

홀로그래픽 watermark를 이용한 영상 watermarking

(Image Watermarking using holographic watermark)

김규태, 김수길*, 고명숙**, 김종원, 최종욱

(Kyu-Tae Kim, Soo-Gil Kim*, and Myung Sook Ko**, Jong-Won Kim, and Jong-Uk Choi)

MarkAny 연구소, 호서대학교 전기정보통신공학부*, 부천대학 전산정보처리과**

Abstract

We propose a new watermarking scheme that can be used to embed multiple bits and also resilient to JPEG compression and geometrical transforms such as scaling, rotation, and cropping, based on holographic watermark that allows multiple watermark recovery without original content(cover image).

1. 서 론

빠르게 성장하고 있는 인터넷을 통해서 디지털 콘텐츠의 유통이 보편화되고 있어 콘텐츠의 저작권 보호는 중요한 사회적 이슈로 떠오르고 있다. 이는 이미지, 오디오, 비디오 등의 디지털 콘텐츠가 컴퓨터에서는 손쉽게 다량의 복사가 가능하며 복사 후 원본과 비트 하나 틀리지 않은 동일한 파일로 만들어지기 때문이다. 더구나 인터넷에서는 이러한 불법 복제된 데이터가 대량으로 순식간에 세계 어디로나 송신될 수 있기 때문에 저작권 문제는 더욱 심각해진다. 워터마킹은 텍스트, 이미지, 비디오, 오디오 등의 데이터에 제공자만이 아는 마크(mark)를 사람의 육안이나 귀로는 구별할 수 없게 삽입하고 이를 네트워크에서 제공한다. 만약 사용자가 멀티미디어 디지털 정보를 불법 복제하여 정당한 대가나 허락 없이 상업용 혹은 기타 용도로 사용되었을 때에는 자신의 마크를 추출하거나 보여줌으로서 그 콘텐츠가 자신의 소유임을 밝힐 수 있고, 이는 지적 재산권 행사에 결정적인 증거가 된다.

일반적으로 워터마킹 기술은 많은 데이터 삽입량과 다양한 공격에 대한 강인성 그리고 비인지성이 요구되며 최근에는 더욱 다양한 공격조건에 강인성을 갖는 연구가 진행되고 있다. 워터마킹 이미지에 대한 공격 방법은 크게 JPEG과 같은 손실 압축과 회전(rotation), 크기(scaling) 그리고 cropping과 같은 기하학적 변형(geometrical transformation)으로 구분할 수 있다. I. J. Cox에 의해 제시된 대역확산(spread spectrum) 방법은

손실압축에 강인한 대표적인 방법으로 상관도가 매우 낮은 랜덤시퀀스(random sequence)를 이용하여 전 주파수 대역에 워터마크 정보를 분포시킴으로서 특정 영역의 성분이 제거되어도 삽입된 워터마크를 추출할 수 있다.[1-3] 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 방법에는 log-log map이나 log-polar mapping을 사용하여 워터마크를 구성하는 방법[4-6] 그리고 기하학적인 변형을 찾기 위해 임의의 템플릿을 워터마크로 삽입하거나 반복적으로 삽입된 워터마크의 자기상관(auto-correlation)을 이용하는 방법[7,8]이 있다. 그러나 연산시간이 오래 걸리거나 손실압축에 약하며 정확한 워터마크 추출에 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 손실압축과 기하학적인 변형에 강인하면서도 많은 데이터의 삽입을 위한 새로운 접근 방법으로 디지털 홀로그램을 워터마킹 기술에 적용하였다. 홀로그램을 기록할 때, 빔 확산기(diffuser)와 같은 랜덤 위상변조기(random-phase modulator)를 이용하면 물체정보 전 영역에 고르게 분포하기 때문에 손실압축에도 애러 없이 삽입된 데이터의 추출이 가능하다. 제안된 방법을 검증하기 위해 256×256의 lena 이미지에 80bits의 데이터를 삽입하여 애러없이 추출하고 실험결과를 분석하였다.

2. 디지털 홀로그램의 기본원리

1948년 Gabor[9]에 의해 최초로 제안된 홀로그램은 Leith와 Upatniek[10]에 의해 분리된 두 개의 코히어런트한 빛의 간섭을 이용한 비축 홀로그램

(off-axis hologram)이 발표된 이후 3차원 영상의 디스플레이를 위한 가장 유력한 수단으로 인식되어 왔다. 특히, 디지털 컴퓨터에 의한 홀로그래프 합성방법은 실제 세계에서 존재할 수 없는 이미지를 만들 수 있다는 장점으로 많은 연구가 수행되었다.

홀로그래프는 물체에서 회절된 광파를 기록하는 과정과 기록시 사용된 광원을 이용하여 복원하는 과정으로 나누어 설명할 수 있다. 물체에 입사된 광원은 회절되어 진폭과 위상에 관한 정보로 나타나며 이러한 정보를 모두 기록해야 3차원 정보를 표현할 수 있다. 그러나 모든 기록매질은 빛의 세기만을 기록할 수 있으므로 위상정보를 빛의 세기 정보로 기록하는 방법이 필요하다. 홀로그래프는 진폭과 위상정보를 기록하기 위해 간섭성을 갖는 기준파와 물체파의 간섭패턴을 이용한다. 그림 1은 기록방법 및 복원방법을 나타낸 것이다. 여기서, 기준파와 물체파의 광원을 각각 $o(x_r, y_r)$ 과 $r(x_o, y_o)$ 라 하고 복원시 사용되는 광원을 (x_r, y_r) 로 가정한다. 물체를 점들의 집합이라고 가정하면 물체를 이루는 각 점들에 의해 발생하는 회절파는 각각 독립적으로 간섭무늬를 만든다. 따라서 일반적으로 홀로그래프의 기록과 복원 과정에 포함된 물리적 공간은 선형적이고 공간 불변성을 갖는 각 점들에 대한 각각의 복소진폭의 중첩형태로 기록된다.

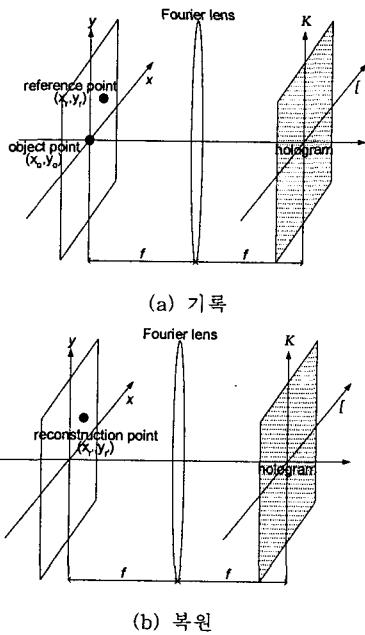


그림 1. 홀로그래프 기록과 복원 방법

식 (1)은 그림 1(a)에서 나타낸 기준파와 물체파를

이용한 푸리에 홀로그래프(Fourier hologram)을 나타낸 것이다.

$$U(\xi, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} o(x, y) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x + \eta y)) dx dy + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} r(x, y) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_2 f}(\xi x + \eta y)) dx dy = O(\xi, \eta) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o)) + R(\xi, \eta) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_2 f}(\xi x_r + \eta y_r)) \quad (1)$$

여기서, 우변의 첫 번째 항은 물체파에 대한 푸리에 변환식이고 두 번째 항은 기준파에 대한 푸리에 변환식을 나타내며, λ_1 과 λ_2 는 각각 기록시 사용된 광원의 파장과 푸리에 변환 렌즈의 초점거리를 나타낸다.

식 (1)에서 표현된 기준파와 물체파의 중첩에 의한 간섭패턴은 기록매질에서 세기 정보로 식 (2)와 같이 표현되며 $U_H(\xi, \eta)$ 로 나타낸다.

$$U_H(\xi, \eta) = |O(\xi, \eta)|^2 + |R(\xi, \eta)|^2 + O(\xi, \eta)^* R(\xi, \eta) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o) + j\frac{2\pi}{\lambda_2 f}(\xi x_r + \eta y_r)) + O(\xi, \eta) R(\xi, \eta)^* \exp(+j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o) - j\frac{2\pi}{\lambda_2 f}(\xi x_r + \eta y_r)) \quad (2)$$

여기서, 우변의 첫 번째와 두 번째 항은 단지 기준파와 물체파의 세기만을 표현하기 때문에 디지털 홀로그래프 복원시 세 번째와 네 번째 항만을 이용한다. 식 (3)은 식 (2)에서 표현된 홀로그래프로부터 물체파 정보를 복원하기 위한 복원파의 복소진폭을 나타낸다.

$$U_R(\xi, \eta) = R(\xi, \eta) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_2 f}(\xi x_r + \eta y_r)) \quad (3)$$

여기서, λ_2 와 f 는 각각 복원시 사용된 광원의 파장과 푸리에 변환 렌즈의 초점길이를 나타낸다. 식 (3)의 복소진폭을 식 (2)의 세 번째와 네 번째 복소진폭에 곱하면 홀로그래프로부터 회절되는 물체파를 얻을 수 있다. 이때, 홀로그래프의 기록과 복원에 사용된 광원의 파장과 푸리에 변환 렌즈의 초점길이를 $\lambda_1 = \lambda_2$, $f = f$ 와 같이 가정한다면 식 (4)와 같이 홀로그래프로부터 회절되어 복원되는 물체파 정보를 간략화할 수 있다.

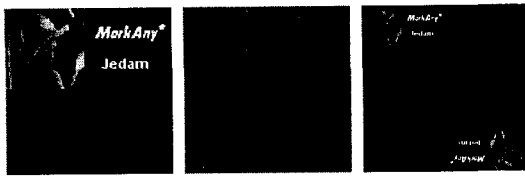
$$U_i(\xi, \eta) = R O^* R \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o) + j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_r + \eta y_r) - j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_r + \eta y_r)) + R O R^* \exp(+j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o) - j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_r + \eta y_r) - j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_r + \eta y_r)) = R O R^* \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda_1 f}(\xi x_o + \eta y_o)) \quad (4)$$

여기서, (x_i, y_i) 는 홀로그래프 평면으로부터 복원된 광원의 좌표를 나타내며 식 (5)와 같이 각각의 좌

표값을 얻을 수 있다.

$$\begin{cases} x_i = \mp x_o \pm x_r + x_r \\ y_i = \mp y_o \pm y_r + y_r \end{cases} \quad (5)$$

복원되는 광원은 홀로그램 평면을 중심으로 허상(virtual image)과 실상(real image)이 대칭쌍(twin-image)으로 복원된다. 그림 2는 홀로그래픽 워터마크로 사용될 홀로그램과 홀로그램에 의한 복원영상을 나타낸다. 그림 2에서 보는 바와 같이 입력 데이터는 식 (2)에 의해 기준파와의 간섭에 의한 홀로그램이 만들어지며 식 (4)와 같은 과정을 거쳐 식 (5)에서와 같은 허상과 실상이 원점 대칭된 형태로 복원된 영상을 얻을 수 있다.



(a) 영상 (b) 홀로그램 (c) 복원영상
그림 2. 홀로그램과 복원영상

3. 디지털 홀로그램을 이용한 홀로그래픽 워터마크

본 논문에서는 기하학적인 변형에 강인하고 멀티비트 정보를 삽입할 수 있는 홀로그래픽 워터마크를 제안하고자 한다. 홀로그래픽 워터마크는 회전이나 축소, 확대 그리고 cropping에 대하여 강인한 특성을 갖는 홀로그램을 워터마크로 사용하여 공간영역에서 이미지에 삽입하고 원본 이미지 없이 홀로그램의 복원 방법만으로 간단하게 삽입된 정보를 추출할 수 있다. 제안된 방법은 기하학적인 변형에 대한 강인성을 위해 별도의 워터마크나 템플릿과 같은 RS 정보를 삽입하는 과정이 필요하지 않기 때문에 부가적인 정보 삽입에 따른 많은 계산량 및 좌표변환에 의한 삽입 정보의 손실을 극복할 수 있다. 또한, 홀로그램의 용장성(redundancy)으로 워터마크를 반복적으로 삽입하지 않고도 cropping이나 cutting과 같은 변형에 강인하기 때문에 전체적인 처리과정이 간단하다. 식 (6)은 식 (2)에 의해 생성된 홀로그램을 이미지에 중첩시킴으로서 얻어지는 워터마킹된 이미지를 나타낸다.

$$w(x, y) = c(x, y) + \alpha H(\xi, \eta) \quad (6)$$

여기서, $w(x, y)$ 와 $c(x, y)$ 는 각각 워터마킹된 이미지와 콘텐츠 이미지를 나타내고 α 는 홀로그램의 가중치를 나타낸다. 이때, 콘텐츠 이미지와 홀로그램은 각각 정규화되어 중첩되고 홀로그램 가중치에 의해 삽입강도를 조절하였다. 식 (6)에 의해 표현된 워터마킹 이미지에 식 (3)의 복원파를 곱한 후, 역푸리에 변환시키면 삽입된 멀티비트 정보를 추출할 수 있다. 이때, 삽입된 멀티비트 정보는 그림 1과 식 (1)을 이용하여 식 (7)과 같이 여러 점들의 중첩으로 표현될 수 있으며, 이러한 점들은 식 (8)을 통해 각각 독립적으로 추출된다.

$$d(x_o, y_o) = \sum_{l=1}^N d_l(x_o, y_o) \quad (7)$$

$$d(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} w(x, y) U_R(\xi, \eta) \exp\{j2\pi(\xi x + \eta y)\} d\xi d\eta \quad (8)$$

여기서, $d(x_o, y_o)$ 와 $d(x_i, y_i)$ 는 각각 삽입된 데이터와 추출된 데이터를 나타내고, N 은 삽입된 데이터의 개수이다. 식 (8)에서와 같이 홀로그래픽 워터마크는 원본 이미지 없이 삽입된 멀티비트 정보를 추출할 수 있지만 푸리에 변환에 의한 원본 이미지의 푸리에 스펙트럼과 홀로그램의 복원 이미지가 중첩되기 때문에 식 (8)에서 삽입된 멀티비트 정보를 추출하기 위해 원본 이미지의 푸리에 스펙트럼에서 홀로그램의 복원 이미지를 분리시켜야 된다.



(a) 워터마크 영상 (b) 워터마킹된 영상 (c) 추출영상

그림 3. 푸리에 스펙트럼의 대역 분리를 이용한 정보 추출

일반적으로 원본 이미지의 푸리에 스펙트럼은 대부분 저주파수 대역에 집중되어 있으므로 고주파수 대역에서 홀로그램의 복원 이미지가 나타나면서 동시에 원본 이미지에 의한 푸리에 스펙트럼을 윈도우 마스크를 이용하여 차단시키면 원본 이미지 없이 멀티비트 정보를 추출할 수 있다. 그림 3은 이러한 방법에 의해 추출된 정보를 나타낸다.

그림 3에서와 같이 홀로그램에 의한 추출 정보를 원본 이미지의 푸리에 스펙트럼으로부터 분리하기 위해 식 (5)를 이용하여 추출될 데이터의 좌표를 설계한다. 본 논문에서는 기하학적인 변형에 강인 하면서 많은 양의 디지털 정보 삽입이 가능함을 증명하기 위해 그림 3에서와 같은 이미지 정보를 사용하지 않고 삽입 데이터를 "1"과 "0"의 이진 정보(binary data stream)로 구성하여 삽입용량을 측정하였다. 많은 양의 이진 정보를 비인지성을 갖도록 삽입하면서 기하학적인 변형에도 오류없이 추출할 수 있으면 사용자의 생체정보나 2차원 바코드(2D barcode)와 같은 다양한 정보로 응용하는 것이 가능하다.

그림 4는 임의의 멀티비트 정보를 이용하여 디지털 홀로그램을 생성시킨 후, 이미지에 삽입하여 추출된 결과를 나타낸다. 그림 4(a)에서와 같이 삽입된 비트수는 픽셀 좌표 (20, 100)에서 시작하여 (105, 120)까지 총 80비트이고 이때 그림 4(c)의 워터마킹 이미지에 대한 PSNR(peak signal-to-noise ratio)는 약 45dB 이다.

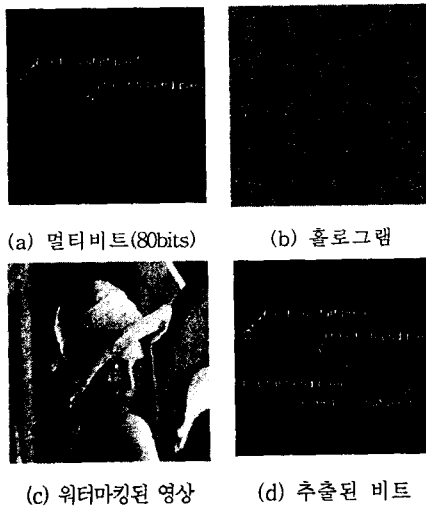


그림 4. 멀티비트를 이용한 홀로그래픽 워터마크의 삽입 및 추출

그림 4(a)에서 시작 비트의 좌표는 좌측상단을 기준으로 (20, 100)이고 마지막 비트의 좌표는 (105, 120)이며 기준좌와 복원좌의 좌표를 각각 (1, 129)와 (1, 129)라고 하면 식 (5)에 의해 그림 4(d)에서와 같이 각각 (20, 100)-(105, 120)와 (238, 158)-(152, 138)에서 삽입된 멀티비트가 추출된다. 그림 4(b)의 홀로그램 생성시 물체좌(삽입 비트)에 대한 푸리에 변환값은 대부분의 진폭정보에 대한 푸리에 스펙트럼이 중앙에 집중되기 때문에 매우

큰 변화 범위를 갖는다. 이러한 특성은 홀로그램의 회절효율을 떨어뜨림과 동시에 워터마킹 이미지의 PSNR을 나쁘게 한다. 따라서 물체좌를 푸리에 변환하기 전에 임의의 랜덤 위상 인자(random-phase factor)를 곱하여 물체좌의 푸리에 계수값을 일정하게 만든다. 이것은 광학적으로 diffuser를 놓는 것과 유사한 효과를 갖기 때문에 물체좌의 세기 정보를 모든 영역에 골고루 분산시키는 역할을 한다.

4. 결론

본 논문에서는 기하학적인 변형에 강인하면서 멀티비트 정보를 삽입할 수 있는 홀로그래픽 워터마크에 대하여 제안하고 이에 대한 이론적인 분석 및 간단한 제안한 방식에 대한 실험결과를 제시하였다. 홀로그래픽 워터마크는 데이터의 삽입 효율과 기하학적인 변형의 발생 유무를 체크할 수 있는 비축 푸리에 홀로그램을 이용하여 공간영역에서 이미지에 비인지성을 갖도록 삽입하였다. 삽입된 데이터는 워터마킹 이미지에 홀로그램 생성시 사용된 기준좌 정보를 곱한 후, 푸리에 변환함으로써 얻어진다. 이때, 홀로그래픽 워터마크에 의한 삽입 데이터는 이미지에 의한 푸리에 스펙트럼과 분리되도록 설계하여 윈도우 마스크를 통해 제거함으로써 원본 이미지 없이 추출될 수 있다.

참고 문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," NEC Res. Inst., Princeton, NJ, Tech. Rep. 95-100, 1995.
- [2] I. Pitas and T. Kaskalis, "Applying Signatures on Digital Image," Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, pp.460-463, June 1995.
- [3] K. T. Kim, J. H. Kim, and E. S. Kim, "Multiple Information Hiding Technique using Random Sequence and Hadamard Matrix," Opt. Eng. Vol.40, No.11, pp. 2489-2494, 2001.
- [4] J. J. K. O'Ruanidh and Thierry Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", Signal processing journal, 1998.
- [5] C. Y. Lin, "Public Watermarking Surviving General Scaling and Cropping: An Application for Print-and-Scan Process", ACM Multimedia 99, Orlando, FL, USA, Oct 1999.

- [6] C. Y. Lin and Shih-Fu Chang, "Distortion Modeling and Invariant Extraction for Digital Image Print-and-Scan Process", *ISMIP 99*, Taipei, Taiwan, Dec. 1999.
- [7] R. Caldelli, M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Geo-metric-Invariant Robust Watermarking through Constellation Matching in the Frequency domain," Proceedings of 7th IEEE ICIP 2000, Vol.2, pp.65-68, Vancouver, Canada, Sep., 2000.
- [8] C. R. Choi and J. Jeong, "Robust Image Watermarking Scheme Resilient to De-synchronization Attacks," SPIE 2002 Security and Watermarking of Multimedia Contents IV, San Jose, USA, Jan., 2002.
- [9] D. Gabor, "A New Microscope Principle," *Nature*, Vol.161, pp.777, 1948.
- [10] E. N. Leith and J. Upatnieks, "Reconstructed Wavefronts and Communication Theory," *J. Opt. Soc. Am*, Vol.52, pp.1377, 1962.