 0이 아닌 양자화된 DCT 계수의 수가 휘도 성분의 경우에 비해 일반적으로 훨씬 적기 때문이며 동시에 워터마크 삽입에 따른 화질 열화를 최소화하기 위한 것이다.

(2) 인터 매크로 블록에서의 워터마크 삽입 방법

인트라 매크로 블록에 워터마크를 삽입하기 위해서 먼저 식 (2)를 사용하여 선택된 블록의 양자화된 DCT 계수의 총합을 구한다.

$$S = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |QF(u, v)| \quad (2)$$

여기서 “ $QF(u,v)$ ”는 선택된 하나의 블록 DCT 계수 중 수평 및 수직 주파수 인덱스가 각각 u, v 인 위치에서의 양자화된 변환 계수 값이다. “ S ”는 해당 블록에서 $QF(u,v)$ 값들에 대한 절댓값의 합이다. 또한 각 블록에 대해 식 (3)과 같이 “*Block Parity(BP)*”를 계산한다.

$$BP = \begin{cases} 1, & S = \text{odd} \\ 0, & S = \text{even} \end{cases} \quad \text{where } S = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |QF(u,v)| \quad (3)$$

S 가 홀수이면 block parity는 ‘1’이 되며, S 가 짝수이면 block parity는 ‘0’이 된다. block parity는 워터마크의 삽입 패턴을 결정하는 파라미터로서, 선택된 블록에서 최종으로 부호화 되는 0이 아닌 DCT 계수에 대한 최하위 비트(LSB)의 변경 여부를 결정한다. 본 논문은 삽입 패턴에 따라서 인터 매크로 블록에 대한 두 가지 워터마크 삽입 방법을 제안한다. 첫 번째 제안된 에러 검출을 위한 워터마크 삽입 방법은 해당 블록의 block parity가 ‘0’이 되도록 해당 블록의 마지막 부호화 되는 0이 아닌 양자화 계수의 최하위 비트(LSB)를 변경하는 방법이다. 즉, block parity가 ‘1’(S =홀수인 경우)로 정해 졌을 경우라면, 식 (4)에 주어진 “*LSB_pattern*” 정보를 사용하여 선택된 블록의 마지막 부호화 되는 0이 아닌 DCT 계수의 최하위 비트(LSB)에 워터마크를 삽입한다.

LSB_pattern

$$= \begin{cases} 1, & \text{when BlockParity BP before embedding is } 1 \\ 0, & \text{when BlockParity BP before embedding is } 0 \end{cases} \quad (4)$$

두 번째 제안된 에러 검출을 위한 워터마크 삽입 방법은 첫 번째 제안된 방법과 대조적으로 해당 블록의 block parity가 ‘1’이 되도록, 선택된 블록에 대한 최종 부호화 되는 0이 아닌 양자화 계수의 LSB를 변경하는 방법이다. 즉 block parity가 ‘0’(S =짝수인 경우)이면, 식 (5)를 사용하여 선택된 블록의 마지막 부호화 되는 0이 아닌 DCT 계수의 최하위 비트(LSB)에 워터마크를 삽입한다.

LSB_pattern

$$= \begin{cases} 1, & \text{when BlockParity BP before embedding is } 0 \\ 0, & \text{when BlockParity BP before embedding is } 1 \end{cases} \quad (5)$$

에러 검출을 위해 제안된 두 가지 워터마크 삽입 방법은 에러 검출과 PSNR 성능 면에서 각기 다른 결과를 가져온다. 워터마크 삽입 후 화질 열화를 적게 하려면 되도록 DCT 계수의 변화가 적은 것이 유리하다. 위 두 방법의 우열을 판단하기 위해, 통계적으로 양자화된 블록이 특정 블록 패리티(Block Parity)를 가질 확률을 조사하였다. <그림 3>은 “ $Prob(BP=1)$ ”로, 다양한 비트율에서 블록의 block parity가 ‘1’이 될 확률을 보여준다. “ $Prob(BP=0)$ ”(block parity가 ‘0’이 될 확률)은 “ $1-Prob(BP=1)$ ”와 동일한 확률을 나타낸다. 그림 3은 “ $Prob(BP=1)$ ”의 확률이 비트율이 감소함에 따라서 “ $Prob(BP=0)$ ”인 확률의 경우 보다 높게 나타나는 것을 보여주고 있다. 이것은 <그림 4>에 나타난 것과 같이, 통계적으로 0이 아닌 양자화된 DCT 계수가 크기 1의 값을 가질 확률이 다른 크기 값을 가질 확률보다 높기 때문이다.

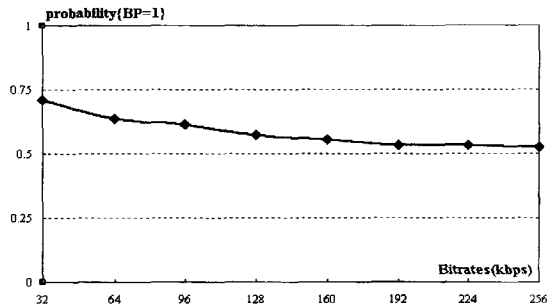


그림 3. 블록에 대한 block parity가 ‘1’이 될 확률 (인터 매크로 블록, Foreman 99 프레임 적용)

Fig. 3. The probability of ‘Block Parity=1’ in a block(Inter-coded MB, Foreman 99 frames).

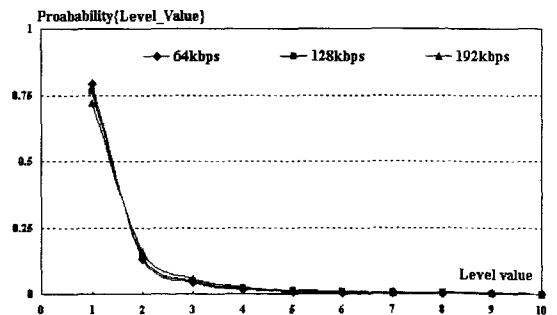


그림 4. 부호화 되는 블록의 0이 아닌 양자화 된 DCT 계수의 크기가 특정값(Level value)을 가질 확률(인터 매크로 블록, Foreman 99 프레임 적용)

Fig. 4. The probability of a non-zero quantized DCT coefficient having a certain magnitude (Level value) (Inter-coded MB, Foreman 99 frames).

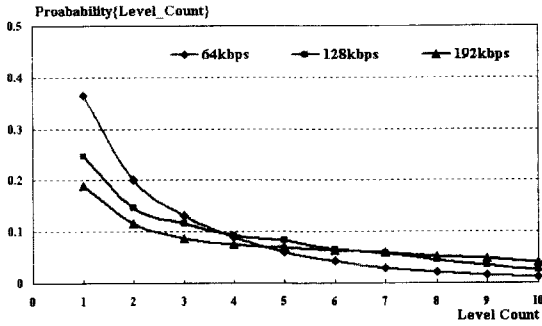


그림 5. 부호화 되는 블록의 LEVEL 데이터 개수에 대한 확률(인터 매크로 블록, Foreman 99 프레임 적용)

Fig. 5. The probability of LEVEL number in coded block(Inter-coded MB, Foreman 99 frames).

<그림 5>는 한 블록 내 존재하는 0이 아닌 양자화된 계수의 수(즉, LEVEL 데이터의 개수)에 대한 확률, 즉, "prob{Level_Count}"로서, 저 비트율 부호화에서 하나의 블록에 0이 아닌 양자화된 DCT 계수가 단지 하나만 존재할 확률이 고 비트율 부호화에 비해 상대적으로 높음을 보여준다. <그림 5>에서 보는 바와 같이 비트율이 감소함에 따라서 하나의 부호화 된 블록에서 단지 하나의 LEVEL 값을 가질 확률은 점차 증가하게 되며, 이러한 하나의 LEVEL 데이터 값은 대부분 홀수가 된다. 본 논문에서 제안된 두 가지의 제안된 워터마크 삽입 방법은 이러한 이유로 인해 에러 검출과 PSNR 손실 면에서 서로 다른 결과가 나타난다. 제안된 방법들에 대한 실험 결과는 IV장에서 설명될 것이다.

3. 에러 검출과 에러 은닉 방법

<그림 6>은 제안된 에러 검출 방법에 대한 순서도를 보여 주고 있다. 제안된 에러 검출방법은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 GOB 단위의 에러 검출 단계로서 전통적인 구문 분석에 의한 에러 검출 방법을 사용한 에러 검출 과정이다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 검출하지 못한 에러를 매크로 블록 단위로서 검출하기 위한 과정이다. 제안된 방법은 매크로 블록이 에러를 포함하는지 여부를 정확히 판단하기 때문에 매크로 블록 단위로서 추가적인 에러 검출이 가능하며, 에러가 추가적으로 검출될 경우 매크로 블록 단위로서 에러 은닉이 가능하다. 본 논문에서는 에러 은닉 방법으로서 위쪽 매크로 블록의 움직임 벡터를 사용하여 데이터를 복사하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 보다 더욱 정교한 에러 은닉 방법들도 사용 가능하다.^[8] 즉,

구문 분석에 대한 에러 검출 방법에 의해 에러가 검출되면 복호 과정은 중단되고 동일한 GOB의 남아 있는 매크로 블록은 GOB 단위의 에러 은닉 과정에 의해 복원된다. 그 후, 구문 분석에 의한 에러 검출 방법에 의해 검출되지 않는 매크로 블록의 경우, 삽입된 워터마크 패턴을 추출하여 추가적인 매크로 블록 단위의 에러가 검출되어, 검출된 에러 매크로 블록은 에러 은닉 과정을 수행하게 되며, 이후 복호 과정이 계속 수행된다.

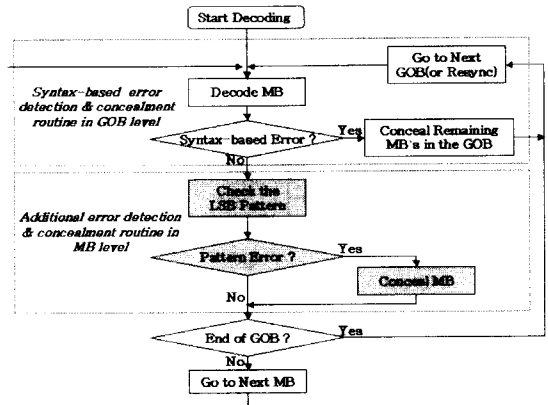


그림 6. 제안된 에러 검출 및 에러 은닉 방법에 대한 순서도

Fig. 6. Flowchart of proposed error detection and concealment method.

IV. 실험결과 및 분석

제안된 방법의 실험은 TMN 8의 전송률 제어(rate control) 방법을 이용한 H263 TMN 3.0 코덱을 사용하여 수행되었다. 전송 에러 환경을 구현하기 위해 본 논문에서는 가변 길이 부호화된 움직임 벡터 정보(motion vector difference)와 양자화된 DCT 계수(TCOEFF) 데이터에 이진 대칭 채널(binary symmetric channel)환경을 가정한 비트 에러를 삽입하였다.^[9] 제안된 방법의 성능 평가를 위해 전통적인 구문 분석에 의한 에러 검출 방법과 [5]에서 제안된 방법을 비교하여 다양한 비트율에서의 에러 검출과 PSNR의 성능을 분석한다.

1. 에러 검출 성능

<표 1>은 일반적인 구문 분석에 의한 에러 검출 방법을 적용하였을 경우의 에러 검출 성능을 보여주고 있다. 실험 결과 GOB 단위에서 약 46~63 %의 에러 검출 성능을 나타내고 있다. 이것은 에러를 포함하고

표 1. 제안된 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 수

Table 1. Number of detected erroneous GOB's by the proposed method.

(a) 64kbps

	Error rate	검출된 에러 GOB의 수					에러 검출율(%)			
		A	B	C	D	E	B/A	C/A	D/A	E/A
Foreman 영상	1.0E-03	467	229	310	342	337	49	66	73	73
	8.0E-04	386	191	247	283	276	49	64	73	72
	6.0E-04	299	147	189	228	221	49	63	77	74
	4.0E-04	204	95	127	152	149	47	62	75	73
	2.0E-04	104	49	55	65	62	47	55	63	60
	1.0E-04	52	27	29	34	35	52	56	65	67
News 영상	1.0E-03	443	230	268	299	275	52	62	68	62
	8.0E-04	381	195	221	244	241	51	58	64	63
	6.0E-04	301	147	173	185	189	48	57	62	63
	4.0E-04	207	101	115	132	124	48	56	64	60
	2.0E-04	107	54	61	64	65	50	57	60	61
	1.0E-04	54	26	29	32	30	48	54	59	56

(b) 192kbps

	Error rate	검출된 에러 GOB의 수					에러 검출율(%)			
		A	B	C	D	E	B/A	C/A	D/A	E/A
Foreman 영상	1.0E-03	880	556	653	708	694	63	74	81	79
	8.0E-04	855	494	607	661	645	58	71	77	75
	6.0E-04	777	406	519	577	557	52	67	74	72
	4.0E-04	611	293	378	459	438	48	62	75	72
	2.0E-04	335	155	228	261	260	46	68	77	78
	1.0E-04	178	81	116	129	127	46	65	72	71
News 영상	1.0E-03	852	583	640	680	674	68	75	80	79
	8.0E-04	805	505	597	643	620	63	74	80	77
	6.0E-04	738	434	523	563	552	59	71	76	75
	4.0E-04	585	316	390	447	427	54	67	76	73
	2.0E-04	340	165	214	274	236	49	63	81	69
	1.0E-04	176	87	106	128	115	49	60	73	65

A: 실제 에러 GOB의 수

B: 구문 분석 기반 에러 검출 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 수

C: B+[5]의 제안된 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 수

D: B+식(4)를 사용한 첫 번째 제안된 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 수

E: B+식(5)를 사용한 두 번째 제안된 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 수

(Foreman 및 News 영상 100프레임, 10회 실험 평균 결과)

있는 약 40% 이상의 GOB가 구문분석에 의한 에러 검출 방법에 의해 검출되지 않고 계속 복호화됨을 나타낸다. 따라서, 구문 분석 기반 에러 검출 방법에 의해 에러가 검출되지 않고 복호화 되는 경우도 해당 GOB는 에러를 포함할 수 있기 때문에 추가적으로 정확한 에러 포함 여부를 판단하는 것이 중요하다.

또한, <표 1>은 구문 분석에 의한 에러 검출 방법, [5]에 의해 제안된 에러 검출 방법 및 제안된 에러 검출 방법에 의해 검출되는 에러 GOB의 검출율을 보여 주고 있다. [5]에 의해 제안된 방법은 인터 매크로블록의 경우 부호화 되는 블록의 0이 아닌 양자화 된 모든 DCT 계수의 최하위 비트(LSB)를 모두 홀수로 바꾸어

주는 방법이다. <표 1>은 제안된 워터마크 삽입기술이 [5]에 의해 제안된 기술보다 에러 검출 성능면에서 우수함을 나타내고 있다. 첫 번째 제안된 에러 검출 방법은 식 (4)를 이용하는 방법으로서 에러 검출 성능 면에서 식 (5)를 이용하는 두 번째 제안된 방법보다 다소 좋은 성능을 가진다.

2. PSNR 성능 비교

표 2. 다양한 비트율에 대한 PSNR 비교

Table 2. PSNR comparison at various bitrates

(a) Foreman 영상

kbps	워터마크 삽입 방법[dB]			
	A	B	C	D
64	31.09	30.53	30.53	30.82
96	33.07	32.46	32.62	32.81
128	34.36	33.71	34.03	34.08
160	35.60	34.83	35.29	35.33
192	36.65	35.77	36.32	36.36

(b) News 영상

kbps	워터마크 삽입 방법[dB]			
	A	B	C	D
64	35.41	34.98	34.71	35.04
96	38.05	37.50	37.54	37.70
128	39.61	38.78	39.19	39.34
160	40.37	39.50	40.12	40.17
192	40.86	39.96	40.66	40.65

A: 워터마크 삽입이 없는 경우

B: [5]에 의해 제안된 워터마크 삽입 기술

C: 식 (4)를 사용한 첫 번째 제안된 방법

D: 식 (5)를 사용한 두 번째 제안된 방법

<표 2>는 에러가 없는 조건하에서, 워터마크 삽입이 없는 일반적인 복호화 된 영상과 [5]에 의해 제안된 방법을 적용한 경우, 그리고 제안된 워터마크 삽입 기술을 적용했을 때 복호화 된 영상들에 대한 다양한 비트율에서 PSNR 비교 결과를 보여주고 있다. 여기서 제안된 방법들은, [5]에 의해 제안된 기존 방법보다 PSNR 손실면에서 우수함을 보여 주고 있다. 그러나, 첫 번째 제안된 워터마크 삽입 방법(C)은 저 비트율에서 상당한 PSNR 손실을 초래하며 비트율이 증가함에

따라 손실 정도가 줄어든다. 이러한 이유는 한 블록의 마지막으로 부호화 되는 DCT 계수인 "EOB (end of block)" 가 비트율이 증가함에 따라서 변환 영역 (transform domain)의 고주파 영역에서 더 자주 발생되기 때문이다. 또한, 저 비트율에서 block parity가 1일 확률이 0일 확률보다 높기 때문에 두 번째 제안된 워터마크 삽입방법(D)은 다른 방법들에 비교하여 PSNR 손실이 가장 적다. 이러한 경우, 선택된 블록의 최종 부호화 된 DCT 계수를 고 비트율에서 보다 적게 변경시키게 된다. 따라서, 두 번째 제안된 워터마크 삽입 방법은 저 비트율 환경에서 PSNR 손실을 가능한 한 적게 유지할 수 있다. 그러므로 식(4)를 사용한 첫 번째 제안된 방법은 고 비트율 환경에서 적용하는 것이 타당할 것이며, 식 (5)를 사용한 두 번째 제안된 방법은 첫 번째 제안된 방법과



(a) 일반적인 구문 분석에 의한 에러 검출 방법 적용
(a) Syntax-based error detection method



(b) 제안된 에러 검출 방법 적용
(b) Proposed error detection method

그림 7. 복호화된 영상

Fig. 7. Comparison of reconstructed images.

비교하여 저 비트율에서 에러 검출 성능은 다소 떨어지나 PSNR 손실이 적기 때문에 가변 비트율 환경이나 저 비트율 환경에 적용하는 것이 좋을 것이다.

<그림 7>은 제안된 에러 검출 방법의 성능의 우수성을 보이기 위해 구한 비트 에러율 = 1.0×10^{-3} 에서 Foreman 영상 192kbps의 12 번째 프레임의 복호된 그림이다. <그림 7(a)>는 일반적인 구문 분석 기반 에러 검출 방법과 에러 은닉 방법(위쪽 매크로 블록의 움직임 벡터를 복사)을 사용하여 복호화 한 그림이며, <그림 7(b)>는 제안된 에러 검출 방법을 사용하여 구문 분석 기반 에러 검출 방법으로 검출되지 않는 에러 매크로 블록의 추가적인 에러 검출과 에러 은닉을 적용하여 복호화한 그림이다. <그림 7(a)>에서 검출되지 않은 에러에 의해 눈에 띄는 블록화된 영역이 나타나는 것을 볼 수 있으며, <그림 7(b)>에서는 이러한 블록화된 영역이 제안된 에러 검출 방법에 의해 현저히 제거되었음을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 에러 검출 성능을 개선하기 위한 연성 워터마크를 사용한 에러 검출 기술을 제안하였다. 제안된 방법의 워터마크는 매크로 블록에서 선택적 블록의 최종적으로 부호화되는 DCT 계수에만 삽입되기 때문에 워터마크 삽입에 따른 화질 열화를 최소화하고 전송 에러를 효과적으로 검출할 수 있도록 하였다. 또한, 제안된 에러 검출 방법은 비디오 비트 스트림에서 추가적인 비트의 요구 없이 강화된 에러 검출 기술로서 적용가능 하기 때문에 매우 효율적으로 사용할 수 있다. 제안된 에러 검출 방법은 무선 채널 환경과 같이 에러에 영향받기 쉬운 영상 통신에서 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

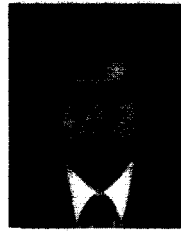
- [1] Raj Talluri, "Error-Resilient Video Coding in the ISO MPEG-4 Standards," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 26, No. 6, pp. 112~119, June 1998.
- [2] Yao Wang, Stephan Wenger, Jiangtao Wen, and Aggelos K. Katsaggelos, "Error Resilient Video Coding Techniques," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 17, No. 4, pp. 61~82, July 2000.
- [3] 임재현, 심혁재, 전병우, "영상 변형 검출을 위한 사용자 Key기반 Fragile 워터마킹", 대한 전자 공학회 논문지, 제 38권 SP편 제 5호, pp. 22~33. 2001, 9월
- [4] M. Wu and B. Liu, "Watermarking for Image Authentication," *Proc. of IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 2, pp. 437~441 October 1998.
- [5] W. Park and B. Jeon, "Error detection and recovery by hiding information into video bitstream using fragile watermarking," *Proceedings of SPIE, Visual Communications and Image Processing 2002*, Vol. 4671, pp. 1~10, 2002.
- [6] Minghua Chen, Yun He, Reginald L. Lagendijk, "Error detection by fragile watermarking," *Proceedings of Picture Coding Symposium 2001*, pp. 287~290, April 2001.
- [7] S. R. Smoot and L. A. Rowe, "Study of DCT coefficient distributions," *Proceedings of SPIE, Symposium on Electronic Imaging*, Vol. 2657, pp. 601~605, January 1996.
- [8] 김승중, 정제창, "주변화소 및 움직임 벡터를 이용한 에러 은닉 기법", 제14회 영상 처리 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 163~18, 2002, 1월
- [9] Wee Sun Lee, M. R. Pickering, M. R. Frater, and J. F. Arnold, "Error resilience in video and multiplexing layers for very low bit-rate video coding systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 9, pp. 1764~1774, Dec. 1997.

저 자 소 개



黃 榮 輝(學生會員)

1997년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 11월 현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정. <주관심 분야 : 영상압축, 멀티미디어 응용>



金 炳 宇(正會員)

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 2월 서울대학교 전자 공학과 졸업(공학석사). 1992년 12월 Purdue Univ, School of Elec. Engr. 졸업(공학박사). 1993년~1997년 8월 삼성전자 신호처리 연구소 수석연구원. 1997년 9월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수. <주관심 분야 : 멀티미디어, 영상 압축, 영상인식, 신호처리>