

인쇄물의 위조방지를 위한 변환영역 기반 디지털 워터마킹

배종욱, 정성환
창원대학교 컴퓨터공학과

Email : bae@cdcs.changwon.ac.kr, sjung@sarim.changwon.ac.kr

Transform-based Digital Watermarking for Forgery Detection in Printed Materials

Jong-Wook Bae, Sung-Hwan Jung
MIPS Lab., Dept. of Computer Engineering, ChangWon Nat'l University

요 약

본 논문에서는 인쇄물의 위조방지를 위해 여러에 강한 디지털 워터마킹을 제안한다. 제안한 알고리즘은 워터마크 삽입을 위해 먼저 원영상을 웨이브릿 변환하여 근사(approximation) 이미지를 얻고, 워터마크는 근사 이미지의 DC계수를 제외한 중요한 DCT계수에 삽입된다. 워터마크의 강건도 향상을 위해 에러정정코드와 반복을 적용하고, 디지털 기기사이의 변환에 의한 차이를 줄이기 위해 CIE Lab 칼라 공간을 사용하였다. 표준 칼라 영상을 사용하여 실험한 결과, 기존 방법에 비하여 적은 반복으로도 비트에러가 발생을 감소하였으며, 알고리즘은 1차의 프린트 스캔에서는 robust 하고 2차의 프린트 스캔에서는 fragile 한 성격을 나타내었다. 본 알고리즘은 여권, 지폐, 신분증, 면허증등과 같은 인쇄물의 위조방지에 이용될 수 있다.

1. 서 론

컴퓨터의 눈부신 발전으로 다양한 형태의 멀티미디어 제작물은 쉽게 생산 가능해 졌다. 이에 따라 멀티미디어 제작물의 인증과 저작권 보호에 대한 효과적인 대처가 요구가 되고 있다. 멀티미디어 제작물 중에서 특히 디지털 영상물을 보호하기 위하여 디지털 워터마크(digital watermark) 방법이 사용되고 있다. 그러나 영상물을 프린트 및 스캔한 인쇄물에 대한 저작권 보호는 연구가 그다지 이루어지지 않은 실정이다[3].

디지털 기기(프린터, 스캐너 등)의 급속한 발전으로 원본의 불법적 복사와 인쇄물의 불법적 위조가 자행되고 있다. 또한 전 세계적으로 많은 여권이 위조되어 불법 거래 되고 있고, 칼라 프린터로 복사한 위폐까지도 손쉽게 제작되어 사회문제가 되고 있다.

칼라 인쇄 분야에서는 레이저 위조방지, 텔러폰 코드 위조방지, 컴퓨터 네트워크 위조방지와 같은 많은 위조 방지 방법들이 고안되어 왔다. 그러나 이런 위조 방지 기술은 특정 환경에서 특정 단계에 적용되고, 그 만큼 소요 비용은 가중 된다. 따라서 사람들은 더 경제적인 방식을 기대한다[1].

본 논문은 일반적인 환경에서 보다 경제적인 인쇄물의 위조방지를 위해서 변환영역 기반의 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 웨이브릿과 DCT를 결합한 디지털 워터마크를 사용하는 한편, 이 방법을 더 보완하기 위해서 여러 정정 코드를 사용하였다.

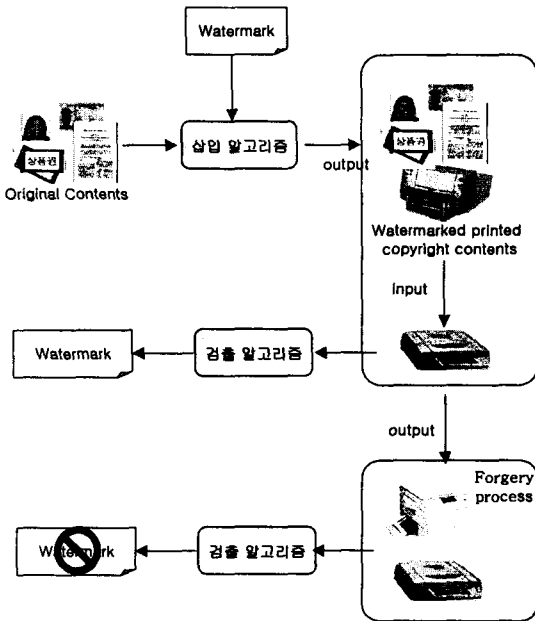
2. 프린트 및 스캔

2.1 프린트 및 스캔 시스템

[그림 1]은 저작권 소유 영상(copyright contents)

과 위조 영상(forgery contents) 모두에 워터마크를 삽입하고 추출하는 과정을 도식화한 것이다. [그림 1]에서 저작권 소유 영상과 위조 영상의 차이점은 워터마크 추출 이전 단계에서 찾을 수 있다.

저작권 소유 영상은 워터마크가 삽입된 영상을 한번 프린트 및 스캔하여 사용하는 것이며, 위조 영상은 이 저작권 소유 영상을 한 번 이상 프린트 및 스캔하여, 영상을 도용하는 것이다. 따라서 워터마크가 1차 프린트 및 스캔했을 때는 강건하게 살아남고, 2차 이상의 프린트 및 스캔 때에는 쉽게 깨져 버린다면 이상적인 것이다[1].



[그림 1] 프린트 스캔 시스템 개념도

2.2 프린트 및 스캔 과정의 특성

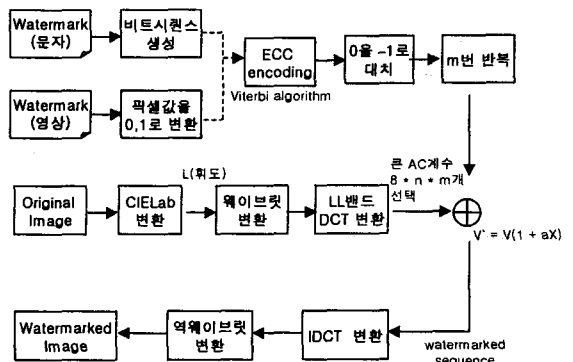
프린트 및 스캔 과정에서 왜곡은 세 가지 경우로 분류된다. 첫 번째는 인간 시야에 지각 가능한 왜곡으로 명암 대비의 변화, 감마보정, 이미지 하프톤, 인접 픽셀 브러링 등이다[2]. 인쇄 과정은 디지털에서 아날로그로의 변환 과정이고 스캐닝 과정은 역으로 아날로그 이미지를 디지털 이미지로 변환하는 과정이다. 스캐너의 해상도가 증가하면 입력 데이터가 증가하고 계산속도는 감소하게 되어 가변성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 이런 문제점을 없애고 일반적 환경에서 실험 결과의 비교 분석을 용이하도록 하기 위해서 출력 영상은 해상도 300dpi로 출력하고, 입력 영상은 600dpi로 스캔한다.

두 번째 경우는 인간 시야에 지각하지 못하는 회전, 절단, 크기변경, 같은 기하학적 왜곡이다[2]. 이러한 왜곡 현상은 디지털 영상이 인쇄될 때 혹은 인쇄 영상이 스캐너에 의해 디지털 영상으로 입력 될 때 필연적으로 발생한다. 스캐너 평판에 놓여진 인쇄물은 정확한 수직이 아니므로 보정을 위해 회전이 필요하며, 영상 정보가 없는 여백을 제거하기 위해서는 절단이 필요하다. 그리고 프린터 해상도와 스캐너 해상도가 항상 일치하지 않으므로 크기변경 (scaling) 또한 불가피하다.

세 번째 경우의 왜곡 현상은 각 장치는 저마다의 장치 종속적인 컬러 공간 기술(記述)을 사용해서 영상을 표현하기 때문에 나타나는 왜곡이다. 프린트 및 스캔 과정에서 영상의 칼라 변환이 이루어진다. 예를 들어 영상의 일반적인 컬러의 표현은 인간의 색상 능력에 근거를 둔 HSI 컬러 공간을 사용하고, 모니터는 RGB 컬러 공간을 사용하며, 인쇄물은 CMYK 컬러 공간을 사용한다. 그러므로 컴퓨터에서는 RGB로 표시하고, HSI로 편집되어 CMYK로 변환하여 출력하게 된다.

이런 서로 다른 컬러 공간은 각각의 컬러 표현의 단계와 범위를 가지고 있으므로 특정 컬러 정보가 기존과는 다른 컬러 공간으로 변환되면 정보가 손실되거나 변경되는 것이다. 이런 문제점을 방지하기 위해서는 다양한 컬러 공간 중에서 적합한 컬러 공간을 선택하는 것이 중요하다. CIELab 공간은 최근 가장 정확한 컬러를 기술(記述)하며 장치 독립적인 컬러 공간을 제공하므로 본 논문은 CIELab 공간을 채택하여 실험한다[1].

3. 제안한 워터마킹 시스템



[그림 2] 워터마크 삽입 알고리즘

[그림 2]는 제안한 시스템의 워터마크 삽입 과정을 도식화한 것으로 삽입할 워터마크 생성과정, 원영상 변환과정, 워터마크 삽입 후 영상의 복원과정을 보여준다.

3.1 워터마크 시퀀스 생성과 에러정정코드 적용

워터마크는 문자일 수도 이미지일 수도 있다. 문자의 경우 적은 정보를 삽입할 수 있지만 단 한 개의 에러비트도 없이 워터마크를 추출해야만 인증이 가능하다. 반면, 이미지의 경우 추출 정보의 어느 정도는 에러가 허용될 수 있으나 추출 정보를 이미지 형태로 인지하기 위해서는 보다 많은 량의 이미지 정보 비트를 삽입해야만 한다. 본 실험에서는 문자와 이미지 워터마크 모두에 가능한 정보량으로 문자인 경우에는 10개의 문자 즉 80비트 워터마크 문자를 삽입하고 이미지의 경우는 8×10 크기의 80비트 워터마크 이미지를 삽입한다.

워터마크 문자의 경우, 각 문자 값에 해당하는 비트코드를 0과 1로 된 시퀀스를 구성하며[1], 워터마크 이미지의 경우 흑백 픽셀값을 중간 값을 기준으로 0과 1로 구분하여 구성한다. 이 시퀀스에 Viterbi 에러정정코드(ECC)를 적용한다. 구속장(constraint length)이 3이고 부호율(code rate) 1/2인 Viterbi ECC는 원 시퀀스를 2배의 길이로 엔코딩된다[4,5].

이 Viterbi 엔코딩된 시퀀스를 0은 -1로 변경하고 1은 그대로 두어 1, -1로 구성된 시퀀스로 재구성한다.

이 시퀀스는 각 비트가 m 번 반복되어 원영상에 삽입될 전체 시퀀스를 구성하여, 워터마크 문자 개수가 n 개라면 전체 시퀀스의 길이는 $(8 \times n \times 2 \times m)$ 이 된다.

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

먼저 장치 독립적인 컬러 정보를 유지하기 위해서 원영상의 RGB 컬러 공간을 CIELab 컬러 공간으로 변경한다. 워터마크는 휘도(luminance)부분에 삽입되므로, 칼라 공간 변경 후 얻어진 휘도 부분의 데이터를 1차 Haar 웨이블릿 변환하여 다중해상도 영상을 얻는다. 그 중 근사 영상(LL밴드)을 DCT 변환해서 가장 큰 AC계수 $(8 \times n \times 2 \times m)$ 개를 선택하고, cox의 방법[6]으로 워터마크를 삽입한다

$$v' = v(1 + ax) \quad (1)$$

본 실험은 강건성과 비가시성을 동시에 획득하기 위해서 (식 1)을 사용한다. 여기서 v' 는 워터마크된 영상 픽셀값이고, v 는 원영상 픽셀값, a 는 삽입강도, x 는 워터마크이다.

워터마크 삽입 후 저작권 소유 영상을 얻기 위해서 역(逆) DCT가 수행되고 상응하는 역(逆) 웨이블릿 변환이 수행된다.

3.3 워터마크 추출 알고리즘

저작권 소유 영상과 위조 영상의 구별은 다음과 같이 행해진다. 먼저 워터마크가 삽입된 영상을 인쇄한다. 이 인쇄물은 다시 스캔되고 어느 정도 불필요한 여백을 지닌 스캔된 영상 얻는다. 다음으로 필요 없는 여백은 제외하고 영상 정보만을 지닌 영역만을 잘라내어 워터마크 시퀀스 추출을 준비한다. 마지막 단계로, 위에서 사용한 cox 방법을 역으로 수행하여 값들을 추출한다.

삽입한 $(8 \times n \times 2 \times m)$ 개의 값(V_j)을 추출한 후 이 값들을 평균(M)하여 경계값(threshold)으로 정하고, 이 경계값을 추출 값들과 (식 2)와 같이 비교하여 시퀀스를 생성한다.

$$\begin{aligned} V_j > M \text{ 이면, } & W_{ij} = 1 \\ V_j \leq M \text{ 이면, } & W_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

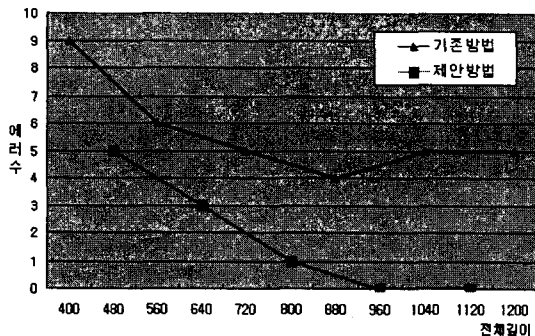
생성된 시퀀스를 m 번의 반복 횟수별로 구분하고, 각 반복 횟수별 같은 위치에 대응하는 시퀀스 m 개 중에서 1의 개수가 0의 개수보다 많으면 그 위치의 비트 값을 1로 간주하고, 그렇지 않으면 0으로 간주하여 시퀀스를 계산한다. 이런 과정은 m 번 반복되는 각 비트에 대해 50%이하의 에러율은 허용하는 것으로서, 각 비트의 에러율이 50% 이하이면 계산된 비트 값이 올바른 것이라고 추정할 수 있다.

마지막으로 계산된 시퀀스를 Viterbi 디코딩을 수행하여 워터마크 비트 시퀀스를 생성한다.

4. 실험 결과

본 실험은 PC(펜티엄III 1GHz)상에 Java를 사용하여 제안한 알고리즘을 구현하고, Lena, Baboon, Girl등의 표준 칼라 영상(256x256 pixel)을 대상으로 하였다. 그리고 EPSON AcuLaser C2000 프린터와 HP ScanJet ADF 스캐너를 사용하여 기존 방법[1]과 제안 방법을 실험하였다.

[그림 3]은 Baboon 영상으로 80비트의 워터마크 비트시퀀스에 반복 횟수를 달리하여 기존의 방법과 제안한 방법을 실험한 결과이다. 그림에서 전체 삽입 길이가 길어질수록 비트 에러수는 줄어든다는 것을 알 수 있었다.



[그림 3] 기존방법과 제안방법의 비트에러 비교

<표-1>은 표준 영상으로 주어진 반복횟수에서 워터마크 이미지에 대해, 80비트의 워터마크 비트시퀀스를 삽입하여 기존의 방법과 제안한 방법을 실험한 것이다. 제안한 방법은 실험한 모든 영상에서 기존의 방법에 비해 전체 시퀀스를 적게 삽입하고도 1차 프린트 스캔에서 비트에러를 평균이 약 1.7%로 기존방법의 약 6.3%보다 작게 나옴을 알 수 있었다. 또한 일반적으로 워터마크 비트에러율이 15% 이하인 경우, 저작권 소유 영상임을 추정할 수 있다[1]. 표에서 2차 프린트 스캔의 경우는 비트에러율이 약 33.3%로서, 15% 이상의 비트에러가 발생하여 위조 영상임을 확인할 수 있었다.

<표-2> 기존 방법과 제안 방법의 비트에러율(%)

반복수(전체시퀀스길이)		기존방법 (80)	제안방법 (60)
1차 프린트 스캔	Baboon	5.00	1.25
	Lena	6.25	1.25
	Girl	7.50	2.50
	평균	6.25	1.67
2차 프린트 스캔	Baboon	30.00	28.75
	Lena	47.50	38.75
	Girl	41.25	32.50
	평균	39.58	33.33

5. 결 론

본 연구는 인쇄물의 위조방지를 위한 디지털 워터마킹에 대한 연구이다. 웨이브릿과 DCT 변환을 결합하여 원영상에 적용하고 가장 에너지가 집중된 계수에 워터마크를 추가한다. Lena를 비롯한 표준 칼라 영상으로 제안한 방법을 실험한 결과, 반복횟수에 따라 비트에러가 감소하며, 특히 에러정정 코드의 적용으로 적은 반복으로도 기존의 방법에 비해 1차의 프린트 스캔에서는 평균 비트에러율을 약 4.6% 감소하여 강건도를 향상할 수 있었다. 그리고 2차의 프린트 스캔에서는 15%이상의 에러율의 발생으로 위조 영상임을 확인할 수 있었다. 이러한 특성은 ID 카드나 여권, 지폐와 같은 위조방지에 적용 가능하다.

향후 연구로는 원본을 필요로 하지 않은 (blind watermarking) 방식 및 회전과 크기변환에 강건한 워터마킹 방식의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Y.J. Song, R.Z. Liu and T.N. Tan, "Digital watermarking for forgery detection in printed materials," Proc. of the second IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia, pp. 403-410, 2001.
- [2] C.Y. Lin, and S.F. Chang, "Distortion Modeling and Invariant Extraction for Digital Image Print-and-Scan Process," ISMIP 99, 1999.
- [3] C.Y. Lin, "Public Watermarking Surviving General Scaling and Cropping : An Application for Print-and-Scan Process," Multimedia and Security Workshop as ACM Multimedia 99, 1999.
- [4] Viterbi Algorithm, <http://www.bigcloud.pe.kr/>
- [5] Viterbi Algorithm, <http://lcmwww.epfl.ch/APP/LETS/VITERBI/Viterbi.html>
- [6] I.J. Cox, J. Killian, T. Leighton, and T. Shamoan. "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," ICIP'96 IEEE Trans. Image Process., vol.6, no.12, pp. 1673-1687, 1997.