

양자화된 차분에너지 워터마킹 기법

유원영⁰ 이승욱 오원근
한국전자통신연구원
{zero2⁰, tajinet, owg}@etri.re.kr

Quantized Differential Energy Watermarking Technology

Won-Young Yoo⁰, Seung-Wook Lee, Weon-Geun Oh
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 MPEG 비디오를 위한 양자화된 차분 에너지 워터마킹(QDEW) 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 블록의 고주파 성분인 DCT 계수를 선택적으로 제거함으로써 워터마크를 삽입하는 방식이다. 특히 제안된 방법은 기존의 차분 에너지 워터마킹(DEW)의 단순비교방식과 다르게 양자화단위로 에너지 크기를 비교함으로써 큰 범위의 에너지가 차이날 때 발생하는 다량의 주파수제거 문제를 해결하여 화질의 열화를 방지하고 삽입되는 워터마크의 용량을 증가시켰다. 그리고 DCT계수를 제거하는 것으로만 워터마크를 삽입할 수 있기 때문에 재인코딩 과정없이 MPEG스트림에서 직접 워터마크를 삽입할 수 있는 장점이 있다.

1. 서 론

최근 디지털 콘텐츠의 활용이 증가되면서 콘텐츠를 보호하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 콘텐츠를 보호하기 위해서 전자서명과 암호화와 같은 방식을 사용할 수 있지만 이러한 방법들은 인증된 사용자에 의해서 불법적으로 이용될 때 보호할 수 있는 방법이 없다. 이러한 단점을 보호하고자 워터마킹이 연구되었으며 응용분야에 따라 다양한 알고리즘들이 개발되고 있다. 특히 비디오를 처리하는 응용분야에서는 정지영상의 워터마크와는 다르게 실시간성이 중요한 요소로 고려되기 때문에 알고리즘의 단순성과 수행속도의 개선측면에서 연구되는 추세이다.

이러한 목적을 위해 제안된 기존의 비디오 워터마킹 방법들은 DCT와 웨이블릿등 압축형식에 기반해서 수행하는 알고리즘들이 제안되었다. 본 논문에서는 비디오의 압축방법으로 많이 사용되는 MPEG의 DCT기반의 워터마킹기법들을 살펴보고자 한다.

먼저 Hartung은 Cox의 주파수 확산기법들 8*8블록의 DCT영역에 이용하여 견고한 워터마크 알고리즘을 제안하였다[1]. 그러나 MPEG 스트림의 VLC의 증가여부에 따라 워터마크 삽입 유무가 결정되고 신뢰할 수 있는 워터마크를 위해서는 1비트당 충분한 삽입영역이 확보되어야 하는 단점이 있다. 또한 Langelaar는 이웃 블록들의 에너지의 크기관계를 이용한 DEW(Differential Energy Watermarking) 알고리즘을 제안하였다[2]. 이는 고주파성분의 DCT 계수를 제거하기 때문에 비디오 압축시 문제가 되는 VLC의 증가문제를 해결할 수 있다. 또한 워터마크를 삽입하거나 검출하기 위해서 디코딩과 인코딩을 하지 않기 때문에 실시간 처리를 위한 비디오의 워터마킹의

요구조건을 충족한다. 하지만 이 알고리즘은 워터마크를 삽입하기 위해서 이웃 블록간의 에너지 대소관계를 강제로 조정하기 때문에 화질열화에 영향을 줄 수 있다. 즉 이웃하는 단위블록에서 에너지 차이가 클 경우 워터마크를 삽입하기 위해서 에너지의 대소관계 조절은 많은 양의 고주파성분을 제거할 뿐만 아니라 저주파 성분까지 제거하여 비인식성에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 물론 이를 최소화하기 위해 Langelaar는 대소비교를 하는 단위블록을 16개 이상의 매크로블록을 묶어 사용하였다. 하지만 이러한 개선에도 불구하고 영상에 따라 발생하는 큰 에너지 차이를 갖는 이웃 블록들 사이의 문제는 해결하지 못하게 된다. 그리고 몇 개의 매크로블록을 묶어 비교하기 때문에 삽입되는 정보량은 그만큼 감소하게 된다.

본 논문에서 DEW 알고리즘의 문제점을 보완한 QDEW(Quantized DEW) 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘은 DEW 알고리즘의 이점인 MPEG비디오 스트림에서 바로 적용할 수 있고 실시간 워터마킹에 적합하다는 장점 이외에도 에너지 차이가 큰 이웃 블록들간의 문제를 해결하였다. 또한 매크로블록당 1비트의 정보를 삽입할 수 있기 때문에 삽입되는 정보량도 크게 증가되었다.

2절에서 본 논문에서 제안하는 QDEW 알고리즘을 소개하고 3절에서 실험결과를 고찰해 본다. 마지막으로 5절에는 제안된 알고리즘의 결론 및 향후연구방향에 대해서 언급할 것이다.

2. QDEW 알고리즘

제안된 QDEW 알고리즘은 에너지의 대소관계를 양자

화 단위로 비교하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 먼저 이를 위해 8*8블록의 에너지를 다음과 같이 정의한다.

$$E = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 |F_{ij}| \quad (1)$$

여기서 F_{ij} 는 블록에서 DCT계수를 의미한다. 그리고 비밀키에 의해서 각 매크로블록의 블록들을 2개의 블록씩 묶어 2종류(A, B)의 블록으로 나눈다. 각 블록의 에너지의 합을 E_A 와 E_B 라 정의하자. 삽입정보에 의해서 E_A 보다 E_B 를 크게 만든다고 가정하면 E_A 의 고주파 성분을 제거하여 영상의 가시성을 손상하지 않으면서 E_A 를 E_B 보다 작게 만들 수 있다.

그러나 E_A 의 변경되는 에너지량이 상대적으로 크다면 화질열화의 문제를 야기시킨다. 즉 E_A 를 감소하기 위해 제거되는 주파수 성분은 고주파 성분뿐 아니라 저주파 성분까지도 제거되기 때문이다. 이러한 문제는 워터마크의 요구 조건인 비인자성에 영향을 준다. 이러한 문제를 해결하고자 본 논문은 에너지의 차이를 비교할 때 단순 대소비교가 아닌 양자화된 단위의 상대비교를 제안한다.

$$E \equiv E \pm n\Delta \quad (2)$$

먼저 식 (2)와 같이 양자화 단위(Δ)만큼 차이가 있는 에너지들을 같은 크기의 등위에너지로 정의하였다. 여기서 n 은 정수배를 의미한다. 이렇게 정의된 등위에너지에 기반하여 상대적으로 에너지 대소를 비교하면 큰 범위의 비교를 위해 작은 양의 감소로도 에너지의 대소관계를 조절할 수 있다. 이러한 상대적인 비교는 큰 에너지를 변경할 때 발생하는 화질열화 문제를 해결할 수 있다.

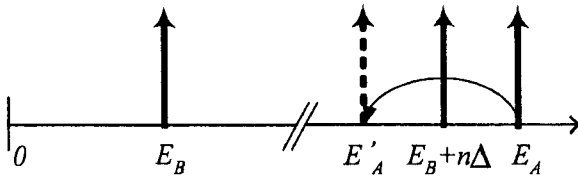


그림 1. 양자화 단위를 이용한 에너지 변환

그림 1은 E_A 를 조절하여 E_B 보다 작게 만든 예이다. 작은 양만 변경된 E'_A 는 E_B 보다 크지만 식(2)에서 정의한 E_B 의 등위에너지($E_B + n\Delta$)보다 작게되어 E'_A 가 작게 인식된다.

식 (2)에서 정의한 등위에너지 개념을 이용하여 상대적인 대소관계를 올바르게 판별하기 위해선 양자화된 두 에너지의 차이는 $\Delta/2$ 범위 내에서 존재하여야 한다. 이를 설명하기 위해서 두 에너지의 차이값(D)을 다음과 같이 정의하자.

$$D = (E_A - E_B)\% \Delta \quad (3)$$

여기서 %연산은 양자화 단위크기(Δ)로 나눈 나머지를 의미한다.

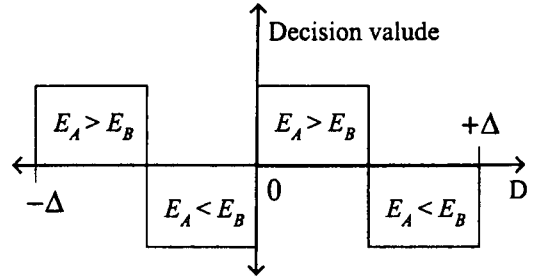


그림 2. D 값에 따른 에너지 대소비교

그림 2는 양자화된 두 에너지의 차이값(D)에 따른 상대적인 대소관계를 나타낸 것이다. 이는 식 (2)에서 정의한 등위에너지 관계를 생각하면 쉽게 유추할 수 있다. 만약 두 에너지의 차이가 $\Delta/2$ 범위 내에서 존재하지 않으면 부호가 같은 크기관계로 결정될 수 있다.

만약 외부의 공격에 의해서 작은 에너지의 변동으로 에너지 차이(D)가 $\Delta/2$ 범위 밖에 존재한다면 이는 다시 다른 등위에너지와 $\Delta/2$ 범위 내에 존재하게 되어 상대적인 비교의 오류를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고 상대적인 비교를 하기 위해서는 에너지를 조절할 때 변경 후 에너지의 차이를 $\Delta/4$ 크기로 유지해야 한다. 이는 에너지의 크기가 조절된 후(워터마크가 삽입된 후) 외부의 공격으로 인한 에너지의 변동으로 워터마크를 검출에 영향을 최대한 받지 않기 위해서다.

2.1 워터마크의 삽입

앞 절에서 제안한 양자화된 상대적인 비교방법을 이용하여 매크로블록당 1비트의 정보를 삽입할 수 있다. 먼저 비밀키에 의해서 임의의 위치의 매크로블록을 선택한 후 다음과 같은 조건을 만족하도록 워터마크를 삽입한다.

$$\begin{aligned} \text{if } (s = 1) & \quad \text{discrease } E_A \text{ by QDEW} \\ \text{else} & \quad \text{discrease } E_B \text{ by QDEW} \end{aligned} \quad (4)$$

즉 삽입신호(s)가 1이면 블록B의 에너지인 E_B 가 크도록 E_A 를 감소하고, 삽입신호가 0이면 E_A 가 크도록 E_B 를 감소하여 에너지를 조절한다. 에너지를 감소할 때 앞에서 언급한 양자화된 등위에너지의 비교방법을 이용해서 감소한다.

2.2 워터마크의 검출

워터마크의 검출은 삽입과정에서 사용한 대소조건만을 비교하면 쉽고 빠르게 삽입정보를 검출할 수 있다. 즉 양자화된 두 에너지의 차이값(D)은 그림 2에서 언급한 것처럼 대소관계를 유지한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if}((D < -\Delta/2) \cup (0 < D < \Delta/2)) \\
 & \quad s = 0 \\
 & \text{else if}((-\Delta/2 < D < 0) \cup (D > \Delta/2)) \quad (5) \\
 & \quad s = 1 \\
 & \text{else} \quad \text{Not detect}
 \end{aligned}$$

식 (5)와 같이 두 에너지의 차이값(D)을 양자화 단위로 비교해 봄으로써 삽입된 워터마크를 검출할 수 있다.

3. 실험 및 고찰

제안된 알고리즘의 실험결과를 비교하기 위해 Check-Mark에서 제공하는 5장의 정지영상(288*192, 500*470, 500*375, 512*512, 500*478)을 실험영상으로 사용하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 검출성과 비인식성을 평가하기 위해서 유사도(Similarity)와 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 측정하였다. 그리고 CheckMark에서 제공되는 383가지의 다양한 공격을 한후 유사도를 측정하였다. 또한 다른 비밀키와의 비인식성을 측정하기 위해서 1000개의 다른 키값에 대해서도 유사도를 측정하였다.

다음은 각 영상에 대해서 다른 길이의 워터마크 정보를 삽입했을 때 얻어지는 유사도와 PSNR의 결과값이다.

표 1. 삽입정보량에 따른 유사도와 PSNR

QDEW DEW	Image 1		Image 2		Image 3		Image 4		Image 5	
	Sim.	PSNR	Sim.	PSNR	Sim.	PSNR	Sim.	PSNR	Sim.	PSNR
100 bit	.99	37	1	38	1	39	1	38	1	38
200 bit	.85	38	1	38	.99	39	1	38	1	38
400 bit	.75	33	.94	42	.99	40	.73	45	1	36
800 bit			1	38	.84	41	.99	39	1	38
			.72	42	.86	41	.54	46	.96	36
			.95	39			.97	38	.94	38
			.43	42			.23	46	.85	36

유사도는 원래의 워터마크 신호와 검출된 신호와의 상관관계 계수이고, PSNR은 원영상과 워터마크 삽입영상 사이의 최대신호대 잡음비(dB)이다.

표1에서 제안된 QDEW은 DEW보다 유사도가 높다. 특히 삽입 비트량이 증가할수록 상대적으로 높아 대용량의 워터마크 삽입 후 검출에 유리함을 알 수 있다. 또한 PSNR값은 다소 낮으나 일반적인 요구수준인 35dB 이상을 얻을 수 있다. 제안된 QDEW는 Δ/4 이상의 차이로 삽입되기 때문에 다소 낮은 PSNR값을 갖더라도 DEW에 보다 다양한 공격에 강인하였다.

그림 3는 CheckMark에서 제공되는 다양한 공격에 대한 두 알고리즘의 유사도 비교이다. 결과에서 알 수 있듯이 두 알고리즘 모두 RST(Rotation Scale Translation)이 가미된 공격에서는 취약하지만 압축과 제거, 그리고 약간의 이동공격에는 강한 성격을 보였다. 특히 공격에 견고한 부분에서는 제안된 알고리즘의 유사도가 더 높음을 알 수 있다.

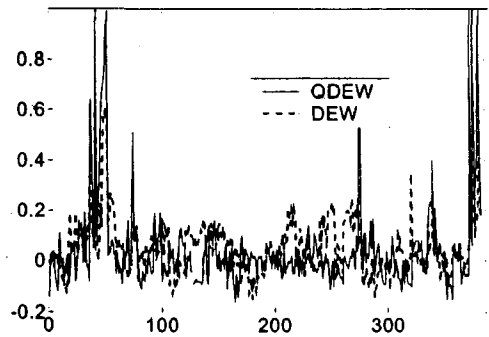


그림 3. 383가지 공격에 대한 워터마크의 유사도

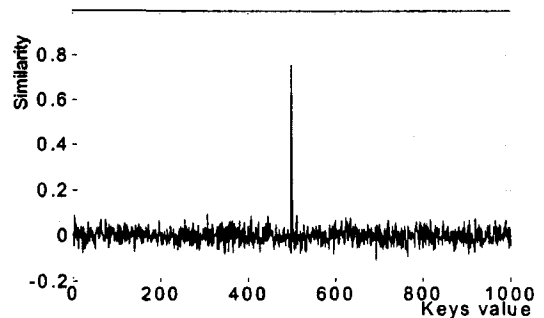


그림 4. 다른 1000개의 비밀키에 대한 유사도

그림 4는 비밀성 측정을 위해 1000개의 다른 비밀키에 의해 검출된 워터마크의 유사도를 측정한 결과이다.

실험결과에서 알 수 있듯이 제안된 QDEW 알고리즘은 검출성, 비인식성, 강인성, 대용량성에서 DEW보다 우수함을 알 수 있었다. 또한 압축 스트리밍을 기반으로 워터마크를 삽입하고 검출하기 때문에 실시간성이 우수하다.

4. 결론

본 논문에서는 비디오의 압축 형태인 DCT기반의 알고리즘을 제안하였다. 제안된 QDEW 알고리즘은 양자화된 단위를 이용하여 에너지의 차이의 대소관계를 비교하여 워터마크를 삽입하고 검출함으로써 기존의 DEW방식보다 비인식성을 높이면서 삽입용량을 크게 증가하였다. 또한 알고리즘이 압축영역에서 수행되기 때문에 실시간성이 우수하다. 향후 우리는 알고리즘의 최적화와 다단계 워터마크 삽입기법을 통해서 MPEG비디오에 적용할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] F. Hartung and B. Girod, " Digital watermarking of MPEG2 coded video in the bitstream domain," *Proc. of Int. Conf. ASSP' 97*, vol. 4, pp.2621-2624
- [2] G. C. Langelaar and R. L. Lagendijk, " Optimal Differential Energy Watermarking of DCT Encoded Images and Video," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, no. 1, Jan. 2001.