

시청각기록물 관리를 위한 동영상 워터마킹 기술개발

신동환*, 김성진*, 남성운**
테크온팜(주)*, 국가기록원**

Development of the Video Watermarking Technology for the Audiovisual Contents Management

DongHwan Shin*, SungJin Kim*, SungUn Nam**
TechOnPalm Corp.*, National Archives of Korea**

Abstract - 시청각기록물은 기존 문서기록물과 달리 생성한 현장감을 전달할 수 있고 사용자들의 관심을 끌 수 있는 장점이 있다. 그러나 전자시청각기록물은 원본과 똑같은 품질의 사본들이 많이 만들어지게 되어 위변조가 쉽고 불법복제 및 배포가 가능하기 때문에 기록물관리에 주의를 기울여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안들로서 DRM과 워터마킹기술이 주목을 받게 되었다. 본 논문에서는 시청각기록물 중에서 동영상 시청각 기록물에 적용 가능한 워터마킹 기술을 제안한다. 본 논문에서 제시한 워터마킹 기술은 원본영상신호의 복제신호를 추출하여 워터마크 정보를 삽입하는 방법을 취했다. 전자시청각 기록물의 출처확인 및 무단배포에 따른 저작권 권리 추적을 위한 기술로서 다양한 실험을 통하여 가능성을 점검하였다. 원본 신호에서 추출된 신호를 이용하여 워터마크 정보를 삽입하기 때문에 화질훼손이 적고 압축알고리즘에 강인한 특성을 갖고 있다. 실험결과를 통해서 원본보존을 중요시하는 시청각기록물관리 분야에서 적용 가능성을 제시하였다.

1. 서 론

전자 시청각기록물은 크게 오디오, 정지영상, 동영상의 형태로 저장 보관된다. 전통적인 아날로그 매체에 기록된 시청각기록물은 원본의 품질이 가장 좋고 이것을 복제를 통하여 사본을 만들 경우 품질열화가 발생한다. 그러나 시청각기록물이 디지털로 변환되는 순간 더 이상의 품질열화가 발생하지 않고 많은 복제품을 만들 수 있다. 또한 쉽게 위변조가 가능하다. 이러한 특성 때문에 전자 시청각기록물에도 출처를 확인할 수 있고 무단배포에 따른 배포자 추적이 가능한 워터마킹 알고리즘이 관심을 받게 되었다[1].

디지털콘텐츠의 보호를 위한 기술로 크게 DRM(Digital Rights Management)과 워터마킹 기술이 발전되어져 왔다. DRM기술은 디지털 콘텐츠 생산단계에서 암호화하여 유통시키고, 소비단계에서 복호키와 사용권한을 전달하는 구조로 되어져 있으나 복호화과정을 거친 콘텐츠는 보호할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 이러한 단점을 해결하고 DRM기술을 보완할 수 있는 워터마킹 기술이 각광을 받고 있다. 또한 근래의 인터넷 음원시장에서는 DRM을 적용하지 않고 배포하는 정책을 취하는 사례가 있어서 워터마킹 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 워터마킹 기술은 적용되는 응용분야에 따라서 다양한 기술이 적용, 발전해왔다. 워터마킹 기술은 적용되는 분야의 특성을 분석하고 이에 적합한 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다[5][6].

본 논문에서는 시청각기록물 중에서 동영상 시청각 기록물에 적용 가능한 동영상 워터마킹 기술을 제안한다. 현재 국가기록원에서 동영상 시청각 기록물을 보전하기 위해서 보통의 경우 SD급으로 MPEG2로 압축하며 해상도가 720*480픽셀이고 압축률은 약 5~6Mb ps정도를 유지하고 있다.

워터마크 구성은 시청각물 콘텐츠 ID로 64비트, 에러검출을 위한 CRC(Cyclic Redundancy Check)코드가 16비트로 이루어져 전체 80비트로 구성된다. 워터마크 정보는 일정시간 단위로 주기적으로 반복하여 삽입한다.

워터마크 삽입은 동영상 매 프레임 데이터의 공간영역에서 이루어진다. 워터마크 삽입 순서는 먼저 영상을 2개의 영역으로 분리한다. 2개 영역의 특성값 F값을 정의하고 이 특성값이 일정한 범위를 유지하도록 2개의 영역의 픽셀값을 변화시킨다. 이때 특성값을 추출하기 위한 데이터 영역의 선정방식은 영상왜곡은 심하게 발생하지 않으면서도 압축과 신호처리에도 특성값의 변화가 작은 특징이 있는 영역을 선택해야 한다. 본 논문에서는 웨이블릿 필터에 의해서

수평영역과 수직영역의 데이터 성분을 구하고 여기에 워터마크 정보를 삽입한다. 저주파 부분은 영상왜곡이 심하고 고주파 부분은 압축에 약한 성질이 있어서 사용하지 않는다.

워터마크 추출은 삽입방법과 동일한 영역을 선택하고 동일한 방법으로 특성값을 추출하여 워터마크 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 원본 영상의 화질 훼손을 최소화하면서도 압축에 강인한 특성을 나타내고 있어서 전자시청각기록물의 관리에 적합한 특성을 나타내고 있다.

2. 본 론

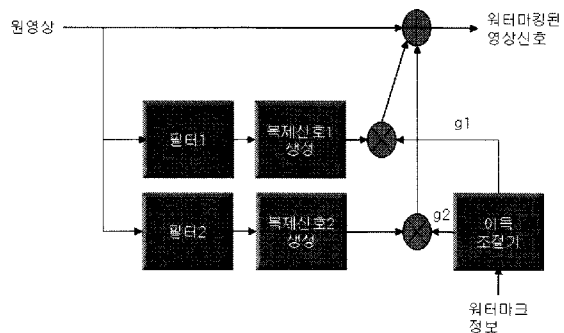
2.1 워터마크 삽입

본 논문에서 제안된 비디오 워터마크 삽입은 동영상의 공간영역 매 프레임에 정보를 삽입한다. 먼저 동영상의 이미지를 YUV로 변환하고 여기서 Y영역에 워터마크를 삽입한다. RGB에서 YUV로의 변환공식은 식1을 이용했다.

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ U = -0.169R - 0.332G + 0.5B \\ V = 0.5R - 0.419G - 0.813B \end{cases} \quad (1)$$

Y영역의 데이터는 영상의 휘도성분을 나타내고 컬러정보를 나타내는 U,V영역보다 데이터 압축시에 정보량이 더 많이 보존되는 특성을 이용하기 위해서 Y영역에 정보를 삽입했다.

워터마크 삽입은 그림1과 같이 원영상을 필터링을 이용하여 원신호와 유사성이 높은 복제신호를 만든다. 이와 같이 하는 이유는 워터마크 삽입에 따른 잡음유입을 최소화하고 압축에 강인한 성질을 이용하기 위함이다. 본 논문에서는 2개 영역의 복제신호를 생성해서 이 복제신호의 특성값을 추출하고 추출된 특성값이 일정한 범위를 유지하도록 복제신호에 곱해지는 이득값(g1,g2)값들을 조정하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크가 삽입된 복제신호는 원영상에 합산되어 워터마크된 영상신호를 생성한다. 이때 워터마크 정보를 유지하기 위해서는 복제신호들 간의 상관도(correlation ratio)가 작아야 한다. 본 논문에서는 웨이블릿 필터[2][3]를 사용하여 복제신호를 생성한다. 복제신호는 원영상의 수평성분과 수직성분의 데이터를 이용한다. 저주파 부분은 영상왜곡이 심하고 고주파 부분은 압축에 약한 성질이 있어서 사용하지 않았다.



<그림 1> 워터마크 삽입 블록도

식2는 워터마크 생성을 나타내는 식으로서 $\tilde{S}(s)$ 는 워터마크가 삽입된 영상신호, $S(s)$ 는 원영상 신호, g_i 는 이득정보, $r_i(s)$ 는 복제신호를 나타낸다. 식3은 복제신호를 필터링에 의해서 생성하는 과정을 나타낸다. h 가 필터계수를 나타낸다.

$$\tilde{S}(s) = S(s) + \sum_i g_i \cdot r_i(s) \quad (2)$$

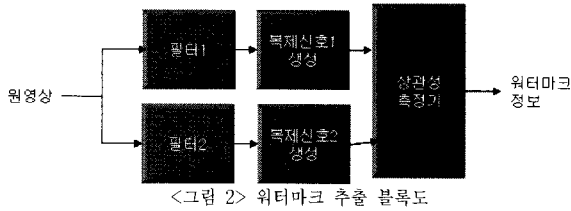
$$r_i(s) = \sum_{\tau} S(s)h(s - \tau) \quad (3)$$

워터마크 정보는 복제신호의 특성값(F)을 계산하고 이 두 개의 특성값들의 상관성이 일정 범위에 들도록 이득값을 조정하여 삽입한다. 본 연구에서의 특성값은 신호성분의 제곱합(sum of square)을 이용하였고 상관성 정보는 식4를 이용하여 구한다.

$$C = (F_1 - F_2) / (F_1 + F_2) \quad (4)$$

2.2 워터마크 검출

워터마크 추출 순서를 그림2에 표시했다. 추출은 삽입방법과 같은 방법에 의해서 복제신호를 생성하고 생성된 복제신호들 간의 상관성을 조사하여 워터마크를 검출한다.



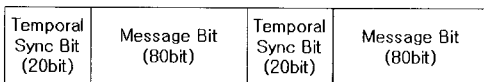
Q_0 과 Q_1 는 각각이 워터마크 정보 0, 1을 나타내는 양자화 값들의 집합을 표시한다. 사용된 값들은 식5와 같다. 양자화 값들의 간격을 좁게 하면 워터마크 삽입강도가 낮아지게 되고 화질은 좋아지나 공격에 약한 성질을 갖게 된다.

$$\begin{aligned} Q_0 &= \{-0.25, 0.75\} \\ Q_1 &= \{-0.75, 0.25\} \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 워터마크 구조

워터마크 정보는 1프레임에 1비트를 삽입한다. 일반적으로 시간에 따라 변하는 콘텐츠(예: 오디오, 비디오 등)에 워터마크 정보를 삽입하는 경우에는 추출과정에서 어느 순간부터 워터마크 정보가 삽입되어 있는지 알기 위해서 시간축 동기를 맞춰야 한다. 이를 위해서 콘텐츠에 삽입하는 워터마크에 일정한 주기로 반복적인 시간축 동기정보를 삽입한다.

워터마크 정보는 일정한 주기로 반복해서 삽입한다. 본 논문에서 사용된 워터마크 구조는 그림3과 같다. 메시지 비트는 총 80비트로 구성되며 64비트의 워터마크 정보와 CRC 정보 16비트로 구성된다. 프레임 가변에 대처하기 위해서 같은 정보를 연속3개 프레임에 삽입한다. 즉 1초에 10비트를 삽입한다.



————— 시간흐름에 따른 영상의 프레임 진행방향
<그림 3> 워터마크 정보 구성

3. 실험 결과

3.1 실험종류 및 방법

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 크게 2가지로 평가실험을 진행한다. 워터마크 삽입에 따른 화질평가와 다양한 공격에도 워터마크 정보가 추

출되는 정도를 측정하여 공격에 대한 강인성을 테스트한다. 표1에 다양한 공격과 이에 대한 시험방법을 설명하고 있다.

<표 1> 공격종류 및 시험방법

종류	세부내용
압축	압축에 대한 강인성 시험. MPEG2, MPEG4, H.264로 동영상을 압축한 후 워터마크 검출시험
필터링	여러종류의 필터링(Low pass, Median, Wiener etc)을 처리한 후 워터마크 검출시험
Cropping	전체 영상의 80%로 Cropping한 후 워터마크 검출시험
잡음첨가	Gaussian Noise를 첨가한 후 워터마크 검출시험

3.2 화질평가

워터마크 정보는 사람이 인식할 수 없도록 정보를 삽입하는 것이 필요하다. 더욱이 국가기록원의 시청각기록물은 자료 보관으로서의 기능이 우선되기 때문에 화질평가는 중요한 요소가 된다. 본 논문에서는 객관적인 화질평가 방법으로 아래 6식과 같이 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)방식을 이용하였다.

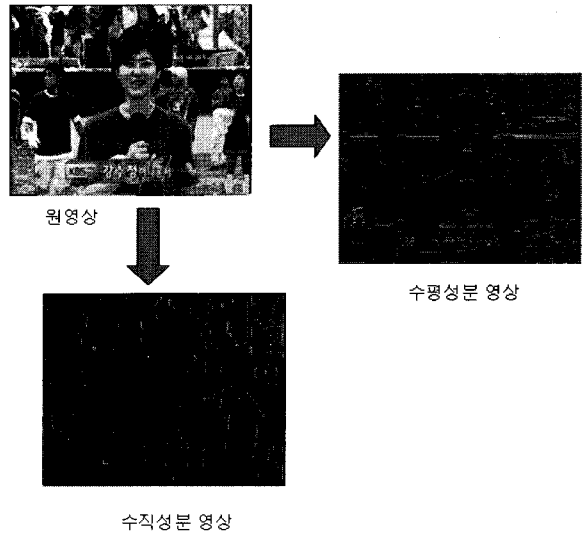
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(255^2)}{MSE} \quad (6)$$

여기서, $MSE = \frac{1}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \{ \tilde{S}(n,m) - S(n,m) \}^2$

시험동영상	sample1	sample2	sample3
PSNR	48±8.2dB	47±10.7dB	48±5.3dB

전체 동영상 프레임에 대한 PSNR을 구하고 이것의 평균값과 표준편차 값을 동시에 표시했다. sample1은 움직임이 작고, sample2는 움직임이 중간 sample3는 움직임이 심한 영상을 선택했다. PSNR평균 모두 40dB를 넘고 있기 때문에 화질손상을 인식하기 어려울 것으로 판단된다.

그림4는 샘플 동영상의 실험 예를 보여주고 있다. 원영상을 haar웨이브렛 필터를 이용해서 수평성분 영상신호와 수직성분 복제영상신호를 생성한 예를 보여 주고 있다.



<그림4> 샘플영상의 복제영상신호 생성

3.3 강인성 평가

워터마크의 강인성 실험을 위해서 3가지 동영상 샘플데이터에 대해서 다양한 공격에 대해서 발생하는 검출오류율(BER: Bit Error Rate)을 측정하여 평가하였다. 시험결과를 표2에 나타냈다.

압축은 MPEG2, 5Mbps로 압축을 한 후에 워터마크가 검출되는가에 대해서 실험한 결과이다.

필터링은 많이 사용하고 있는 필터를 위주로 시험을 진행했다. 보통 잡음

제거를 위해서 많이 사용하는 저역필터(Low Pass Filter), 솔트 앤 페퍼(Salt and Pepper)잡음을 제거하기 위한 매디안(Median)필터, 신호특성을 분석하여 처리하는 위너(Weiner)필터를 이용해서 처리한 후 워터마크 검출 시험을 실시했다.

잡음첨가 실험은 가우시안 백색잡음(Gaussian white noise)으로 평균이 0 이고 분산이 1인 정규분포를 갖는 난수에 잡음강도 7.07를 곱하여 잡음을 발생시켰다. 잡음을 첨가했을 때 PSNR값이 31.6dB를 나타내는 강도로 삽입되었다.

잘라내기(Cropping) 공격은 비디오의 일부분만을 편집하여 배포하는 경우를 예상하고 잘라진 동영상에서도 워터마크가 검출되는지 시험하였다. 전체 영상의 25%(360*240픽셀)를 잘라낸 상태에서 워터마크 검출시험을 실시하였다.

<표 2> 공격에 대한 검출오류율(BER, %, 오류비트수/전체비트수)

시험종류	Sample1	Sample2	Sample3	평균
MPEG2, 5Mbps	0(0/308)	1.3(4/305)	0.7(2/303)	0.7
저역필터링	0(0/308)	0.3(1/305)	0(0/303)	0.1
Median Filter	4.9(15/308)	6.5(20/305)	6.3(19/303)	5.9
Weiner Filter	0(0/308)	0.7(2/305)	0(0/303)	0.2
Cropping	0(22/308)	1.0(3/305)	0.6(2/303)	0.5
잡음첨가	3.9(12/308)	4.3(13 /305)	4.1(12 /303)	4.1

실험결과를 살펴보면 압축, 저역필터, 위너필터, 잡음첨가 등에서는 비교적 낮은 수준의 검출오류율을 나타내고 있다. 가장 큰 오류인 Median필터 공격에 대해서도 평균 5.9%의 검출오류는 충분히 극복할 수 있는 수준이다. 오류정정코드를 사용하는 경우 약 30%정도의 검출오류도 복구할 수 있다. 전체적인 시험결과는 시청각기록물의 출처확인, 무단 배포자 추적, 저작권 주장과 같은 분야에 적용 가능한 결과를 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 시청각기록물 중에서 동영상 시청각 기록물에 적용 가능한 워터마킹 기술을 제안한다. 워터마크 삽입은 동영상 매프레임 데이터의 공간영역에서 이루어진다. 본 논문에서는 2개 영역의 복제신호를 생성해서 이 복제신호의 특성값을 추출하고 추출된 특성값이 일정한 범위를 유지하도록 복제신호에 곱해지는 이득값(g1,g2)값들을 조정하여 워터마크를 삽입한다. 원본 신호에서 추출된 신호를 이용하여 워터마크 정보를 삽입하기 때문에 화질훼손이 적고 압축알고리즘에 강인한 특성을 갖고 있다. 실험결과를 살펴보면 압축, 저역필터, 위너필터, 잡음첨가 등에서는 비교적 낮은 수준의 검출오류율을 나타내고 있다. Median필터 공격에 대해서도 평균 5.9%의 검출오류는 충분히 극복할 수 있는 수준이다.

실험결과를 통해서 원본보존을 중요시하는 시청각기록물관리 분야에서 적용 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송병호, "진본성 확보를 위한 전자기록물 관리방안", 한국비블리아학회지, 제16권, 제2호, pp.43-59, 2005.
- [2] A. Graps, "An Introduction to Wavelets", IEEE Computational Science and Engineering, vol. 2, no. 2, pp.50-61, 1995.
- [3] W. H. Press, et. al., Numerical Recipes in C: the Art of Scientific Computing, 2nd, ed., pp.591-606, Cambridge University Press, 1992.
- [4] 김종안,김진한,박훈규,서태석, "디지털미디어 서비스플랫폼 콘텐츠의 불법 유통 추적시스템 개발", KNOM Conference, 2008.
- [5] R. Petrovic, "Audio signal watermarking based on replica modulation", TELSILKS 2001. 5th International Conference on Volume:1, pp.227-234, 2001.
- [6] 박영일, 김석태, "웨이브렛 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹", 한국통신학회논문지, vol.33, no. 1, pp.62-67, Jan., 2008.

Acknowledgments

본 연구는 행정안전부 국가기록원의 지원을 받아 기록물 보존기술 연구개발(R&D) 사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.