

홀로그램 지적재산권을 위한 딥러닝 기반 워터마킹 기법

*강지원, *서영호, *김동욱

광운대학교

*jwkang@kw.ac.kr *yhseo@kw.ac.kr *dwkim@kw.ac.kr

Deep learning-based watermarking technique for holographic intellectual property rights

*Kang, Ji-Won *Seo, Young-Ho *Kim, Dong-Wook

Kwangwoon University

요약

디지털 홀로그램(digital hologram, DH)은 2차원 데이터에 3차원의 정보를 포함하는 차세대 영상 콘텐츠이다. 따라서 이 콘텐츠의 유통을 위해서는 그 지적재산권이 반드시 보호되어야 한다. 본 논문에서는 이를 위한 딥러닝 기반 DH의 워터마킹 방법을 제안한다. 이 방법은 워터마크의 비가시성, 공격에 대한 강인성, 워터마크 추출 시 호스트 정보를 사용하지 않는 blind 워터마킹 방법이다. 이 네트워크는 고주파 성분이 강한 DH의 특성을 감안하여 호스트 데이터를 축소하지 않고 워터마크 데이터를 확장하여 워터마크를 삽입한다. 또한 홀로그램의 복원성능을 위한 학습을 제안한다. 제안한 방법을 다양한 종류와 강도의 공격에 대해 실험을 수행하여 그 성능을 보인다.

1. 서론

홀로그램은 기준이 되는 참조파와 물체에 반사된 물체파의 간섭으로 발생하는 프린지 패턴을 기록한 것으로, 복소평면(실수와 허수 또는 크기와 위상)의 2차원 데이터이지만 3차원의 영상정보를 담고 있다. 이 홀로그램 데이터를 디지털화한 것이 디지털 홀로그램(digital hologram, DH)이다. 두 파의 간섭현상을 수학적으로 모델링하여 연산하는 방식인 computer generated hologram (CGH)가 널리 사용되고 있다[1].

디지털 홀로그램은 초고부가가치의 콘텐츠이고, 이 콘텐츠를 유통하기 위해서는 콘텐츠의 변/복조, 위조 등으로부터 지적재산권을 보호하는 것이 필수적이다. 최근 그 방법으로 디지털 워터마킹(digital watermarking)이 주로 연구되고 있다[2]. 워터마킹은 디지털 콘텐츠에 소유권자의 정보(워터마크(watermark, WM))를 삽입하고, 필요시 그 정보를 추출하여 소유권을 주장하는 기술로, 주로 블라인드(blind), 비가시성(invisibility), 및 강인성(robustness) 워터마킹이 사용된다.

네트워크는 원본 DH와 WM 각각의 전처리 네트워크, WM 삽입 부 네트워크, 공격 시뮬레이션, 그리고 WM 추출 네트워크로 구성된다. 이 방법은 WM의 해상도를 호스트 DH의 해상도로 키워 처리하는 방법을 사용하는 방식으로 이루어지며, 본 네트워크를 홀로그램 워터마킹에 이용할 수 있음을 이전 연구에서 보였다.[3]

본 논문에서는 딥러닝으로 DH의 워터마킹을 수행하는 딥 뉴럴 네트워크(deep neural network, DNN)에 홀로그램의 특성을 고려한 손실함수의 구성 방법을 제안한다.

2. 제안하는 방법

홀로그램은 복원(reconstruction)시 이미지 품질이 가장 중요하다. 따라서 복원 품질을 보장하기 위하여 홀로그램의 비가시성을 위한 L_1 손실함수와 WM의 추출을 위한 L_2 이외에 홀로그램의 복원 이미지 상에서의 비가시성을 위한 새로운 손실 함수항인 L_3 을 도입한다.

WM 삽입부 네트워크의 손실함수 L_1 은 비가시성을 위하여 식 (1)과 같이 원본 호스트 데이터(h_{org})와 WM된 호스트 데이터(h_{wmd}) 간의 MSE(mean square error)로 설정한다. 여기서 $M \times N$ 은 호스트 데이터의 해상도이다.

$$L_1 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [h_{org}(i,j) - h_{wmd}(i,j)]^2 \quad (1)$$

손실함수 L_2 는 식 (2)와 같이 WM 전처리 부 네트워크의 입력인 원본 워터마크(WM_{org})와 WM 추출 부 네트워크에서 추출된 워터마크(WM_{ext}) 간 MAE(mean absolute error)로 설정한다. 이식에서 $X \times Y$ 는 워터마크의 해상도이다.

$$L_2 = \frac{1}{XY} \sum_{j=1}^X \sum_{i=1}^Y |WM_{org}(i,j) - WM_{ext}(i,j)| \quad (2)$$

본 논문에서 도입한 홀로그램의 복원 성능을 위한 손실함수 L_3 은 홀로그램 복원 후의 비가시성을 위하여 식 (3)과 같이 원본 호스트 데이터를 복원한 복원 호스트 데이터 (r_{org})와 WM된 호스트 데이터를 복원한 WM 복원 호스트 데이터(r_{wmd}) 간의 MSE(mean square error)로 설정한다. 여기서 $M \times N$ 은 호스트 데이터의 해상도이다.

$$L_3 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [r_{org}(i,j) - r_{wmd}(i,j)]^2 \quad (3)$$

세 가지의 손실함수 중 L_1 과 L_3 을 이용하여 삽입네트워크의 학습에, L_2 는 추출기 네트워크의 학습에 사용한다.

3. 실험 결과

JPEG Pleno가 제공하는 표준 데이터 세트[4]는 만들어진 방식과 기관에 따라 크게 세 가지(ERC, B-com, UBI)의 종류로 분류할 수 있다. 이로부터 총 46종류의 서로 다른 홀로그램 데이터가 제공되고 이 홀로그램들은 실수부와 허수부 그리고 컬러 영상의 R, G, B 채널로 구분하고 이들을 무작위로 잘라내어 학습에 사용했다. 이 때 학습에 사용한 홀로그램의 크기는 128×128 이고, training data 5000장, test data 1000장으로 구성하여 사용하였다.

홀로그램의 복원을 위한 L_3 을 포함하여 학습을 시킨 후의 복원 결과를 그림 1에서, 수치적 결과는 표1에서 나타내었다.



Figure 1. Reconstruction result (a) original reconstructed host data, (b) watermarked reconstructed host data.

| | Invisibility | Extracted WM BER | |
|---------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Reconstruction PSNR [dB] | No attack | Gaussian additive noise (p=0.03) |
| with L_3 | 40.844 | 0.887 | 1.769 |
| without L_3 | 39.721 | 0.672 | 2.478 |

Table1. result of reconstructed host data PSNR and extracted watermark BER.

4. 결론

본 논문은 홀로그램의 워터마크 네트워크에 홀로그램의 복원 성능을 손실함수에 추가하였을 때 홀로그램 복원 성능의 개선이 일어날 수 있음을 증명하였다.

감사의 글

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2019R1F1A1054552)

참고문헌

- [1] Stephen A. Benton and V. Michael Bove Jr., Holographic Imaging, A John Willy and Sons Inc., Hoboken, NJ, 2008.
- [2] Ingemar J. Cox, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, and Ton Kalker, Digital Watermarking and Steganography, Morgan Kaufman Publisher, Burlington, MA, 2008.
- [3] 이주원, 이재은, 서영호, 김동욱, “딥 뉴럴 네트워크에 의한 디지털 홀로그램의 워터마킹 및 홀로그램 데이터 특성을 고려한 학습”, 방송공학회논문지, Vol.26, No.3, 2021.
- [4] Dataset of hologram data. URL <http://plenodb.jpeg.org/>