

인쇄물의 위조 방지를 위한 LPM기반의 디지털 워터마킹

배종욱^{*}, 이신주^{**}, 정성환^{***}

요 약

본 논문에서는 1차 인쇄물을 스캔한 영상에서는 워터마크를 검출하여 저작권 증명이 가능하고, 불법적인 도용을 의미하는 2차 인쇄물을 스캔한 영상에서는 워터마크가 검출되지 않도록 하여 위조 방지가 가능한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 알고리즘은 화소값의 왜곡과 기하학적 왜곡에 강인하기 위하여 LPM(Log-Polar Map) 변환과 DFT(Discrete Fourier Transform) 변환을 사용한다. LPM 변환과정에서 최대 표본반지름을 선택하여 워터마크 검출성능과 화질을 개선할 수 있었다. 또한 프린트-스캔 처리의 특성을 분석한 후, 프린트-스캔 처리가 DFT의 고주파 밴드에서 왜곡이 커진다는 점을 이용하여, 1차 인쇄물에서는 워터마크가 살아남고 2차 인쇄물에서는 워터마크가 깨어지는 주파수 밴드를 실험적으로 선택하여 워터마크를 삽입하였다. 실험 결과, 1차 인쇄물을 스캔한 영상에서는 유사도가 평균 6.13으로 임계값 4.0 이상 검출되어 원본 증명이 가능하였고, 2차 인쇄물을 스캔한 영상에서는 유사도가 임계값 4.0 이하인 평균 2.76을 나타내어 위조 영상임을 확인할 수 있었다.

LPM-Based Digital Watermarking for Forgery Protection in Printed Materials

Jong-Wook Bae[†], Sin-Joo Lee^{**}, Sung-Hwan Jung^{***}

ABSTRACT

We proposed a digital watermarking method that it is possible to identify the copyright because the watermark is detected in the first print-scan and to protect a forgery because the watermark is not detected in the second print-scan. The proposed algorithm uses LPM and DFT transform for the robustness to the distortion of pixel value and geometrical distortion. This methods could improve watermark detection performance and image quality by selecting maximum sampling radius in LPM transform. After analyzing the characteristics of print-scan process, we inserted the watermark in the experimentally selected frequency bands that survives robustly to the first print-scan and is not detected in the second print-scan, using the characteristic of relatively large distortion in high frequency bands of DFT. As the experimental result, the original proof is possible because average similarity degree 6.13 is more than the critical value 4.0 in the first print-scan. And the detection of forgery image is also possible because average similarity degree 2.76 is less than the critical value 4.0 in the second print-scan.

Key words: Printed Materials(인쇄물), Forgery Protection(위조 방지), Print-Scan(프린트-스캔), Digital Watermarking(디지털 워터마킹)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 배종욱, 주소: 경상남도 창원시 사림동 9번지(641-773), 전화 : 055)279-7429, FAX : 055)279-7420, E-mail : bae@changwon.ac.kr

접수일 : 2004년 12월 31일, 완료일 : 2005년 7월 19일

^{*} 준회원, 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

^{**} 준회원, 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)

(E-mail : sinjoo@sarim.changwon.ac.kr)

^{***} 종신회원, 국립창원대학교 컴퓨터공학과 교수

(E-mail : sjung@sarim.changwon.ac.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초기술연구지원사업의 연구결과임.

1. 서 론

최근에는 프린터와 스캐너를 이용하여 인쇄물의 복사와 배포가 일반적으로 이루어지고 있다. 그리고 인쇄물을 스캔한 콘텐츠는 그래픽 응용프로그램을 이용하여 쉽게 재가공 될 수 있다. 따라서 인쇄된 콘텐츠는 쉽게 위·변조될 수 있으며 위·변조된 인쇄물은 또 다른 범죄에 사용될 가능성이 높다. 그러므로 인쇄물에 대한 저작권 보호와 인증을 위해 효율적인 워터마킹 기술이 필요하다.

기존의 워터마킹 방법은 공간영역과 변환영역의 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역의 방법은 영상의 화질에 손상이 거의 없지만, 잡음의 첨가, 압축, 필터링 등과 같은 공격에 취약하다. 그리고 변환영역의 방법은 공간영역보다 공격에는 강인하지만 영상의 동기를 깨뜨리는 기하학적 왜곡에 취약하다[1].

따라서 영상의 기하학적 왜곡을 극복하기 위하여 다양한 방법이 제안되었다[1-7]. Pereira 등[3]은 영상에 워터마크 이외에 템플릿을 삽입하고 이 템플릿으로서 영상에 가해진 기하학적 왜곡을 복원한 후 워터마크를 검출하였다. 또한 Lin 등[4, 5]과 Ruaniadh 등[6]은 푸리에-멜린 변환(Fourier-Mellin)의 특성을 이용하여 기하학적 왜곡에 불변하는 도메인에서 워터마크를 삽입하고 검출하는 방법을 제안하였다. 김범수 등[7]은 기하학적 공격에 대한 해결책으로 영상의 불변의 무게중심을 구하고 LPM 변환과 DFT 변환을 사용하였다.

그러나 기존의 기하학적 왜곡에 강인한 워터마킹 방법들은 워터마크의 강인성에만 초점을 맞추었기 때문에 기존의 방법들은 인쇄물의 위조 방지를 위해서는 적합하지 않다. 이는 디지털 콘텐츠를 1차로 프린트한 합법적인 인쇄물뿐 아니라 합법적인 1차 인쇄물을 스캔하여 생성한 불법적인 2차 인쇄물에서 대해서도 워터마크가 검출될 수 있다. 이는 불법적인 2차 인쇄물에서도 원본 증명이 가능하므로 위조 여부를 확인할 수 없는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 합법적인 1차 인쇄물에는 삽입된 워터마크가 강인성에 의하여 원본 증명이 가능하고, 불법적인 2차 인쇄물에 대해서는 워터마크가 검출되지 않도록 한다. 이를 이용하여 본 연구에서는 인쇄물의 위조 방지를 위한 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법은 첫째, LPM 변환에서 최대표본반지름을 지정하여 검출성능을 향상시키고, 둘

째, 2차 인쇄물에서 워터마크가 검출되지 않도록 워터마크를 삽입할 주파수 대역을 실험적으로 선택하였다.

2. 프린트-스캔 처리와 워터마크

2.1 프린트-스캔 처리의 왜곡

일반적으로 프린터는 고화질의 출력 영상을 얻기 위해 하프토닝(halftoning) 방법을 사용한다. 하프토닝은 여러 레벨의 밝기 값을 가지는 영상으로부터 흑백의 이진 영상을 만드는 기술이다[8]. 이러한 하프톤 영상을 보면 마치 저역 통과 필터를 거친 것과 같은 효과가 나서 연속계조의 영상으로 인식하게 된다. 따라서 인쇄된 영상의 시각적 품질은 영상의 하프톤뿐만 아니라 밝기와 대조의 변화, 감마 보정, 도트 확산, 그리고 에지 노이즈에 의해 왜곡이 발생한다[4].

그림 1은 원 영상과 1차 인쇄물을 스캔한 영상에 대한 화소값의 왜곡을 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 원 영상이며, 그림 1(b)는 원 영상을 1차로 인쇄하고 이를 스캔한 영상이다. 그리고 그림 1(c)는 두 영상간의 화소값의 차이를 나타낸 영상이다. 이는 프린트-스캔으로 인한 화소값의 왜곡 현상은 배경 부분보다는 경계 부분에서 크게 나타나고, 밝은 부분보다는 어두운 부분에서 많이 나타난다.

일반적으로 인쇄물이 스캐너에 의해 디지털 영상으로 입력되는 과정은 다음과 같다. 먼저 인쇄물을 스캐너 평판 위에 놓는다. 이때 인쇄물이 빠르게 놓이지 않으면 스캔된 영상에는 회전이 발생한다. 다음으로 인쇄물을 스캐닝을 하면, 스캐너는 저해상도의 미리보기 영상을 보여준다. 사용자가 영상의 적당한 범위만큼 선택하면 스캐너는 고해상도로 영상을 다시 스캔한다. 따라서 스캔된 영상은 일반적으로 배경을 포함한 절단 윈도우 내의 영상이다. 이러한 절단 과정은 원 영상의 원점을 이동할 뿐 아니라 절단으로 버려진 영역의 정보 손실을 초래한다. 따라서 스캐너에 의한 처리는 영상에 대한 회전, 크기변화 그리고 이동과 같은 기하학적 왜곡을 발생시킨다.

2.2 기하학적 왜곡에 불변하는 특성

2.2.1 LPM 변환의 특성

LPM 변환은 다음 두 가지 특성을 가진다. 먼저

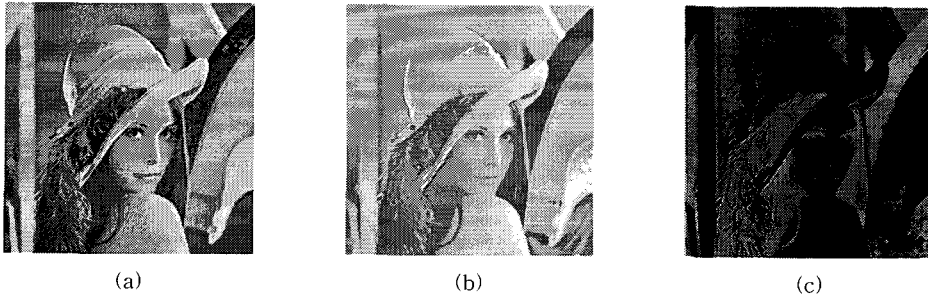


그림 1. 프린트-스캔 처리의 화소값 왜곡: (a) 원 영상, (b) 1차 인쇄 후 스캔 영상, (c) 차영상.

첫 번째는 크기변화에 대한 불변하는 특성이다. LPM 영상의 크기는 반지름(r)과 각도(θ) 방향의 표본화율 N_r 과 N_θ 에 의해 결정되므로 원 영상의 크기 변화에 영향을 받지 않는다. 두 번째는 직각 좌표계에서 회전을 LPM에서 순환 이동(cyclic shift)으로 바꾸는 특성이다. 다음 (1)은 직각 좌표계의 한 점(x, y)가 LPM의 한 점(r, θ)으로 변환되는 식이다.

$$\begin{aligned} x-x_0 &= \exp(r\Delta_r) \cdot \cos(\theta\Delta_\theta) \\ y-y_0 &= \exp(r\Delta_r) \cdot \sin(\theta\Delta_\theta) \\ \Delta_r &= \ln(D_{\max})/(N_r - 1) \\ \Delta_\theta &= 2\pi/N_\theta \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 (x_0, y_0) 은 LPM의 원점으로 사용되는 직각 좌표계의 좌표이고, Δ_r 과 Δ_θ 는 반지름과 각도 방향의 표본 간격을 나타내며, D_{\max} 는 원점에서 최대거리를 의미한다.

2.2.2 푸리에 변환의 특성

영상의 크기변화는 LPM 변환으로 불변하는 특성을 생성할 수 있다. 그러나 영상의 회전은 LPM 영상에서 순환 이동을 초래한다. 그러므로 LPM 영상의 순환 이동에 대해서 불변하는 특성을 생성해야 한다. 이를 위해 DFT 변환을 사용하며, DFT는 크기성분이 이동에 불변하다. 즉, (2)와 같이 공간영역에서의 이동은 단지 위상성분의 선형 이동만을 초래한다. 따라서 LPM 영상의 순환이동은 DFT 변환으로 불변성을 구현할 수 있다.

$$\begin{aligned} f(x, y) &\leftrightarrow F(u, v) \\ f(x+a, y+b) &\leftrightarrow F(u, v)\exp[-j(au+bv)] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 a 와 b 는 x, y 축으로 이동의 정도이고, $F(u, v)$ 는 $f(x, y)$ 의 DFT의 크기성분이다.

2.2.3 불변의 무게 중심

LPM은 영상의 중심을 원점으로 하여 변환한다. 그러나 영상이 회전되거나 이동될 경우, 원 영상의 중심과 회전이나 이동 한 이후에는 중심이 달라질 수 있다. 따라서 기하학적 왜곡이 발생하여도 불변하는 LPM 원점을 결정해야 한다. 본 연구에서는 LPM의 원점으로서 영상의 무게 중심을 이용한다. 무게 중심(C_x, C_y)은 일반적으로 (3)과 같다.

$$C_x = \frac{\sum_x \sum_y x \cdot f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)}, \quad C_y = \frac{\sum_x \sum_y y \cdot f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)} \quad (3)$$

여기서 $f(x, y) = I(x, y) / \sum_x \sum_y I(x, y)$ 이다. 따라서 영상의 무게중심은 영상 내의 화소 좌표와 화소값의 비율에 의해 결정된다. 즉, 영상의 무게중심은 기하학적 왜곡이나 프린트-스캔과 같은 처리에 의해 변경될 수 있다. 따라서 이러한 왜곡의 영향을 막기 위해 불변의 무게중심 C_f 를 구한다.

2.3 워터마크 삽입 및 검출

프린트-스캔 처리는 영상에 화소값과 기하학적인 왜곡을 가져온다. 따라서 인쇄물에서 워터마크의 삽입 및 검출은 이러한 왜곡에 강인한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 기존 김범수 등[7]이 제안한 RST에 강인한 워터마킹 방법을 개선하여 인쇄물에 대한 위조 방지를 위한 워터마킹 방법을 제안한다.

2.3.1 워터마크 삽입

제안한 워터마크 삽입 방식은 LPM 영상을 DFT하여 주파수 계수에 워터마크를 삽입하며 그 과정은 그림 2와 같다.

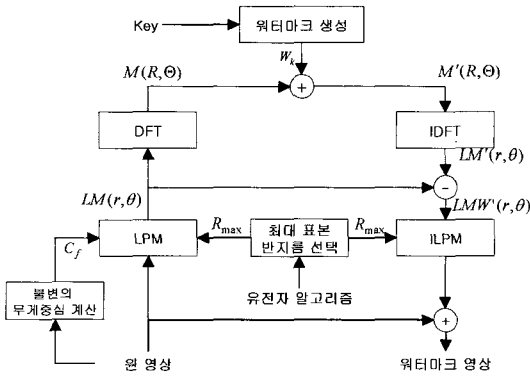


그림 2. 워터마크 삽입 과정

- step 1. 원 영상이 입력되면 불변의 무게중심을 계산한다.
- step 2. 유전자 알고리즘을 이용하여 최대 표본반지름 R_{max} 를 지정한다.
- step 3. 불변의 무게중심과 지정된 최대 표본반지름 R_{max} 로 LPM 변환하여 $LM(r, \theta)$ 를 얻는다. $LM(r, \theta)$ 는 이동에 무관하나 여전히 회전에 대해서는 순환 이동을 초래한다.
- step 4. 순환 이동에 불변하는 특성을 갖기 위하여 LPM 영상에 DFT 변환을 수행하여 크기성분인 $M(R, \theta)$ 를 산출한다. 다음은 워터마크 삽입을 위하여 $M(R, \theta)$ 를 이용한다. $M(R, \theta)$ 은 이동이나 회전과 같은 기하학적 공격에 무관한 특징이 있기 때문이다.
- step 5. 워터마크 W_k 는 저작권자의 키 k 에 의해 생성되며 -1 또는 1의 값을 갖는 N 길이의 의사 랜덤 시퀀스이다. 또한 삽입 위치는 (5)를 만족해야 하며, 랜덤하게 선택된다.

$$W_k = w_1, w_2, w_3, \dots, w_N, \quad w_i = -1, 1 \quad (4)$$

$$f_1 < \sqrt{R^2 + \Theta^2} < f_2 \quad (5)$$

여기서 f_1, f_2 는 DFT의 DC에서 반지름 거리이다. 이때 f_1, f_2 의 값이 작을수록 저주파 성분을 의미하며, 값이 클수록 고주파 성분을 의미한다.

- step 6. 워터마크의 삽입은 선택된 위치에 대하여 (6)과 같이 수행한다. 여기서 α 는 워터마크 강도이다.

$$M'(R, \theta) = M(R, \theta)(1 + \alpha w_i) \quad (6)$$

- step 7. 워터마크가 삽입된 영상에 대해 화질 열화를 막기 위해서 다음과 같은 과정을 거친다. 먼저 워터마크된 영상을 IDFT 한 다음에 원 영상의 LPM 영상을 제거한다. 이는 워터마크의 LPM 영상만을 역 LPM변환 과정을 거쳐서 원 영상에 추가하는 간접적인 방식을 사용하는 것이다. 그 결과, 원본 영상의 손실 없이 화질의 열화를 감소할 수 있다.

2.3.2 워터마크 검출

다음은 워터마크 검출에 관한 것이다. 워터마크 검출은 원 영상 없이 워터마크를 검출하고 저작권 정보를 판단한다.

- step 1. 영상이 입력되면 불변의 무게중심을 원점으로 하여 지정된 최대 표본반지름 내에서 LPM 영상을 생성한다.
- step 2. 생성된 LPM 영상에 DFT하여 크기성분 $M(R, \theta)$ 을 구한다.
- step 3. 워터마크 삽입 시에 사용된 키 k 를 이용하여 N 개의 좌표 $M(R_1, \theta_1), \dots, M(R_N, \theta_N)$ 를 선택하고, (7)의 유사도 S (similarity)를 이용하여 계산한다.

$$S = \sum_{i=1}^N w_i \cdot M(R_i, \theta_i) / \sqrt{\sum_{i=1}^N M(R_i, \theta_i)^2} \quad (7)$$

- step 4. 유사도를 임계값과 비교하여 워터마크의 존재 여부를 결정한다.

3. 최대 표본반지름을 이용한 위조 방지 워터마킹

그림 3은 제안된 인쇄물 위조 방지를 위한 워터마킹 시스템의 블록도이다. 합법적인 과정은 원 영상에 워터마크를 삽입한 후, 이 영상을 한 번 인쇄하여 사용하는 것이다.

따라서 워터마크 검출 시에는 출력된 인쇄물을 스캔하여 정상적인 워터마크를 검출할 수 있다. 반면 오른쪽의 불법적인 과정은 1차 출력된 저작권 인쇄물(Copyright printed contents)을 스캐닝하여 불법적으로 조작하는 경우이다. 이 조작된 영상을 인쇄하

여 위조된 인쇄물(Re-printed contents)을 만들어내지만, 워터마크 검출 시에는 정상적인 워터마크가 검출되지 않는다. 따라서 인쇄물의 위조 방지를 위해서는 1차로 인쇄된 인쇄물을 스캔하는 경우에만 워터마크가 강건하게 살아남고, 2차 이상의 프린트 및 스캔된 인쇄물에 대해서는 워터마크가 검출되지 않도록 한다[9].

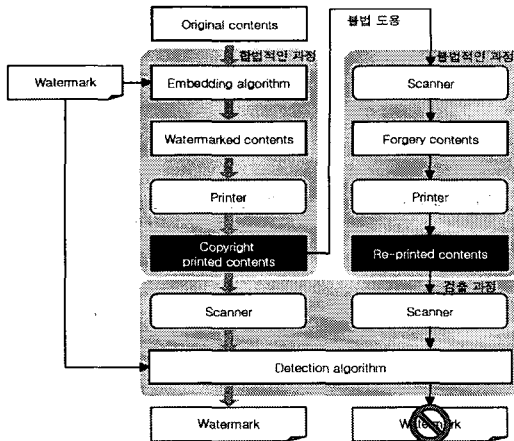


그림 3. 인쇄물 위조 방지를 위한 워터마킹 시스템

3.1 워터마크 삽입을 위한 주파수 밴드의 선택

제안한 워터마킹 기법은 인쇄물의 위조 방지를 목적으로 한다. 따라서 합법적인 1차의 프린트-스캔 과정에서는 워터마크가 강하게 살아남고, 불법적인 2차의 프린트-스캔 과정에서는 워터마크가 검출되지 않아야 한다.

그러나 기존 방법[7]은 (5)와 같이, 워터마크가 삽입되는 주파수 밴드는 원점 DC에서 50~70($f_1 \sim f_2$) 사이로 저주파 밴드를 사용하고 있다. 그러므로 압축, 필터링 등과 같은 파형 공격에 강인한 특징을 가지고 있다. 따라서 이 방법을 인쇄물에 그대로 적용할 경우, 1차의 인쇄물뿐만 아니라 2차의 불법적인 인쇄물에서도 워터마크가 검출되는 문제점이 있다. 따라서 이 방법은 원본 증명은 가능하지만 위조 방지가 불가능하다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 프린트-스캔 처리의 특성인 공간 영역에서 화소값의 왜곡을 주파수 영역에서 분석한다.

그림 4는 1차·2차 인쇄물을 스캔한 영상에 대해

밴드별 DFT 크기를 원 영상의 DFT 크기에 대한 비율로 표시한 것이다. 여기서 주파수 밴드는 DFT의 원점 DC에서 반지름 거리를 의미하는 것으로서 작은 값은 저주파 대역, 큰 값은 고주파 대역을 의미한다. 저주파 밴드에서는 원 영상의 DFT 크기와 인쇄물을 스캔한 영상의 DFT 크기가 유사하지만, 고주파 밴드로 갈수록 그 비율이 낮아져서 원 영상과 차이가 커지는 것을 알 수 있다. 특히, 2차 인쇄물에 대한 스캔 영상은 원 영상의 DFT 크기에 비하여 상대적으로 크게 떨어져 고주파 성분을 차단하는 필터의 특성을 나타내었다.

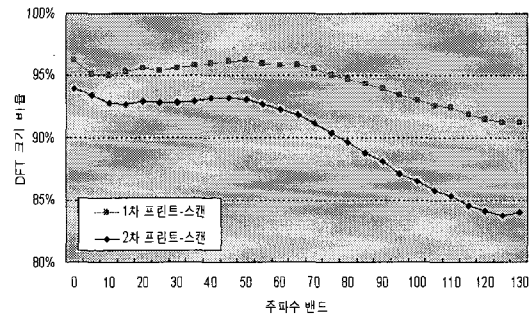


그림 4. 주파수 밴드에 따른 DFT크기에 대한 비율

본 연구에서는 워터마크 삽입에 이러한 프린트-스캔 처리의 특성을 고려하기 위하여, 표 1에서와 같이 주파수 밴드별로 워터마크를 삽입하고, 1차와 2차 인쇄물에 대한 스캔 과정을 거친 영상에 대하여 유사도를 검출하였다.

그 결과, 저주파 밴드인 50~70에 워터마크를 삽입한 경우는 1차 인쇄물의 스캔뿐만 아니라, 2차 인쇄물의 스캔 영상에서도 유사도가 높게 검출되었다. 또한 고주파 밴드에 워터마크를 삽입할수록 상대적으로 1차 인쇄물의 스캔에 비하여 2차 인쇄물의 스캔에서 유사도가 낮게 검출되었다. 그러나 이 경우에는 회전에 대한 강인성이 낮아지는 문제점이 나타났다.

따라서 인쇄물의 위조 방지를 위하여 회전과 이동과 같은 공격에 강인할 뿐 아니라, 1차 인쇄물에 대한 스캔 영상에서는 유사도가 특정 임계값 이상을 나타내고, 2차 인쇄물에 대한 스캔 영상에서는 임계값 이하를 나타내는 주파수 밴드를 실험적으로 선택할 수 있다. 본 연구에서는 실험적으로 임계값을 4.0으로 하고 주파수 밴드를 70~110으로 선택하였다.

표 1. Lena 영상에 대한 주파수 밴드별 공격 후 유사도

주파수 밴드 ($f_1 \sim f_2$)	유사도				
	워터마크 삽입영상	이동 공격 후	회전 공격 후	1차 인쇄물의 스캔영상	2차 인쇄물의 스캔영상
50~70	9.39	8.08	8.29	7.27	5.99
60~80	9.51	7.73	7.83	6.41	4.99
70~90	9.74	8.21	7.31	6.88	5.88
70~100	9.33	7.83	6.71	5.80	3.89
70~110	9.60	8.31	6.81	6.02	2.99
80~110	9.67	7.67	5.30	5.65	2.82
90~110	9.71	7.76	4.87	4.01	0.52

3.2 최대 표본반지름의 지정

3.2.1 최대 표본반지름의 적용

기존의 LPM 변환은 (1)의 수식을 이용하여 LPM 영상을 생성한다. 이러한 LPM 변환은 원점에서 최대거리의 $\ln(D_{max})$ 를 정해진 표본수로 나누어서 표본 간격 Δ_r 을 계산한다. 그러나 영상이 이동 및 회전 되었을 때, 실제 원점에서 최대거리 D_{max} 는 원 영상과 다르게 된다. 따라서 표본 간격 Δ_r 도 변경된다. 그 결과, 원 영상의 LPM과는 다른 LPM 영상을 생성하게 된다. 따라서 이는 기하학적 왜곡에 불변하는 특성을 유지하거나 워터마크 검출에도 부정적인 영향을 준다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 제안한 방법에서는 LPM 영상을 구할 때, 전체영상에 대하여 원점에서 최대거리의 $\ln(D_{max})$ 를 사용하지 않는다. 즉, 본문에서는 미리 정의된 최대 표본반지름 R_{max} 를 사용하여 표본 간격 Δ_r 을 일정하게 하였다. 이를 통해서 원 영상의 LPM과 동일한 LPM 영상 생성이 가능하여 워터마크 검출시에 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 상대적으로 워터마크의 강도를 낮게 할 수 있으므로, 워터마크된 영상의 화질을 개선할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 LPM 영상을 생성하기 위하여 (1)을 변경한 (8)을 사용한다. 여기서 R_{max} 는 지정된 최대 표본반지름이다.

$$\begin{aligned}
 x-x_0 &= r\Delta_r \cdot \cos(\theta\Delta_\theta) \\
 y-y_0 &= r\Delta_r \cdot \sin(\theta\Delta_\theta) \\
 \Delta_r &= R_{max}/(N_r-1) \\
 \Delta_\theta &= 2\pi/N_\theta
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

3.2.2 유전자 알고리즘을 이용한 최대 표본반지름

그림 5는 Lena 영상에 대해서 최대 표본반지름 별

로 LPM 영상을 생성하여 워터마크를 삽입하고 유사도와 화질을 측정 한 결과이다. 최대 표본반지름이 작을수록 영상의 적은 부분에 워터마크가 삽입되어서 PSNR이 높게 나타났다. 그러나 유사도는 최대 표본반지름이 약 182일 때 약 9.5로서 최대값을 나타내었다.

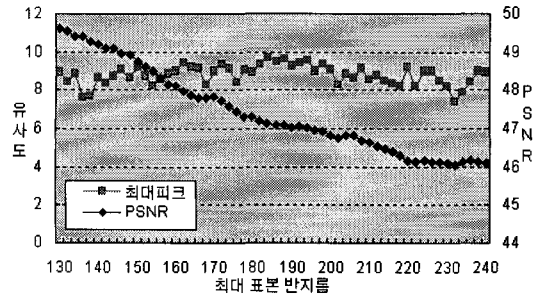


그림 5. 최대 표본반지름에 대한 유사도와 PSNR

그림 6은 워터마크가 삽입된 영상에 이동 및 회전 공격을 한 후 유사도를 나타낸 것이다. 이동 공격의 경우 x 축에 대해 -20에서 +20화소 이동 후에 유사도를 산출하고 이를 평균한 것이다. 또한 회전 공격은 시계방향으로 1도에서 10도 회전한 영상에 대해서 유사도를 산출하고 이를 평균한 것이다.

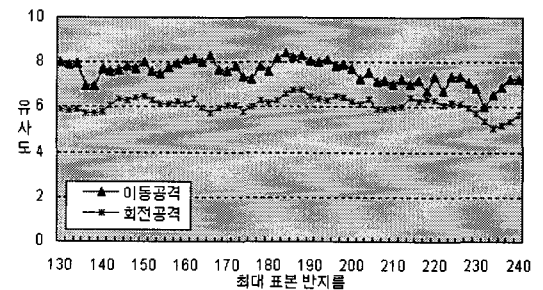


그림 6. 이동 및 회전 공격에 대한 유사도

워터마크 삽입에 있어서, 비시각성과 강인성은 상충(trade-off)된다. 따라서 그림 5와 그림 6에서와 같이 각 최대 표본반지름에 대해 워터마크된 영상에 대한 화질(PSNR)과 영상에 대한 공격 후의 강인성을 모두 고려한 최적의 최대 표본반지름을 선택하는 방법이 요구된다. 본 논문에서는 (9)와 같이 Pan 등 [10]이 제안한 유전자 워터마킹 방법의 적합도 F (fitness)를 이용하여 최대 표본반지름을 선택한다.

$$F_i = PSNR_i + \lambda_T \cdot T_i + \lambda_R \cdot R_i \quad (9)$$

여기서 $PSNR_i$ 는 i 번째 최대 표본반지름으로 워터마크가 삽입된 영상에 대한 화질을 나타낸다. 그리고 T_i 는 이동 공격 후의 유사도 평균이고, R_i 는 회전 공격 후의 유사도 평균이다. λ_T, λ_R 는 이동과 회전 공격의 영향을 반영하는 가중치이다.

그림 7은 (9)를 적용하여 각 최대 표본반지름에 대한 적합도 F 를 계산한 것이다. 영상의 화질과 공격에 대한 강인성에 대한 최적의 값을 산출하기 위하여 LPM 변환시의 최대 표본반지름을 선택할 수 있다. 그 결과, 본 연구에서는 최대 표본반지름을 약 188로 선택하였다.

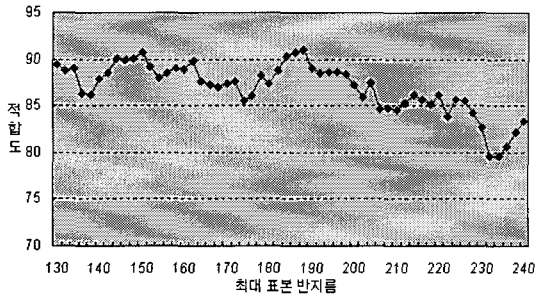


그림 7. 최대 표본반지름에 대한 적합도

4. 실험 결과

제안한 인쇄물에 대한 위조 방지를 위한 워터마크 방법을 실험하기 위하여, 실험 영상으로 Lena 등의 표준 그레이 영상(256×256)에 대해 AcuLaser C2000 프린터와 HP ScanJet ADF 스캐너를 600dpi의 해상도로 실험하였다.

또한 1차 인쇄물에 대한 스캔 영상에서 유사도가 임계값 이상의 값을 유지하기 위하여, 실험적으로 워터마크 길이 N 은 3000으로 정하고, 삽입강도 α 는 영상에 따라 0.4~0.6을 적용하였다. 또한 LPM 변환을 위한 표본수 N_r, N_θ 는 각각 256을 적용하였다.

표 2는 Lin의 방법과 김범수의 방법 그리고 제안한 방법을 적용하여 워터마크를 삽입하고 PSNR과 유사도를 비교하였다. Lin의 방법은 저주파 영역에서 고주파 영역에 이르는 전체 영역에 같은 값으로 워터마크를 삽입하기 때문에 상대적으로 다른 두 방법보다 낮은 PSNR과 유사도를 나타내었다.

또한 김범수의 방법은 LPM 변환에서 (1)을 적용하여 원점에서 최대거리 D_{max} 를 사용하였으며, DFT의 저주파 밴드에 워터마크를 삽입하였다. 제안한 방법은 (8)을 적용하여 최대 표본반지름 R_{max} 를 사용하여 정확한 LPM 변환이 가능하고, DFT 크기 성분에서 고주파 밴드에 워터마크를 삽입하였다. 그 결과 기존의 방법들에 비해 유사도가 높았으며 화질도 향상되었다.

표 2. 기존 방법과 제안 방법의 비교

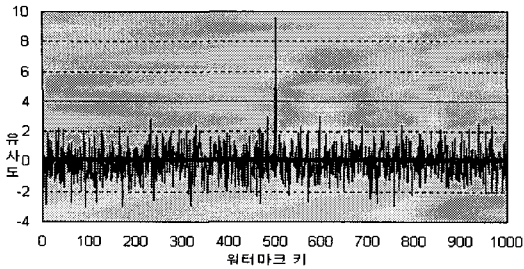
표준 영상	Lin의 방법		Kim의 방법		제안 방법	
	PSNR	유사도	PSNR	유사도	PSNR	유사도
Lena	38.15	5.70	43.33	7.79	47.11	9.60
Pepper	36.22	5.21	43.55	7.78	49.50	9.73
Baboon	36.11	5.47	43.46	7.90	46.95	9.85
Girl	37.84	5.71	42.13	7.83	46.69	10.58
평균	37.08	5.52	43.12	7.83	47.56	9.94

그림 8은 제안된 방법을 실험한 결과로, 1,000개 워터마크 키로 생성된 시퀀스 중에서 500번째 키로 생성된 시퀀스를 Lena 영상에 삽입하였다. 또한 각 영상에 대하여 서로 다른 1,000개 키로 생성된 시퀀스와의 유사도를 나타낸 것이다.

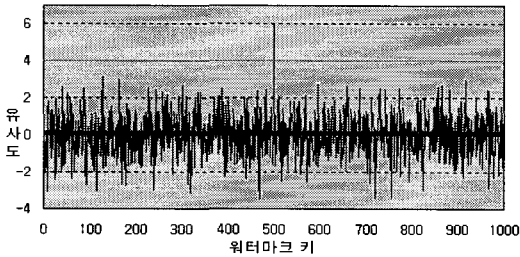
그림 8(a)는 워터마크 영상에 대한 유사도이다. 그 결과, 500번째 키로 생성된 워터마크에서 유사도가 가장 높게 나타났다. 본 연구에서는 워터마크의 삽입 유무를 판단하기 위한 임계값으로서 실험적으로 유사도 4.0을 사용하였다. 이 값은 1차와 2차 인쇄물에 대한 스캔 영상에서 위조 여부를 판별하기 위해 사용되는 임계값이다.

그림 8(b)는 합법적인 1차 인쇄물을 스캔한 영상에 대한 유사도 결과이다. 그림 8(a)와 마찬가지로 500번째 키로 생성된 워터마크에서 유사도가 4.0 이상의 값을 갖고 다른 키로 생성된 워터마크는 모두 4.0 이하의 유사도를 갖는다. 따라서 1차 인쇄물에 대해 저작권 증명이 가능하였다.

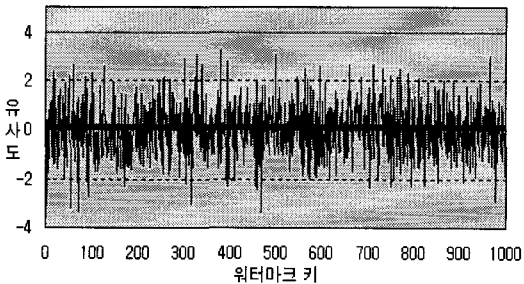
반면, 그림 8(c)는 1차로 출력한 인쇄물을 불법적으로 도용하는 경우로서 2차 인쇄물에 대해서 스캔하고 유사도를 검출한 것이다. 모든 워터마크와의 유사도가 4.0 이하를 나타내었다. 따라서 불법적으로 인쇄된 2차 인쇄물임을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. 1000개의 키로 생성된 워터마크 시퀀스에 대한 유사도 : (a) 워터마크된 영상, (b) 1차 인쇄물에 대한 스캔 영상, (c) 2차 인쇄물에 대한 스캔 영상.

표 3은 Lin의 방법과 김범수의 방법 그리고 제안 방법으로 워터마크를 삽입하고, 1차·2차 인쇄물에 대한 유사도를 검출한 결과이다. Lin과 김범수의 방법은 기하학적 공격 및 프린트-스캔에서의 강인성에만 초점을 맞추었다. 따라서 1차 인쇄물의 스캔 영상 뿐 아니라 2차의 불법적인 인쇄물을 스캔한 영상에서도 유사도가 임계값 4.0 이상으로 검출되어 위조 영상의 확인이 불가능하였다.

반면, 제안한 방법은 1차 인쇄물에 대한 스캔 영상에서 임계값인 4.0 이상의 유사도를 검출하여 원본의 증거가 가능하였으며, 2차 인쇄물의 스캔에서는 임계값 이하의 유사도가 검출되어 위조 영상임을 판별할 수 있었다.

표 3. 기존방법과 제안방법의 인쇄물 스캔 후 유사도

표준 영상	유사도		
	1차 인쇄물에 대한 스캔	2차 인쇄물에 대한 스캔	1차와 2차 유사도 차이
Lena	4.94	4.48	0.46
Pepper	4.99	4.38	0.61
Baboon	5.08	4.43	0.65
Girl	4.69	4.24	0.45
평균	4.92	4.38	0.54

(a) Lin의 방법

표준 영상	유사도		
	1차 인쇄물에 대한 스캔	2차 인쇄물에 대한 스캔	1차와 2차 유사도 차이
Lena	5.78	4.65	1.13
Pepper	5.70	4.66	1.04
Baboon	6.90	6.01	0.89
Girl	6.19	5.32	0.87
평균	6.14	5.16	0.98

(b) Kim의 방법

표준 영상	유사도		
	1차 인쇄물에 대한 스캔	2차 인쇄물에 대한 스캔	1차와 2차 유사도 차이
Lena	6.02	2.99	3.03
Pepper	6.32	3.00	3.32
Baboon	6.08	3.08	3.00
Girl	6.10	1.96	4.14
평균	6.13	2.76	3.37

(c) 제안 방법

5. 결 론

본 연구는 인쇄물의 위조 방지를 위한 LPM기반의 워터마킹에 대한 연구이다. 제안한 방법은 프린트-스캔 처리에서 발생하는 화소값의 왜곡과 기하학적 왜곡에 강인하기 위하여 원 영상을 LPM 샘플링한 후, DFT 변환하여 워터마크를 삽입한다.

또한 프린트-스캔 처리 영상이 원본 영상에 비하여 DFT 크기가 상대적으로 크게 떨어져 고주파 성분을 차단하는 필터의 특성을 나타낸다. 이러한 특성을 이용하여 DFT의 삽입 주파수 밴드를 실험적으로 선택하였다.

따라서 합법적인 1차 인쇄물에서는 워터마크가 강인하게 살아남아 원본 증거가 가능하고, 불법적인 2차이상의 인쇄물에서는 워터마크가 검출되지 않아서 위조를 판단할 수 있었다.

Lena를 포함한 표준 영상을 사용하여 실험한 결과, 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 평균 47.56 dB를 나타내어 원 영상과 차이를 인식할 수 없었다. 그리고 최대 표본반지름을 지정하여 워터마크를 삽입함으로써 기존 방법에 비해 평균 4.46 dB 정도 향상되었다. 그리고 워터마크 삽입 영상의 유사도는 평균 9.94로서 기존 방법 보다 화질이 2.0 이상 높았다. 1차 인쇄물에 대한 스캔 영상의 유사도는 평균 6.13이 검출되어 임계값보다 상당히 높아 저작권의 증명 가능성이 높고, 2차 인쇄물에 대한 스캔 영상의 유사도는 평균 2.76으로서 임계값 이하로 검출되어 위조 영상임을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 프린트-스캔으로 인한 불변의 무게중심을 보다 효과적으로 처리하는 연구와 컬러 인쇄물에 대한 위조 방지 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 김범수, “불변의 무게중심을 템플릿으로 이용한 대수-극 좌표계 영상 워터마킹 기법,” *정보과학회 논문지*, 제9권, 제3호, pp. 341-351, 2003.

[2] M. Kutter “Watermarking Resisting to Translation, Rotation, and Scaling,” in *Proc. of SPIE International Conference on Multimedia Systems and Applications*, Vol. 3528, pp. 423-431, 1998.

[3] S. Pereira and T. Pun, “Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks,” in *Proc. of IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No. 6, 2000.

[4] C. Y. Lin and S.F. Chang, “Distortion Modeling and Invariant Extraction for Digital Image Print-and-Scan Process,” in *Proc. of Intl. Symp. on Multimedia Information Processing (ISMIP)*, 1999.

[5] C. Y. Lin, M. Wu, J.A. Bloom, I. J. Cox, M.L. Miller, and Y.M. Lui, “Rotation, Scale and Translation Resilient Watermarking for Images,” in *Proc. of IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 5, pp. 767-782,

2001.

[6] J. J. K. Ó Ruanaidh, and T. Pun, “Rotation, Scale and Translation Invariant Spread Spectrum Digital Image Watermarking,” in *Proc. of Signal Processing*, Vol. 66, No. 3, pp. 303-317, 1998.

[7] Bum-Soo Kim, Jae-Gark Choi, and KilHoum Park, “RST-Resistant Image Watermarking Using Invariant Centroid and Reordered Fourier-Mellin Transform,” in *Proc. of IWDW*, pp. 370-381, 2003.

[8] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, THE MIT Press, 1993.

[9] 배종욱, 정성환, “인쇄물의 위조 방지를 위한 회전과 이동에 강인한 LPM 기반의 워터마킹,” *한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집*, 제7권, 제2호, pp. 269-272, 2004.

[10] J. S. Pan, H. C. Huang, and F. H. Wang, “Genetic Watermarking Techniques,” in *Fifth International Conference Knowledge-Based Intelligent Information Engineering System & Allied Technologies*, pp. 1032-1036, 2001.



배 증 욱

2001년 창원대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2005년 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
 2005년~현재 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 워터마킹, 멀티미디어 정보보호, 영상처리 등



이 신 주

1991년 경남대학교 전산통계학과(학사)
 2000년 창원대학교 대학원 전자계산학과(석사)
 2005년 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)

관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 영상처리, 프로그램 시각화 등



정 성 환

- 1979년 경북대학교 전자공학과
(공학사)
- 1983년 경북대학교 대학원 정보
통신전공(공학석사)
- 1988년 경북대학교 대학원 영상
처리전공(공학박사)
- 1988년~현재 국립창원대학교
컴퓨터공학과 교수

관심분야: 영상정보처리, 멀티미디어 정보보호, 내용기
반 영상검색 등