論文99-36S-12-12

동영상을 위한 새로운 워터마킹 방법

(A New Watermarking Method for Video)

金 德 鈴 *, 朴 成 漢 **

(Dug-Ryung Kim and Sung-Han Park)

요 약

본 논문에서는 group of picture 변화에 강하도록 레이블을 동영상에 내장하는 새로운 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 DCT와 IDCT 과정 없이 화소 영역에서 레이블을 내장하지만 DCT 주파수 영역에서 내장된 레이블을 검출한다. 레이블을 내장할 때 동영상의 품질을 훼손하지 않기 위해서 인간 시각 시스템에 기초한 워터마크의 크기를 구한다. DCT 주파수 영역에서 레이블을 검출할 때 화소 패턴과 DCT 계수의 부호 열 정보를 가지는 lookup table을 이용한다. 중심 극한 이론을 사용하여 MPEG2 부호화된 동영상에서의 레이블 검출 비트 에러율을 분석하고 기존의 방법들과 비교한다.

Abstract

We propose a new watermarking method to embed a label in a video which is robust against the change of the group of picture. The proposed method embeds labels in the pixel domain, but detects the label in the DCT frequency domain. For embedding a label, the size of watermark based on the human visual system is calculated to keep a quality of videos. A lookup table having the pixel patterns and the sequences of a sign of DCT coefficients is used for detecting a label in the DCT frequency domain. In this paper, we analyze bit error rates for labels of videos compressed by MPEG2 using the central limit theorem and compare the simulation results with previous methods.

I. 서 론

디지털 데이터의 고유한 속성으로 정지영상, 동영상 등 디지털 멀티미디어 데이터는 그 품질을 손상시키지 않고 불법적으로 복제하는 것이 가능하다. 이러한 환경으로부터 멀티미디어 데이터를 보호하기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다[1]-[4]. 워터마킹 또는 레이블 내장이란 멀티미디어 데이터 자체에 정보를 내장하는 것으로서 소유권 주장의 근거, 복사 제어 정보 또는 불법 복사를 추적하기 위한 ID 등으로 사용된다[5].

동영상은 정지 영상과 달리 데이터 양이 매우 많으므로 워터마크나 레이블의 내장 및 검출에서 빠른 알고리즘이 요구된다. 특히 DVD 드라이브나 기타 대용량의 저장 매체 입출력 장치 등에서 복사를 제어하는데 사용될 제어 정보의 검출은 실시간 처리의 특성을 가진다[6]. 또한 internet에서 불법 복제된 동영상을 자동 검출하는 web crawler등의 응용 역시 많은 호스트를 검색해야 하므로 빠른 알고리즘이 필요하다.

현재 제안된 방법 중 Mobasseri는 압축되지 않은 동영상을 대상으로 각 프레임의 화소 영역에 spread spectrum방식을 응용하여 워터마킹했으며[7], Darmstaedter

* 正會員, 安山 1大學 電子計算科
(Department of Computer Science, Ansan College)
** 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科
(Department of Computer Science & Engineering, Hanyang University)

※ 본 연구는 정보통신부의 '98 대학 기초연구지원사업에 의하여 수행되었음.
接受日字:1999年6月24日, 수정완료일:1999年12月1日

역시 많은 데이터를 화소 영역에 내장하는 방법을 제안했다[8]. 또한 Swanson은 압축되지 않은 동영상의 각 프레임을 DCT 변환한 후에 DCT 주파수 영역에 워터마킹하는 방법 등을 제안했다[9]. 그러나 이 방법들은 MPEG1, MPEG2, H.261, H.263 등으로 압축된 실제 동영상에서 워터마크를 검출할 때 IDCT와 움직임 보상 등의 과정이 요구된다. 따라서 빠른 워터마크 검출 알고리즘이 필요한 응용에는 사용이 부적합하다. Hartung은 MPEG2 비트 스트림에서 모든 프레임에 워터마킹하는 방법을 제안했다[10]. 그러나 이 방법 역시 내장된 워터마크는 화소 영역에서만 검출되므로 빠른 워터마크 검출이 불가능하다. 이 문제들을 해결하기 위하여 Langelaar는 I 픽처에 레이블을 내장하고 검출하는 방법을 제안했다[11]. 또한 Linnartz는 동영상 데이터 자체에 워터마킹하는 것이 아니라 동영상의 프레임 시퀀스의 코딩 타입 순서를 미리 정의해 놓고 이 순서에 맞게 동영상을 MPEG 부호화하여 워터마킹하는 방법을 제안했다[6]. 그러나 Linnartz와 Langelaar의 방법은 워터마킹된 동영상의 GOP (Group of pictures) 구조를 고의적으로 바꾸기 위해 워터마킹된 동영상을 복호화한 후 다른 MPEG2 부호화기를 사용해서 부호화하면 워터마킹된 정보를 찾지 못하는 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 모든 프레임의 화소 영역에서 레이블을 내장하며, DCT 주파수 영역에서 레이블을 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 이렇게 하면 레이블 내장시 DCT와 IDCT가 필요 없고, 모든 화소 영역에 레이블링하므로 GOP에 강하며 움직임 보상을 하지 않아도 된다. 이를 위하여 1과 0으로 구성된 8×8 크기의 화소 패턴들과 이것을 DCT 변환했을 때 나타나는 DCT 계수의 부호 정보들을 가지는 lookup table을 사용한다. 레이블 검출시에는 MPEG 비트 스트림의 I 픽처에 있는 DCT 계수와 lookup table을 사용한다.

본 논문의 구성은 먼저 2장에서 lookup 테이블을 설명하고 3장에서 워터마크를 내장하는 방법을 4장에서 워터마크를 검출하는 방법을 각각 설명한다. 5장에서는 중심 극한 이론을 이용하여 제안하는 방법의 레이블 비트 에러율을 분석하고 6장에서는 동영상에 제안하는 알고리즘을 적용한 결과를 평가한다. 또한 레이블을 내장한 동영상을 MPEG2로 부호화한 후 DCT 주파수 영역에서 내장된 레이블을 검출한 결과를 기존의 방법들과 비교한다. 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 워터마크 내장을 위한 Lookup 테이블의 작성

본 논문에서는 레이블을 내장하기 위해서 화소 값을 $\triangle I$ 만큼 변화시키고 $\triangle I$의 DCT 계수 $\triangle w$의 부호를 이용하여 레이블을 검출한다. 이를 위해서 화소 값의 변화가 DCT 계수의 부호에 어떻게 반영되는가를 나타내는 lookup table이 요구된다.

MPEG 부호화에 강한 알고리즘을 설계하기 위해서 DCT 계수 중에서 (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (1,2), (2,0), (2,1), (2,2)의 저주파에 워터마킹되도록 화소 패턴들을 구한다. 하나의 8×8 화소 블록을 DCT 해서 얻은 DCT 계수들의 예가 그림 1에 보여진다. 그림 1(a)에서 검은 화소 부분은 블록 전체화소의 평균값보다 큰 부분이며 흰색 화소 부분은 그 반대를 나타낸다. 이를 1과 0으로 각각 표현하면 그림 1(b)와 같은 화소 패턴으로 표현되며 그림 1의 (c)는 그림 1(a)의 DCT 계수이다. 영상의 화소 값이 블록 전체의 평균에 비해 그림 1(a)와 같은 분포를 가지면 각 화소 값의 크기에 관계없이 항상 그림 1(c)와 같은 DCT 계수 부호 열 '++-++---'을 갖는다. 따라서 그림 1(d)의 화소 블록을 원본 영상에 더하면 이것은 DCT 주파수 영역에서 그림 1(c)의 AC DCT 계수 값을 영상의 DCT 계수에 더한 것과 같은 결과이다. 이 변화된 영상의 DCT 계수 값은 그림 1(c)의 AC DCT 계수의 부호에 따라 증가하거나 감소한다.

DCT 주파수 영역에서 상기 저주파수 순서로 8개의 DCT 계수가 표현할 수 있는 DCT 계수 부호 열은 256개가 있다. 따라서 256개의 각각의 DCT 부호 열은 서로 다른 화소 패턴을 갖는다. 표 1은 화소 패턴과 DCT 계수의 부호 열과의 mapping관계를 나타내는 표이다. 여기서 화소 패턴의 각 열은 8 bit 데이터로 mapping 되었으며 DCT 계수 부호열의 '+'는 1로 '-'는 0으로 표현되었고 각각 16진법으로 나타낸다. 예로서 그림 1의 (b) 화소 패턴은 표 1의 DCT 부호 열 216에 해당된다.

50	48	46	45	44	44	45	46
53	51	48	45	44	45	46	47
57	54	50	46	45	45	47	49
59	56	52	47	46	47	49	51
58	56	52	49	47	48	50	51
54	53	51	50	50	50	51	51
48	49	50	51	52	51	51	50
44	46	49	52	53	52	51	50

(a) 8×8의 화소 블록
(a) Block of 8×8 pixels.

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

(b) (c)의 DCT 계수 부호 열에 해당되는 화소 패턴

(b) The pixel pattern for DCT coefficients sign sequence of (c)

395.87	9.94	10.04	0.15	0.12	-0.09	-0.23	0.36
-10.21	9.89	9.82	0.06	0.12	-0.03	0.63	-0.12
-10.14	-9.51	-9.86	0.04	0.68	0.22	-0.21	-0.11
-0.12	0.16	0.13	0.42	0.00	0.34	-0.45	-0.34
-0.12	-0.42	-0.06	-0.45	0.12	0.27	0.16	-0.31
-0.03	-0.25	-0.13	0.02	0.30	-0.2	0.05	0.52
0.00	-0.07	0.03	0.06	0.66	-0.01	-0.13	0.05
-0.54	0.54	-0.12	-0.32	0.27	0.16	-0.34	-0.12

(c) 화소 블록 (a)의 DCT 주파수 계수

(c) DCT frequency coefficients of pixel block (a)

0	-2	-4	-5	-6	-6	-5	-4
3	1	-2	-5	-6	-5	-4	3
7	4	0	-4	-5	-5	-3	-1
9	6	2	-3	-4	-3	-1	1
8	6	2	-1	-3	-2	0	1
4	3	1	0	0	0	1	1
-2	-1	0	1	2	1	1	0
-6	-1	-1	2	3	2	1	0

(d) 8×8의 워터마크 블록

(d) A watermark block of 8×8 pixels

그림 1. 화소 패턴과 해당 DCT 계수 부호열의 예

Fig. 1. The example of a pixel pattern and the corresponding DCT sign sequence.

표 1. 화소 패턴과 DCT 계수 부호 열 lookup table

Table 1. Lookup table of pixel patterns and a sign patterns of DCT coefficients.

화소 패턴	DCT 계수 부호 열
1C, 1E, 1E, FF, FF, FF, 7F, 1F	00
07, 0E, 3C, 3C, 7C, FE, C7, 83	01
1C, 1C, 1F, 1F, 1F, FF, FC, F8	02
⋮	⋮
7F, 3F, 1F, 1E, 1C, 00, C0, E0	27
⋮	⋮
E3, E3, C7, 07, 07, 07, 07, 07	7F
1C, 1C, 38, F8, F8, F8, F8, F8	80
⋮	⋮
80, C0, E0, E1, E3, FF, 3F, 1F	D8
⋮	⋮
E3, E1, E1, 00, 00, 00, 80, E0	FF

Ⅲ. 워터마크 내장 알고리즘

본 논문에서 제안하는 레이블 내장 과정은 그림 2와 같다. 동영상의 모든 프레임 시퀀스에 대해서 각각의 휘도 평면(Y plane)을 구한다. 이 휘도 평면에서 8×8 화소의 크기로 이루어진 기본 블록들이 정의된다. 이 기본 블록들을 행 또는 열로 모아서 레이블 블록을 정의한다. 하나의 레이블 블록마다 0 또는 1 값의 레이블 비트를 내장한다. 따라서 동영상 저작권자의 정보를 표현하는 레이블은 ASCII 코드로서 표현될 수 있다. m번째 레이블 블록에 내장하고자 하는 레이블의 비트 값 L_m이 1 이면 A그룹의 화소 패턴들을, 0 이면 B그룹의 화소 패턴들이 m번째 레이블 블록에 속한 각각의 기본 블록에 어떤 PN-Sequence를 사용하여 하나씩 할당된다. 이때 PN-Sequence는 정보를 저장하는 비밀키로 사용되며 사용된PN-Sequence를 모르는 경우 레이블 검출이 불가능하다. 인간의 시각 시스템에 기초한 영상의 특성에 적합한 (i,j)위치의 화소 값에 대한 워터마크 값 t_{ij}를 휘도 평면의 모든 화소에 대해서 각각 구한다. 영상의 기본 블록에 할당된 화소 패턴의 값이 1 이면 해당되는 화소의 값을 워터마크 값만큼 증가하고, 0 이면 화소의 값을 워터마크 값만큼 감소한다.

다음 그림 3은 이상의 알고리즘을 표현한 슈도 코드이다. 여기서 p_{ij}는 (i,j)위치의 화소 값이며 $\hat{p}_{ij}$은 워터마킹된 화소 값을 의미한다.

이번 장의 1절에서는 A그룹과 B그룹의 화소 패턴 구성과 레이블 부호화 원리를 설명하고 2절에서는 사용되는 워터마크의 최대크기를 휘도 마스킹 특성에 기초하여 구하는 방법을 설명한다.

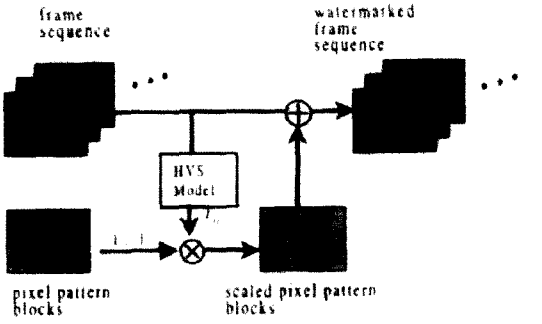

그림 2. 레이블 내장도

Fig. 2. The diagram of label embedding.

```
Procedure Embedding_Label_of_Moving_Picture()
{
    for each frame{
        Getting_Y_Plane(frame)
        for( m=0 to N){    /* each label block */
            Group_ID = Using_PNseq(PN1)
            if(L_m = 1)
                    PixelPattern =Agroup(Group_ID)
            else    PixelPattern =Bgroup(Group_ID)
            for(i=0 to 8){
                    for(j=0 to 8){
                    if( PixelPattern(i,j) = 1)
                            p̂_ij = p_ij + t_ij
                    else    p̂_ij = p_ij - t_ij
                }
            }
        } /* label block*/
    } /* frame */
}
```

그림 3. 동영상 레이블 내장 알고리즘
Fig. 3. Video label embedding algorithm.

1. 레이블 부호화

레이블을 내장할 때 DCT 주파수 영역에서 내장된 레이블을 검출할 수 있도록 2개의 DCT 계수 부호 열의 합이 FF가 되는 DCT 계수 부호 열 쌍 128개를 사용한다. 이 DCT 계수 부호 열 쌍에 각각 그룹 ID를 하나씩 할당하고 각 그룹 ID의 DCT 계수 부호 열 쌍에서 하나를 선택하여 A그룹으로 분류하고 나머지는 B그룹으로 분류한다. 이런 방법으로 생성되는 레이블 내장 lookup table의 개수는 $2^{128}\times$ 128! 이며 표 2는 그 중의 한 예를 보이고 있다.

표 2의 어떤 그룹 ID에 속한 어떤 DCT 계수 부호 열에서 1값에 해당되는 DCT 주파수는 다른 DCT 계수 부호 열에서 0값에 해당되는 DCT 주파수에 대응된다. DCT 계수 부호 열 쌍과 마찬가지로 표 2의 어떤 그룹 ID에 속한 하나의 DCT 계수 부호 열을 생성하는 화소 패턴에서 1값에 해당되는 화소 위치는 다른 화소 패턴에서 0값에 해당되는 화소 위치에 대응되는 것을 알 수 있다. 따라서 PN-Sequence를 사용하여 어떤 그룹 ID를 기본 블록에 할당하고 화소 패턴의 1과 0값을 사용하여 화소를 두 집합으로 나눌 때 두 개의 화소 패턴 중 어떤 것이 사용되어도 나누어진 두 집합에 속한 화소의 위치는 같다. 즉 워터마킹에 사용된 PN-sequence를 알고 있으면 Lookup table에서 사용된 그룹과 관계없이 영상의 화소와 DCT 주파수를 각각 두 집합으로 구분할 수 있다.

제안하는 방법에서는 레이블의 한 비트 값 1을 내장하기 위해서 A그룹의 화소 패턴을, 0을 내장하기 위해서 B그룹의 화소 패턴을 기본 블록에 할당한다. 할당된 화소 패턴 값 1에 대응되는 화소들을 워터마크 값만큼 증가시키고, 0에 대응되는 화소들을 워터마크 값만큼 감소시키면 할당된 화소 패턴에 대응되는 DCT 계수 부호 열의 비트 값이 1에 해당되는 영상의 DCT 계수 값은 증가하고 0에 해당되는 DCT 계수 값은 감소하게 된다. 예를 들면, 표 2의 lookup table을 사용하여 레이블의 한 비트 0을 내장한다. 이때 Pn-Sequence PN1을 이용하여 어떤 기본 블록의 그룹 ID로 39가 할당되고 그림 1(d)의 워터마크 크기가 주어진다고 가정한다. DCT 계수 부호 열은 B그룹의 D8이 선택되고 워터마킹한 결과 그림 1의 (c)에서 볼 수 있듯이 (0,1), (0,2), (1,1), (1,2) 주파수의 영상 DCT 계수 값이 각각 그림 1 (c)의 (0,1), (0,2), (1,1), (1,2) 주파수의 계수 값만큼 증가 되고 나머지 (1,0), (2,0), (2,1), (2,2) 주파수의 계수 값은 감소한다. 반대로 1값을 내장하는 경우에는 A그룹의 27이 선택되어 0값을 내장하는 경우와는 반대로 (0,1), (0,2), (1,1), (1,2) 주파수의 영상 DCT 계수 값은 감소하고 나머지 (1,0), (2,0), (2,1), (2,2) 주파수의 계수 값은 증가한다

표 2. 레이블 내장과 검출을 위한 레이블 내장 lookup table의 한 예
Table 2. An example of label embedding lookup table for labels embedding and detection.

그룹 ID	DCT 계수 부호 열	
	A 그룹	B 그룹
0	00	FF
1	01	FE
2	02	FD
⋮	⋮	⋮
39	27	D8
⋮	⋮	⋮
126	7E	81
127	7F	80

2. 워터마크 크기

각 화소의 값을 변화시키는 워터마크 크기는 워터마킹된 동영상의 품질이 보존되도록 사람의 시각 시스템이 인식할 수 없는 문턱 값을 구해서 사용한다. 이 문턱 값은 영상의 특성에 따라 각 화소마다 다르게 구해진다. 일반적으로 사람의 시각 시스템은 영상이 밝을수록 문턱 값이 커지는 휘도 마스킹 특성이 있다. 이러한 특성을 영상 분할에 적용하기 위해서 Peterson은 다음의 식(1)로 각 화소의 문턱 값을 표현했다[12].

$$s_i = (m \times \overline{p_i}) + d \tag{1}$$

여기서 $\overline{p_i}$는 i번째 화소의 이웃하는 8개의 화소를 평균한 값이며 m은 0.123, d는 4를 사용했다. 화소의 휘도 값이 매우 큰 경우나 매우 작은 경우 휘도 마스킹 특성이 잘 적용되지 않으므로 s_i를 어떤 최대 값과 최소 값의 범위로 한정한 $\overline{s_i}$를 구한다. 또한 Peterson은 영역을 구분하는 문턱 값은 화소를 구분하는 문턱 값보다 작은 것을 표현하기 위해 식(2)처럼 α_i를 곱했으며 0.5를 사용했다.

$$t_i = \alpha_i \times \overline{s_i} \tag{2}$$

본 논문에서는 d를 3으로 사용하며 문턱 값의 최대 값은 20, 최소 값은 10으로 제한한다. 또한 α_i는 영상의 품질이 보존되도록 실험적으로 구한 식 (3)의 값을 사용한다.

$$\alpha_i = \begin{cases} 0.065 & \text{if } V_i \le 2 \\ 0.0325 \times V_i & \text{if } (2 < V_i < 8) \\ 0.26 & \text{if } V_i \ge 8 \end{cases} \tag{3}$$

여기서 V_i는 식 (4)와 같이 영상의 복잡한 정도를 표현한다.

$$V_i = \frac{1}{8} \times \sum_{j=0}^{8} |\overline{p_i} - p_j| \tag{4}$$

여기서 p_j 는 이웃하는 j번째 화소 값을 의미한다. 식 (3)에서 주변 화소 값의 변화가 클수록 α_i값이 커지고 주변 화소 값의 변화가 작을 수록 α_i가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 α_i의 최대 값 0.26은 Peterson이 사용한 값 0.5의 약 1/2에 해당된다. 이것은 영상 블록에서 일부 화소의 크기가 워터마크만큼 증가하고 동시에 같은 블록의 다른 화소의 크기가 감소하므로 워터마킹으로 인한 신호 값의 변화는 대략 워터마크 크기의 두 배가되기 때문이다.

Ⅳ. 레이블 검출

MPEG 비트 스트림에서 양자화된 DCT 계수를 얻기 위해 I 프레임을 선택한 후 가변 길이 복호화를 한다. 양자화된 DCT 계수들을 역 양자화하여 DCT 계수 값들을 얻는다. 레이블을 검출하기 위해서 Pn-sequence PN1을 사용하여 각각의 레이블 블록에 속한 기본 블록에 그룹 ID를 할당한다. 각 기본 블록에 할당된 그룹 ID의 A그룹에 속한 DCT 계수 부호 열의 비트 중 1로 표현되는 DCT 계수는 X집합으로 분류하고 0으로 표현되는 DCT 계수는 Y집합으로 분류한다. 이때 레이블 검출율을 향상시키기 위해서 DCT 계수의 절대값이 어떤 문턱 값 T보다 크지 않도록 식 (5)를 사용하여 매핑한다.

$$\begin{cases} w_{ij} = c_{ij} & \text{if } (|c_{ij}| < T) \\ w_{ij} = sign(c_{ij})\,T & \text{if } (|c_{ij}| \ge T) \end{cases} \tag{5}$$

여기서 c_{ij}는 (i,j) 위치의 DCT 계수를 의미하며 w_{ij}는 레이블 검출에 사용되는 매핑된 DCT 계수이다. 또한 sign(t)는 t가 0보다 크면 1이고 t가 0 보다 작으면 -1 이다.

m번째 레이블 그룹에 1이 내장된 경우에는 A그룹의 워터마크 패턴을 사용했으므로 X집합에 속한 매핑된 DCT 계수의 평균 $\overline{X_m}$가 Y집합에 속한 매핑된 DCT 계수의 평균 $\overline{Y_m}$보다 크게 된다. 또한 0이 내장된 경우에는 B그룹에 속한 워터마크 패턴이 사용되었으므로 X 집합의 DCT 계수의 평균 $\overline{X_m}$가 Y집합에 속한 DCT 계수의 평균 $\overline{Y_m}$보다 작게 된다. 따라서 식(6)을 사용하여 DCT 주파수 영역에서 내장된 레이블의 한 비트를 검출한다.

$$\begin{cases} l_m = 0 & \text{if } \overline{X_m} < \overline{Y_m} \\ l_m = 1 & \text{if } \overline{X_m} \ge \overline{Y_m} \end{cases} \tag{6}$$

여기서 l_m은 어떤 프레임의 m 번째 레이블 블록에 속한 기본 블록의 DCT 주파수 영역에서 검출한 한 비트 값이다.

V. 알고리즘 성능 분석

제안하는 워터마킹 알고리즘으로 레이블을 내장하고 검출할 때 발생되는 레이블 비트 에러율은 다음과 같이 통계학적인 성능 분석이 가능하다. 레이블 블록의 DCT 주파수 영역에서 X 및 Y 집합으로 선택된 각각 n_1및 n_2개의 매핑된 DCT 계수 값의 평균을 식(7), 식(8)과 같이 랜덤변수 $\overline{X}$, $\overline{Y}$로 각각 정의한다. 여기서 w_{ij}는 (i,j) 위치의 매핑된 DCT 계수를 의미한다.

$$\overline{X}=\frac{1}{n_1}\sum w_{ij}\ , \qquad w_{ij}\in X \tag{7}$$

$$\overline{Y}=\frac{1}{n_2}\sum w_{ij}\ , \qquad w_{ij}\in Y \tag{8}$$

X와 Y집합의 DCT 계수들은 같은 레이블 블록에서 선택되므로 중심 극한 정리에 의해서 랜덤변수 $\overline{X}$와 $\overline{Y}$는 식 (9)와 식 (10)의 정규 분포를 가진다[13].

$$\overline{X}\sim N\left(\mu,\frac{\sigma^2}{n_1}\right) \tag{9}$$

$$\overline{Y}\sim N\left(\mu,\frac{\sigma^2}{n_2}\right) \tag{10}$$

이때 레이블 블록의 매핑된 DCT 계수의 평균 μ와 분산 σ^2은 다음과 같이 정의된다.

$$\mu=\frac{1}{n_1+n_2}\sum w_{ij}\ , \qquad w_{ij}\in LB \tag{11}$$

$$\sigma^2=\frac{1}{n_1+n_2-1}\sum(\mu-w_{ij})^2\ , \quad w_{ij}\in LB \tag{12}$$

여기서 LB는 레이블 블록을 의미한다. 이때 워터마킹 알고리즘에 의해 1이 내장된 경우를 살펴보면 기본 블록에 더해진 화소의 워터마크를 DCT했을 때 DCT 주파수 영역에서 X집합에 속하는 DCT 계수는 워터마크의 DCT 계수만큼 증가되고 Y집합에 속하는 DCT 계수는 워터마크의 DCT 계수만큼 감소하므로 $\overline{X}$의 평균은 증가하고 $\overline{Y}$의 평균은 감소한다. 따라서 식(11)과 식(12)는 다음 식(13)과 식(14)가 된다[13].

$$\overline{X}\sim N\left(\mu+K,\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_1}\right) \tag{13}$$

$$\overline{Y}\sim N\left(\mu-K,\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_2}\right) \tag{14}$$

여기서 K와 σ_k^2는 레이블 블록에 포함된 DCT 주파수 영역의 워터마크의 평균과 분산으로서 다음과 같이 정의된다.

$$K=\frac{1}{n_1+n_2}\sum_{i=0}^{n_1+n_2}k_i \tag{15}$$

$$\sigma_k^2=\frac{1}{n_1+n_2-1}\sum_{i=0}^{n_1+n_2-1}(K-k_i)^2 \tag{16}$$

k_i는 워터마킹되는 저주파의 임의의 위치에 해당되는 DCT 주파수 영역의 워터마크 값이다. 선택된 $\overline{X}$와 $\overline{Y}$ 값의 차를 랜덤 변수 W로 정의하면 W는 다음 식(17)의 정규 분포를 가진다.

$$W=\overline{X}-\overline{Y}\sim N\left(2K,\ \frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_1}+\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_2}\right) \tag{17}$$

식(6)의 레이블 검출 알고리즘에서 $\overline{X}$가 $\overline{Y}$보다 큰 경우, 즉 W가 0보다 클 때 1이 내장된 것으로 판단한다. 따라서 W가 0보다 작을 때 에러가 발생하며 확률은 식(18)과 같다[13].

$$P(W<0)=\frac{1}{2}\,erfc\left(\frac{-2K}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_1}+\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_2}}}\right) \tag{18}$$

식 (18)은 1을 내장하고 검출에 실패할 확률을 표현하고 있으며 0을 내장하고 검출에 실패할 확률도 같은 식으로 표현된다. 따라서 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우에 발생할 수 있는 레이블 비트 에러율도 식(18)로 표현될 수 있다.

만약 레이블 블록의 X와 Y집합의 DCT 주파수 계수의 개수가 같다면 $n_1=n_2$가 되고 식(18)은 식(19)로 표현된다.

$$BER=\frac{1}{2}\,erfc\left(\frac{-K}{\sqrt{\frac{\sigma_k^2+\sigma^2}{n_1}}}\right) \tag{19}$$

식 (19)에서 DCT 주파수 영역의 워터마크 평균 K가 크고 레이블 블록에 포함되는 주파수 계수의 개수가 많을수록 비트 에러율이 작아지며 또한 DCT 주파수 영역의 워터마크 분산과 매핑된 DCT 계수의 분산이 작을수록 레이블 비트 에러율이 작아 짐을 알 수 있다. 또한 식 (5)에서 DCT 계수 w_{ij}의 크기를 어떤 문턱값 T로 제한함으로 영상에서 워터마킹에 사용된 매핑

된 DCT 계수 값에 대한 분산 σ^2의 크기가 줄어들고 식(19)에 의해서 BER이 감소됨을 알 수 있다.

VI. 시뮬레이션 결과 및 고찰

352×240 크기의 210 프레임으로 구성된 Football 동영상과 300 프레임으로 구성된 Pingpong 동영상, 352×288 크기의 150 프레임으로 구성된 Miss America 동영상을 시뮬레이션에 사용한다. 그림 4는 레이블을 내장한 Football 동영상의 첫 번째 프레임이다. 그림 5은 레이블 내장에 사용된 워터마크의 크기를 그레이 레벨로 표현한 것이다. 이때 워터마크의 크기가 크면 밝게, 작으면 어둡게 표현한다. 그림 5에서 화소의 휘도 값이 클수록 또한 화소가 속한 영역이 복잡할수록 워터마크의 크기가 큰 것을 알 수 있다. 워터마킹된 동영상 품질에 대한 주관적인 평가 결과 원본과 같음을 확인한다. 워터마킹된 Football과 Pingpong의 PSNR은 35db이상이며 Miss America 동영상의 경우는 PSNR이 43db 이상으로서 워터마킹된 동영상의 품질이 우수함을 알 수 있다.

표 3에서는 Football 동영상에 대해서 레이블 블록의 화소 수를 1408, 2816, 5652로 할 때 임의의 레이블 블록에서 워터마크 내장에 사용되는 DCT 계수[14]에 대한 분산의 분포를 보여준다. 분산 크기를 구간별로 나누고 각 분산 구간에 해당되는 레이블 블록의 개수를 구했다. 표 3과 같은 DCT 계수의 분산 특성을 가지는 Football 동영상에 대해서 레이블 비트 값 0으로만 구성된 레이블을 모든 프레임에 대해서 내장한 후 검출한다. 이때 레이블 내장 lookup 테이블은 표 2의 lookup 테이블을 사용하며 문턱 값 T는 40을 사용한다. 또한 레이블 비트 값 1로만 구성된 레이블을 모든 프레임에 대해서 내장한 후 검출한다. 4개의 서로 다른 Pn-sequence를 각각 사용하여 이런 과정을 반복하여 레이블 비트 에러율을 측정한다. 따라서 레이블 블록의 크기가 1408이고 분산이 1000보다 작은 레이블 블록의 개수는 5756이지만 이 분산 구간에 해당되는 레이블 블록에 대해서 46048번의 실험을 한다. 이 실험 결과가 표 3의 레이블 비트 에러율이다. 여기서 0+은 실험 결과 비트 에러가 발생하지 않은 것을 표시한다. 또한 레이블 블록의 화소수가 5632인 경우 모든 DCT 계수의 분산 구간에서 비트 에러가 측정되지 않았다. 레이블 비트 에러율은 레이블 블록의 화소 수, 즉 DCT 계수의 수가 많을수록, 또한 DCT 계수의 분산이 작을수록 작아진다. 이 실험 결과는 레이블 비트 에러율을 구하는 식(20)이 합당함을 보여준다.

표 4에서는 시뮬레이션에 사용된 Football, Pingpong, Miss America 동영상의 레이블 비트 에러율을 보이고 있다. Miss America 동영상의 레이블 비트 에러율이 Football이나 Pingpong 동영상보다 작다. 이것은 Miss America 동영상의 화면의 복잡도가 Football이나 Pingpong 동영상보다 작으므로 DCT 계수의 분산이 작기 때문이다. 표 4에서도 레이블 블록의 크기가 클수록 비트 에러율이 작아지는 것을 알 수 있다.

그림 4. 레이블이 내장된 Football 동영상의 첫 번째 프레임

Fig. 4. The first frame of Football video with a label.

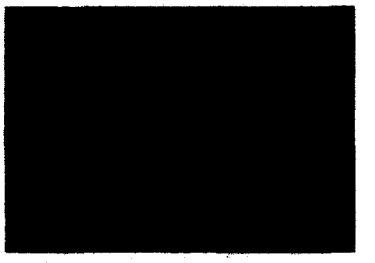

그림 5. Football 동영상의 첫 번째 프레임에 사용된 워터마크

Fig. 5. The used watermark of the first frame of Football video.

제안하는 방법과 기존 방법의 MPEG2 압축에 대한 견고성을 실험하기 위해 한 프레임 당 60비트의 레이블이 내장된 동영상을 초당 25 프레임으로 4Mbps, 2Mbps, 1Mbps, 0.8Mbps의 MPEG 비트율로 각각 부호화 한다. 그림 6은 Darmstaedter, Hartung 그리고 본 논문에서 제안하는 방법으로 Football 동영상에 워터마킹하고 구한 PSNR이다. 여기서 Hartung의 방법은 일

표 3. DCT 주파수 영역에서 레이블 비트 에러율(Football 동영상)

Table 3. Label bit error rates in DCT frequency domain (Football video).

	레이블블록의 화소수(DCT 주파수 계수의 수)			
	1408(176)		2816(352)	
DCT 주파수 계수의 분산	레이블블록의 개수	측정된 비트 에러율	레이블블록의 개수	측정된 비트 에러율
0 - 100	789	0+	249	0+
100 - 200	1253	0+	573	0+
200 - 300	1530	1.63×10^{-4}	971	0+
300 - 400	1644	0+	781	0+
400 - 500	1606	1.48×10^{-3}	760	1.64×10^{-4}
500 - 600	1582	1.90×10^{-3}	766	0+
600 - 700	1504	4.99×10^{-3}	1015	2.34×10^{-3}
700 - 800	1242	1.14×10^{-2}	631	3.96×10^{-4}
800 - 900	857	2.00×10^{-2}	356	1.76×10^{-3}
900 이상	593	4.38×10^{-2}	198	2.53×10^{-3}

표 4. 동영상들의 레이블 비트 에러율

Table 4. Label bit rror rate of videos.

레이블블록의화소수(DCT 주파수 계수의 수)	Football	Pingpong	Miss America
1408(176)	5.59×10^{-3}	4.85×10^{-3}	2.67×10^{-3}
2816(352)	6.15×10^{-4}	1.25×10^{-4}	0+
5632(704)	0+	0+	0+

정한 크기의 워터마크를 모든 프레임에 대해서 저장하므로 PSNR이 모든 프레임에 대해서 42db로 일정하다. Darmstaedter의 방법은 화소 블록의 분산이 작은 조건을 가지는 블록에 대해서만 워터마크를 저장하므로 Football과 같이 복잡한 영상에서는 워터마크를 내장하는 블록의 수가 작아지므로 PSNR이 커진다. 제안하는 방법에서는 영상이 밝을수록 또한 복잡할수록 화소의 워터마크 크기가 커지는 특성 때문에 PSNR이 가장 작게 된다. 이것은 제안하는 방법이 다른 방법들보다 MPEG 압축에 강하다는 증거가 된다.

그림 7은 각각의 방법으로 워터마킹된 동영상 시퀀스의 평균 PSNR이 비슷해지도록 제안하는 방법에서는 워터마크의 크기를 줄이고 Darmstaedter의 방법에서는 워터마크의 크기를 증가시켜서 워터마킹한 football 동영상의 PSNR을 보이고 있다. 그림 8, 그림 9에서는 Football, Pingpong 동영상에 대한 Hartung의 방법과 워터마크의 크기를 증가시킨 Darmstaedter의 방법, 그리고 제안하는 방법에서 최대크기의 워터마크를 사용한 경우와 워터마크의 크기를 작게 한 경우의 레이블 비트 에러율을 각각 보이고 있다. Miss America는 휘도 값이 작으므로 기존의 방법과 제안하는 방법의 PSNR이 비슷하다. 따라서 그림 10의 Miss America에 대한 레이블 비트 에러율에서는 제안하는 방법에서 최대 워터마크를 사용한 결과만 보인다. 그림 8, 그림 9의 제안하는 방법에서 워터마크의 크기를 줄였을 때 레이

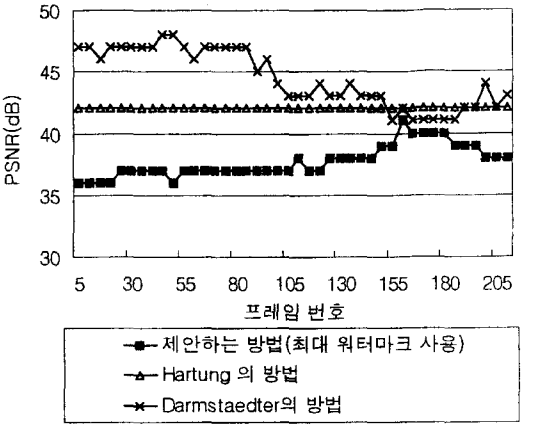

그림 6. 워터마킹 방법에 의한 football 동영상의 PSNR

Fig. 6. PSNR of football video according to watermarking methods.

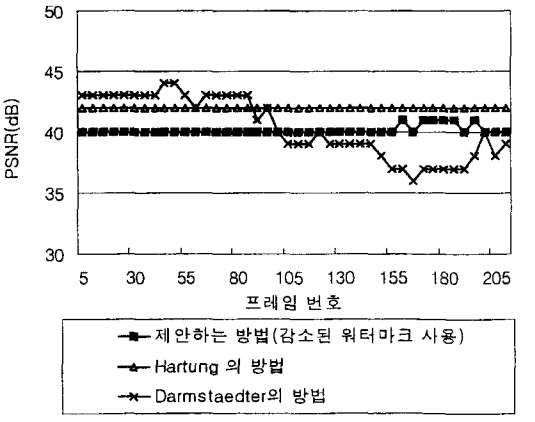

그림 7. 크기가 조절된 워터마크로 인한 PSNR (football 동영상)

Fig. 7. PSNR produced by scaled watermarks (football video).

블 비트 에러율이 증가함을 알 수 있다. 또한 MPEG 부호화 되지 않은 동영상의 레이블 검출율은 기존의 방법이 우수하지만 MPEG 부호화된 경우에는 제안하는 방법에서 워터마크의 크기를 줄인 경우에도 기존의

방법보다 레이블 비트 에러율이 낮다. 특히 Football과 Pingpong 동영상처럼 움직임의 많고 휘도 값이 큰 동영상의 경우에 기존의 방법보다 MPEG 부호화에 견고함을 알 수 있다.

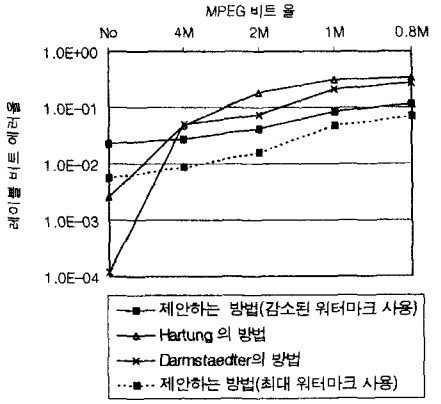

그림 8. 레이블 비트 에러율 비교(Football 동영상)
Fig. 8. The comparison of label bit error rates (Football video).

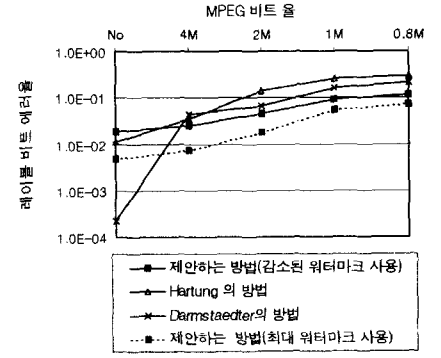

그림 9. 레이블 비트 에러율 비교(Pingpong 동영상)
Fig. 9. The comparison of label bit error rates (Pingpong video).

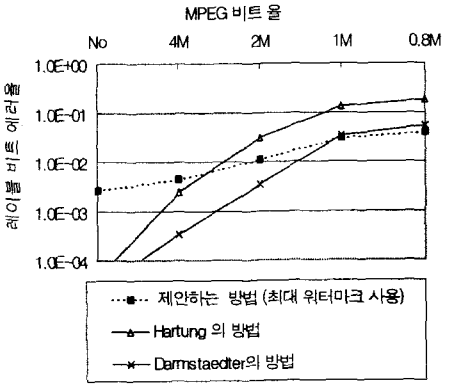

그림 10. 레이블 비트 에러율 비교(Miss America 동영상)
Fig. 10. The comparison of label bit error rates (Miss America video)

일반적으로 워터마킹 시스템에서 어떤 비밀키, 예로서 PN-sequence와 그 비밀키가 사용된 동영상 정보는 워터마크 검출시 반드시 요구된다. 본 논문에서 제안하는 방법에서는 레이블을 검출하기 위해서 워터마킹된 동영상과 사용된 PN-sequence 등의 관계 정보 관리 외에 lookup 테이블의 추가적인 관리가 요구된다. 이때 각각의 워터마킹 시스템에서 모든 동영상에 대해서 하나의 lookup 테이블이 사용된다면 2048 byte의 추가적인 메모리가 요구된다. 이것은 PC나 워크스테이션 환경을 고려해 볼 때 큰 문제가 되지 않는다.

본 논문에서 사용한 인간 시각 시스템 모델은 동영상의 temporal 특성을 고려하지 않은 정지 영상에 기초한 모델이므로 동영상의 특성에 적합한 최대크기의 워터마크를 구하지는 못한다. 그러나 이후에 동영상의 temporal 특성까지 고려된 워터마크의 크기를 빠르게 구하는 연구가 이루어지면 제안하는 동영상 워터마크 알고리즘에 바로 적용될 수 있다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 화소 패턴과 DCT AC 계수의 부호열 정보를 가지는 lookup 테이블을 사용하여 GOP 변화에 강하도록 모든 프레임의 화소 영역에서 레이블을 내장한다. MPEG 부호화된 비트 스트림의 DCT 주파수 영역에서 IDCT, 움직임 보상 절차 없이 레이블을 검출한다. 레이블을 내장할 때 동영상의 품질을 보존하기 위해서 인간 시각 시스템에 기초한 워터마크 크기를 구한다.

중심 극한 이론을 사용하여 제안하는 방법의 성능을 분석한 결과 시뮬레이션 결과와 매우 근사함을 보인다. 또한 레이블을 내장한 동영상을 MPEG2로 압축한 후 제안하는 방법의 레이블 비트 에러율을 기존 방법의 레이블 비트 에러율과 비교하여 제안하는 방법이 기존의 방법들 보다 MPEG 압축에 강함을 보인다.

참 고 문 헌

[1] W. Bender, D. Gruhl and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," *Proc. of SPIE*, pp. 2420-2440, February 1995.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T.

Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *Technical Report 95-10*, NEC Research Institute.

[3] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," *Proc. of IEEE ICIP'96*, pp. 215-218, September 1996.

[4] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Trans. on Selected Areas of Communication*, vol. 16, pp. 525-539, 1988.

[5] J. F. Delaigle, J. M. Boucqueau, J. J. Quisquater and B. Macq, "Digital Images Protection Techniques in a Broadband Framework ; Overview," *Proc. of ECMAST 96 European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques*, pp. 711-728 Louvain la Neuve, Belgium, May 1996.

[6] J.P.M.G. Linnartz and J.C. Talstra, "MPEG PTY-Marks: Cheap Detection of embedded Copyright Data in DVD-Video," *Proc. of ESORICS'98 5'th European Symposium on Research In Computer Security*, Belgium, September 1998.

[7] Bijan G Mobasseri," Direct Sequence Watermarking of Digital Video using m-frames," *Proc. of ICIP'98*, vol. 3, pp. 399-403, Chicago Illinois, October 1998.

[8] V. Darmstaedter, J. F. Delaigle, D. Nicholson and B. Macq," A block based Watermarking and Validation on Real Digital TV Distribution Technique for MPEG2 Signals: Optimization Links, " Proc of ECMAST'98, Berlin, Germany, May 1998.

[9] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu, Benson Chau and Ahumed H. Tewfik, "Multiresolution Video Watermarking using Perceptual Models and Scene Segmentation," *Proc. of ICIP'97* , vol. 2, pp. 558-561, Santa Barbara, CA, October 1997.

[10] Frank Hartung and Bernd Girod, "Digital Watermarking of MPEG2-Coded Video in the Bit Stream Domain," *Proc. of Int. Con. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 4, pp. 2621-2624, April 1997.

[11] Gerrit C. Langelaar, Reginald L, Lagendijk and Jan Biemond, "Real-time Labeling Methods for MPEG Compressed Video," *Proc. of 18'th Symposium on Information Theory in the Benelux*, Veldhoven, The Netherlands, May 1997.

[12] Heidi A. Peterson, S.A. Rajala, and E. J. Delp, "Human Visual System Properties Applied to Image Segmentation For Image Compression," *Proc. of IEEE GLOBECOM*, pp.91-95, Dec. 1991.

[13] G. K. Bhattacharyya and R. A. Johnson, *Statistical Concepts and methods*, Wiley, 1977.

[14] K. R. Rao and P. Yip, Discrete Cosine Transform, Academic Press New York, pp.12, 1990.

저 자 소 개

金 德 鈴(正會員)

1988. 2 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990. 2 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999. 8 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업 (공학박사). 1990. 3~1991. 3 금성사 정보기기연구소 연구원. 1991. 3~1996. 8. 생산기술연구원/전자부품연구소 전임연구원. 1996. 9~현재 안산1대학 전자계산과 조교수. 주 관심분야 : Watermarking, 멀티미디어 통신

朴 成 漢(正會員)

1970 한양대학교 전자공학과 졸업(B. S.). 1973 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(M. S.). 1984 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph. D.). 1974. 3~1978. 8 경북대학교 전자공학과 전임강사. 1984. 5~1984. 8 텍사스 주립대학 Instructor. 1984. 8~1986. 2 금성사 중앙연구소 수석연구원. 1986. 3~현재 한양대학교 전자계산학과 교수. 주 관심분야: 멀티미디어통신, 비디오인덱싱, 영상정보보호