

대역 확산을 이용한 디지털 비디오 워터마킹에 대한 고찰

손윤경*, 박지환**

*부경대학교 교육대학원 전산교육전공

**부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Note on Digital Video Watermarking Using Spread Spectrum

Yun-Kyung Son*, Ji-Hwan Park**

*Dept. of Computer Education, PuKyong Nat'l University

**Dept. of Electronic, Computer and Telecommu. Eng., PuKyong Nat'l University

요 약

디지털 데이터의 저작권 보호를 위하여 최근 디지털 워터마킹에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 디지털 워터마킹이란 인간의 시각이나 청각이 인지할 수 없는 범위 내에서 디지털 데이터의 값을 약간 변경함에 따라 워터마크라고 하는 저작권 정보를 몰래 삽입하는 방법이다. 본 논문에서는 비 압축 비디오 계열(uncompressed video sequence)에 디지털 워터마크를 삽입하기 위한 방법을 보여준다. 대역 확산 기법을 이용하여 비디오에 pseudo-noise signal을 눈에 보이지 않도록 추가하고, 여러 조작에 대해 강하도록 구성하였다. 성능을 평가하기 위하여 비디오에 워터마크를 삽입하고 그 유효성을 보인다.

1. 서론

최근 컴퓨터 및 네트워크에 대한 기술과 인터넷의 비약적인 발전으로 인하여 각종 멀티미디어 서비스와 환경이 개인에게까지 제공되고 있다. 이러한 디지털 멀티미디어 데이터들은 종래의 아날로그 데이터와는 달리 복제가 용이하며 복제에 의한 데이터의 열화도 발생하지 않는다. 따라서 이러한 멀티미디어 데이터의 불법적인 복제를 방지하기 위한 저작권 보호 기법의 개발이 필요하다. 디지털 워터마크는 이러한 저작권 보호를 위해서 개발된 기법으로 디지털 데이터에 보이지 않도록 저작권 정보를 삽입하는 방법이다.

일반적으로 디지털 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호하기 위해 사용되는 디지털 워터마크는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다[1].

- Invisibility: 워터마크는 시각적으로 보이지 않아야 한다.
- Security: 허가되지 않은 사용자로부터 워터마크의 제거가 불가능해야 한다.

- Robustness: 워터마크에 대한 공격에도 제거가 어려워야 하며 여러 환경에 강인해야 한다.

- Complexity: 워터마크의 삽입과 추출이 복잡하지 않아야 한다.

지금까지 정지영상에 대해서는 많은 워터마크 기법들이 개발되었지만, 동영상에 대한 워터마크 기법에 대해서는 그다지 활발한 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러나 네트워크 기술과 멀티미디어 서비스의 비약적인 발전으로 인하여 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 Uncompressed Video에 대한 워터마크 기법 중에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 대역 확산(spread spectrum)워터마킹에 대해 고찰하고자 한다. 이 방법은 일반적으로 정지영상에 대해서 저작권 정보를 삽입하는 방법으로서 여러 가지 여러 환경에서 강인한 특성을 가지며, 저작권 정보를 추출하는데 원 영상이 필요하지 않다는 장점을 가지고 있다. 따라서 공간영역의 동영상 워터마킹에 적용하기에 적합한 기법이다.

본 논문의 구성은 2장에서 대역 확산 기법에 대해

알아보고, 3장에서는 대역 확산을 이용한 비 압축 비디오 워터마킹 기법에 대하여 알아본다. 4장에서는 대역 확산 워터마킹 기법에 대하여 시뮬레이션 하여 그 유효성을 보인다. 마지막으로 5장의 결론에서는 향후의 연구과제를 제시한다.

2. 대역 확산(Spread Spectrum)기법

워터마크가 각종 왜곡과 변형에 강인한 특성을 가지기 위해서는 시각적으로 중요하지 않은 위치에 삽입되어서는 안 된다. 단적인 예로 영상의 고주파 영역에 삽입된 워터마크는 영상에 주어질 약간 손실을 감수한다면 저역통과 필터링에 의해 쉽게 제거될 수 있다. 따라서, 문제는 원래 신호에 큰 변형을 주지 않으면서도 스펙트럼 상에서 시각적으로 가장 중요한 위치에 어떻게 워터마크를 삽입할 것인가 하는 것이다. 분명히 주파수 영역에서 계수(coefficient)값을 매우 작게 바꾸어 준다면 그러한 조건을 만족하겠지만 이러한 작은 변화는 또한 잡음에 매우 약한 문제를 일으킨다[6].

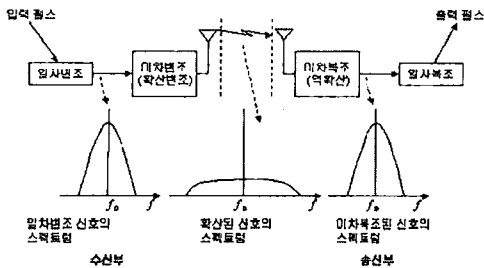


그림1. 대역확산의 기본구조

이러한 문제를 해결하기 위해서는 워터마크를 채널(channel)을 통해서 전달되는 신호로 생각하고 대역 확산 통신(spread spectrum communication) 기법을 적용하는 방법을 생각할 수 있다. 대역 확산 통신에서는 협대역(narrow band) 신호를 그림1과 같이 하나의 주파수 값에서 신호의 에너지가 인식되지 않을 정도로 확산시켜 훨씬 큰 대역폭을 통해서 전송한다[3].

이처럼 저작권 정보에 해당하는 신호의 에너지를 넓은 주파수 영역으로 확산시켜 잡음과 비슷한 상태로 만들어 주고 이 신호를 영상 신호에 더함으로써 저작권 정보를 삽입하는 방법이 바로 주파수 확산 워터마킹 기법이다. 특히, 비디오 워터마킹을 위해 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)을 채택한다. DSSS방식은 전달될 각 비트에 대해 여분의 비트 패

턴(그림2)을 발생시키는 것으로 이 비트 패턴은 chip rate라고 불리고, 클수록 원래의 데이터가 복원될 가능성이 커진다.

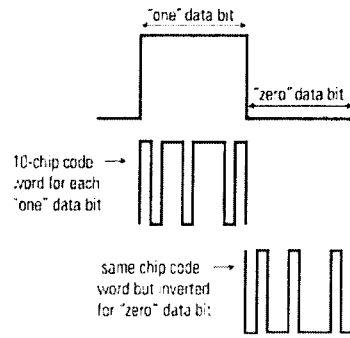


그림2. DSSS 방식의 비트 패턴(chip)

워터마크를 영상의 스펙트럼을 통해서 확산시키는 것은 의도적이거나 또는 의도적이지 않은 변형에 대해 큰 저항력을 갖도록 하는 것을 나타낸다. 이것은 워터마크의 위치를 분명히 알 수 없고, 워터마크에 대한 파괴 행위가 원래 신호에 대한 심각한 손상을 발생시키도록 시각적으로 중요한 위치인 저주파수 영역에 워터마크가 포함되어 있기 때문이다.

3. 대역 확산 워터마킹 기법

대역 확산 기법을 워터마킹에 응용을 하게 되면 협대역 신호(워터마크)는 광대역 채널을 통해 간섭(영상이나 비디오 신호)과 함께 전송된다[2]. DSSS방식을 이용한 비디오 워터마킹은 다음과 같이 표현된다[4].

3.1. 워터마크의 삽입

일반적으로 비디오 계열은 공간영역에서 2차원과 3차원으로 나타내고, 시간영역에서는 1차원으로 나타낸다. 본 논문에서는 비디오 신호를 그림3와 같이 Line-Scanning에 의한 1차원 신호로 나타내었다.

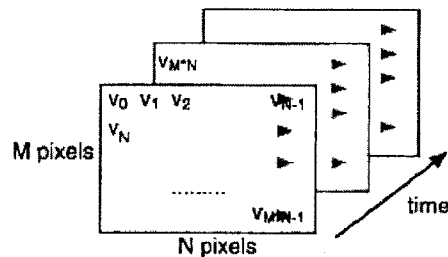


그림3. 비디오 신호의 Line scan

비디오 스트림 내에 포함될 워터마크의 비트 시퀀스를 a_j 라 하자.

$$a_j, a_j \in \{-1, 1\}, j \in N \quad (1)$$

이 이산신호를 대역 확산을 시키기 위하여 chip-rate라 불리는 큰 계수 cr 에 의해 확산시킨 신호를 b_i 라고 한다.

$$b_i = a_j, jcr \leq i < (j+1)cr, i \in N \quad (2)$$

spread sequence b_i 는 진폭계수 $\alpha_i \geq 0$ 에 의해 확대되고, binary pseudo-noise sequence에 의해 변조된다[5]. p_i 는 binary pseudo-noise sequence이다.

$$p_i, p_i \in \{-1, 1\}, i \in N \quad (3)$$

이렇게 대역 확산을 시켜 변조된 신호는 spread spectrum watermark w_i 가 된다.

$$w_i = \alpha_i b_i p_i, i \in N \quad (4)$$

이 워터마크를 line-scanning된 비디오 신호에 더하게 되면 워터마크 된 비디오 신호를 얻게 된다.

$$\tilde{v}_i = v_i + \alpha_i b_i p_i, i \in N \quad (5)$$

pseudo-noise signal p_i 의 잡음과 같은 성질 때문에 워터마크 신호 w_i 또한 잡음과 유사한 신호가 되어 워터마크의 발견을 어렵게 하고, 워터마크의 위치를 알 수 없게 하며 조작을 어렵게 한다. 그림4에 워터마크 삽입과정을 나타낸다.

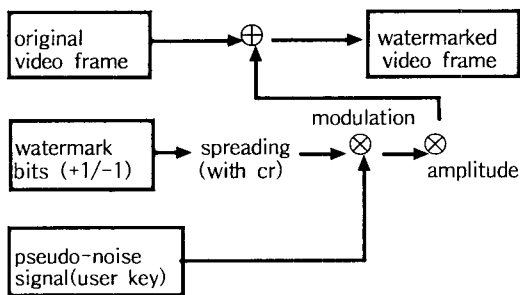


그림4. 워터마크 삽입과정

pseudo-noise signal은 워터마크의 삽입과 복구, 그리고 워터마크의 보호를 위한 비밀키이다. 보안을 유지하기 위하여 사용된 sequence는 쉽게 찾아낼 수 없다. 진폭계수 α_i 는 비디오 신호의 공간적인 특성과 사람의 시각 시스템의 시간적인 마스킹 현상들에 의

해 변한다. 워터마크의 진폭은 시각적으로 보이지 않을 만큼 크기 때문에 워터마크 정보가 잘 보이지 않는다.

3.2. 워터마크의 복구

삽입된 워터마크의 복구는 원래 비디오 신호에 대한 정보 없이 워터마크 된 비디오 신호의 상관관계 합을 이용하여 쉽게 이루어진다.

먼저, 상관관계의 합을 구하기 위해서 입력신호, 즉 워터마크 된 비디오 시퀀스 \tilde{v} 가 고역 필터링 되고, 워터마크 된 비디오 신호를 필터링 하여 산출된 것을 \bar{v} 라고 한다. 필터링을 하는 목적은 비디오 신호 자체의 주요 성분을 분리하고 제거하기 위해서이다.

필터는 1차원 또는 2차원 adaptive 혹은 non-adaptive 필터이다. 본 논문에서는 non-adaptive 3×3 고역 필터가 사용된다. 필터링은 필수적인 것은 아니지만 전체적인 워터마크 시스템의 실행을 향상시킨다. 왜냐하면, 워터마크 신호와 비디오 신호 사이의 cross-talk를 줄여주기 때문이다.

필터링을 한 워터마크 된 비디오 신호와 워터마크 삽입에 사용된 pseudo-noise signal p_i 의 곱을 각 비트에 대해 합을 하여 구하고, j 번째 정보비트에 대한 상관관계 합 s_j 를 다음과 같이 나타낸다.

$$s_j = \underbrace{\sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i \tilde{v}_i}_{\Sigma_1} + \underbrace{\sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i \alpha_i b_i}_{\Sigma_2} \quad (6)$$

이 식은 Σ_1 (필터 된 비디오 신호)과 Σ_2 (필터된 워터마크 신호)의 합으로 나타낼 수 있다. 만약, Σ_1 이 0이라고 가정하면, 이것은 비디오 신호가 \tilde{v} 로 필터링 됐음을 의미하고, $p_i \alpha_i b_i \approx p_i \alpha_i b_i$ 라는 것은 고역필터링이 white pseudo-noise watermark signal에서 무시할만한 영향을 준다는 것을 의미한다. 이러한 가정 하에서 상관관계의 합은 다음과 같이 된다.

$$s_j = \Sigma_1 + \Sigma_2 \approx \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i^2 \alpha_i b_i = \alpha_j \sigma_p^2 cr \text{mean}(\alpha_i) \quad (7)$$

σ_p^2 은 pseudo-noise sequence의 분산이 된다. 그래서 상관계수의 합 의미는 삽입된 정보비트가 된다.

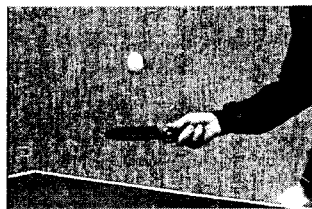
$$\begin{aligned} \text{sign}(s_j) &= \text{sign}(a_j \underbrace{\sigma_p^2 \text{ cr mean}(a_i)}_{>0}) \\ &= \text{sign}(a_j) = a_j \end{aligned} \quad (8)$$

이렇게 하여 삽입된 정보는 손실 없이 복구가 된다. 식(8)의 의미는 만약 비디오 신호와 삽입된 워터마크 사이의 상관관계가 양이면, 전송되어진 비트 a가 +1이고, pseudo-noise signal은 양수이다. 만약 상관관계가 음이면, 전송되어진 비트 a는 -1이다.

삽입된 정보의 복구에는 이미 서술된 대로 워터마크 되지 않는 원래의 신호가 필요하지 않다. 그러나 원래의 워터마크 되지 않는 신호가 알려진다면 복조 전에 필터링처리를 하지 않는 대신에 삽입된 정보의 복구가 더욱 강력해진다.

4. 실험결과

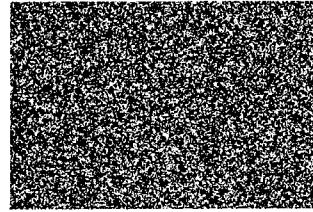
3장에서 제시한 워터마크 기법에 근거하여 Visual C++6.0으로 시뮬레이션 하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 비디오 영상은 table tennis(360*240, coded 30 frames per second)이다. 동일한 비디오 영상에 대하여 최적의 워터마크 효과를 낼 수 있는 워터마크 비트 시퀀스의 비트수와 chip-rate, 진폭계수를 찾아내는 실험을 진행하였다. 그림5는 워터마크 비트 계열 $a_j = \{1, -1, 1, 1\}$, $\text{cr}=21600$, σ_p^2 는 3을 이용한 워터마크의 삽입 예를 보여준다.



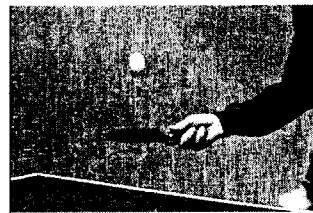
(a) 비디오 프레임 원 영상



(b) 스프레드 스펙트럼 영상



(c) 워터마크



(d) 워터마크 된 비디오 프레임

그림5. 워터마크 삽입의 예

표1. 워터마크의 각 파라미터에 대한 결과

cr	a_j (bit)	$\text{mean}(a_i)$	$\text{mean}(\sigma_p^2)$	Filter	BER
1728	50	1	1	-	12
1728	50	2	1	-	10
1728	50	2	1	3×3 HP	8
1728	50	3	1	3×3 HP	4
2880	30	1	1	-	6.7
2880	30	2	1	-	6.7
2880	30	2	1	3×3 HP	3.3
2880	30	3	1	3×3 HP	0
4320	20	1	1	-	0
4320	20	2	1	-	0
4320	20	2	1	3×3 HP	0
4320	20	3	1	3×3 HP	0

표1은 동일한 비디오 프레임에 워터마크의 파라미터 값을 변화시켜 삽입한 후 추출된 워터마크의 프레임별 비트 에러율(BER)을 보여주고 있다. 실험결과 비트 에러율은 $\sigma_p^2=1$ 일 때, a_j 의 비트수, cr계수 값, $\text{mean}(a_i)$ 의 값이 증가하면 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 3×3의 고역필터링에 의해 비트 에러율이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

표2는 삽입된 워터마크의 비트수를 20bit, cr계수는

4320, σ_p^2 는 1, $mean(\alpha_i)$ 는 3을 이용하여 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 각 프레임별 PSNR 값을 보여주고 있다. 결과표를 보면 각 프레임별 PSNR 값이 37dB이상의 값을 가지므로 제안된 기법이 대체로 즉할만한 수준의 화질을 나타낸다고 할 수 있다.

표2. 각 프레임별 PSNR 값

프레임	1	2	3	4	5
PSNR	38.24	38.31	37.92	38.24	38.24
프레임	6	7	8	9	10
PSNR	38.24	38.24	37.63	37.93	38.24
프레임	11	12	13	14	15
PSNR	38.59	38.24	38.31	38.59	38.59
프레임	16	17	18	19	20
PSNR	37.35	37.92	37.63	37.63	37.63
프레임	21	22	23	24	25
PSNR	38.24	37.93	38.24	37.93	38.59
프레임	26	27	28	29	30
PSNR	38.24	39.31	38.24	38.24	38.31

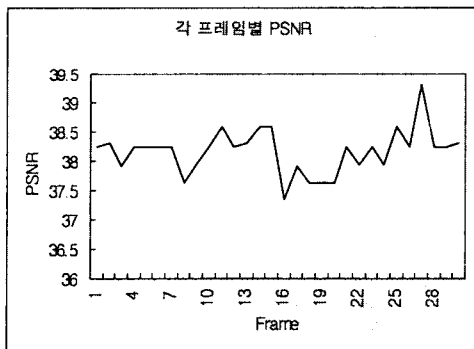


그림6. 각 프레임별 PSNR

5. 결론

본 논문에서는 저작권 보호를 목적으로 하는 디지털 워터마킹 기술 중에서 가장 많이 쓰이고 있는 대역 확산 워터마킹 기법에 대해 기술하고, 그 유용성에 대하여 살펴보았다. 삽입된 워터마크는 잡음과 같은 형태로 워터마크된 영상의 화질에 적은 영향을 미치고, 워터마크의 복원과정에서 간단한 상관도 계산에 의해 하나의 신호로 복원할 수 있었다. 워터마크는 각 프레임의 픽셀별로 삽입이 되어 있으며 이로 인해 워터마크를 파괴하기 위해서는 큰 에너지를 갖는 잡음

이 모든 주파수 영역에 더해져야 하기 때문에 외부의 잡음 삽입에 대해서도 강인한 특성을 갖는다. 이러한 워터마킹 기법을 이용하여 동영상 압축 표준인 MPEG 계열에 삽입하는 방법을 향후 과제로 삼고, MPEG의 각 프레임(I-프레임, P, B-프레임)에 실시간으로 삽입할 수 있는 워터마크 기법에 대하여 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shanon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," Technical Report 95-10, NEC Research Institute, Princeton, NJ, USA, 1995.
- [2] P. G. Flikkema, "Spread-spectrum Techniques for Wireless Communications", IEEE Signal Process. 1493 p.26-36 May 1997
- [3] <http://ns.touchflower.co.kr/tech/lan-wan/lan2/3.html>
- [4] Frank Hartung, Bernd Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video" Signal Processing, Vol.66 1998 Elsevier
- [5] M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen, "Digital Signature of Color Images Using Amplitude Modulation", Proc. of Electronic Imaging 1997(EI 97), San Jose, USA, February 1997.
- [6] 이형훈, 배창석, 최재훈, 최윤식, "MPEG 비디오를 위한 하이브리드 워터마킹 알고리즘", 한국정보처리학회 논문지 6권 11호 p.3189~3164 1999.11