

# 프린트-캡처에 강인한 디지털 영상 포렌식마킹에 관한 연구

정희원 서용석\*, 김원겸\*\*, 황치정\*\*\*

## A Study on Digital Image Forensic Marking against Print-and-Capture

Yong-Seok Seo\*, Won-Gyum Kim\*\*, Chi-Jung Hwang\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 포토 프린터와 디지털 카메라에 의한 ‘프린트-캡처’ 모델과 같은 D/A-A/D 변형에 강인한 디지털 영상 포렌식마킹 기술에 관한 연구이다. 디지털 카메라에 의한 프린트 출력 영상을 캡처할 때는 압축, 잡음, 기하학적 변형, 카메라 렌즈 왜곡과 같은 다양한 왜곡 요소들이 복합적으로 가해진다. 본 논문에서는 이러한 ‘프린트-캡처’ 환경과 같은 D/A-A/D 변형된 영상으로부터 삽입된 포렌식마크 정보를 추출하는 방법을 검토하였다. 64비트의 사용자 ID 정보를 디지털 영상에 삽입하고 출력된 영상을 디지털 카메라로 다시 캡처한 영상으로부터 삽입된 포렌식마크 신호를 추출하기 위해 다중 비트의 포렌식마크 신호를 타일 패턴으로 반복해서 영상에 삽입을 하였으며, 실험 결과 포렌식마킹된 영상의 출력물에서 디지털 카메라를 통한 포렌식마크의 추출이 성공적으로 이루어지는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Forensic Marking, Watermarking, Print, Capture

### ABSTRACT

This paper addresses an digital image forensic marking scheme against D/A-A/D conversion such as print-to-capture model performed by a photo printer and digital camera. When capturing a printout image by a digital camera, various kinds of distortions such as compress, noise, geometrical distortions, and lens distortions are applied slightly and simultaneously. In this paper, we consider several steps to extract forensic mark from the D/A-A/D distorted image in print-to-capture scenario. To embed 64-bits customer ID into an image and in order to extract forensic mark from a captured image, a multi-bits forensic mark is embedded repeatedly like a tiling pattern. We show that the extracting is successful from the image captured by a digital camera through the experiment.

### I. 서 론

디지털 포렌식마킹(digital forensic marking)은 멀티 미디어 콘텐츠 저작권 보호 기술의 하나인 워터마

킹(watermarking)과 같이 콘텐츠에 비인지적으로 정보를 은닉하고 추출하는 기술로서, 주로 사용자 정보를 삽입하여 불법 사용되는 콘텐츠를 발견할 경우 처음 유포한 사용자를 추적할 수 있는 기술이다.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

[2007-S017-01, 사용자 중심의 콘텐츠 보호·유통 기술]

\* 한국전자통신연구원 콘텐츠연구본부 DRM연구팀 (yongseok@etri.re.kr), \*\* (주)마크애니, \*\*\* 충남대학교 전기정보통신공학부  
논문번호 : 08066-1030, 접수일자 : 2008년 10월 30일

최근, 광고나 포스터 등에 사용되는 고품질의 유료 영상 콘텐츠를 포토 프린터와 디지털 카메라를 이용하여 포스터나 잡지와 같은 상업적인 용도로 재사용하는 경우가 있는데, 디지털 포렌식마킹 기술은 이러한 문제에서 좋은 해결 방안이 될 수 있다. 콘텐츠 소유자(또는 판매자)가 재배포(또는 재사용)되어진 영상으로부터 포렌식마크 정보를 추출함으로써 불법 재배포한 구매자를 확인하는 것이 가능하고, 이를 통해 해당 콘텐츠가 무단 도용되는 것을 방지할 수 있다.

지금까지 디지털 영상을 대상으로 한 정보 은닉 (information hiding) 기법들이 많은 연구자들에 의해 다양한 방법들로 연구되어 왔다<sup>[1-10]</sup>. 그러나 대부분의 기술들은 구매자 정보와 같이 많은 비트를 삽입 정보로 사용하기에는 충분하지 않은 기법들이었으며 또한 ‘프린트-캡춰’ 공격에 대해서는 지금까지의 많은 연구들이 뚜렷한 해결 방법을 찾고 있지 못한 상태이다. C.Y.Lin [9]은 ‘프린트-스캔’ 모델에서 발생하는 디지털 영상의 다양한 왜곡에 대해 모델링을 하고 왜곡 불변 영역을 찾는 방법을 제안했으나, 제안한 방법에서 이러한 왜곡을 극복할 실제적인 워터마킹 방법에 대해서는 해결책을 제시하지 못하였다. C.Y.Lin 이후에도 RST 왜곡 불변 영역에서의 워터마킹을 위해 Fourier-Mellin 계수값을 이용하는 방법들이 이론적으로 규명되었으나, 구현상의 어려움으로 인해 실제 환경에 적용한 예는 없었다. L. Yu [10]는 Random Pulse Signal을 워터마크 신호로 삽입하여 ‘프린트-스캔’ 모델에 강인한 워터마킹 기법을 제안하였으나, 다수의 구매자 확인을 위한 시나리오에는 적합하지 않은 단순 워터마크 삽입 방법이었으며 [3, 4]와 같이 핑거프린트 코드를 이용하여 다수의 구매자를 식별하는 핑거프린팅 방법은 공모 공격에는 강인하지만, ‘프린트-스캔’ 또는 ‘프린트-캡춰’와 같은 D/A-A/D 변환에 적용하기에는 삽입되는 핑거프린트 코드의 길이가 너무 길며 또한 왜곡에 대한 강인성을 확보하기 어려운 정보 은닉 방법이었다.

본 논문에서는 이와 같은 문제들을 해결하기 위해 구매자 정보와 같은 다중비트 정보를 포렌식마크 신호로 변조/복조하는 방법과 기하학적인 변형을 추정하기 위해 많이 이용되던 ‘기준 신호’를 사용하지 않고 반복 삽입되는 포렌식마크 신호 자체의 주기성을 이용하여 기하학적인 변형을 복원하는 방법을 사용하였다. 또한 삽입 시 HVS 모델을 설계하여 비가시성을 유지하면서 강인성을 확보하게끔 하

였으며 포렌식마크 삽입을 디지털 영상의 공간영역에서 이루어지게 하여 주파수 영역을 대상으로 하는 방법들에 비해 실시간으로 삽입/추출이 가능해 실제 환경에 적용이 가능하도록 노력하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 포렌식마크 정보를 다중비트로 구성하여 디지털 영상에 삽입하는 방법과 D/A-A/D 변환 후 삽입된 정보를 다시 추출하는 방법에 대해 설명을 하고, 제안한 방법의 성능 평가를 위해 III장에서 포토 프린터와 디지털 카메라를 이용한 실험결과를 살펴본 후, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안하는 포렌식마킹 방법

### 2.1 포렌식마크 삽입 방법

본 논문에서의 포렌식마크 삽입은 디지털 영상의 공간영역(spatial domain)에서 이루어지며, 포렌식마크 삽입의 전과정은 아래 그림 1과 같다. 포렌식마크를 디지털 영상에 삽입하는 과정은 크게 메시지 변조(Message modulation)와 HVS(Human Visual System), 그리고 반복 삽입부분으로 나눌 수 있다. 메시지 변조 부분에서는 구매자 ID와 같은 64비트 정보를 단위 블록 크기의 2차원 순열로 변환하고, HVS 부분에서는 원 영상을 참조하여 삽입강도에 영향을 미치는 HVS값을 화소별로 계산하여 단위블록 크기의 포렌식마크 신호를 디지털 영상에 반복 삽입한다.

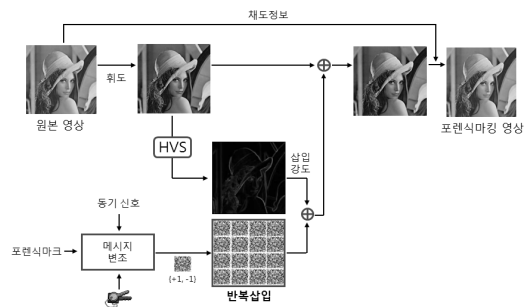


그림 1. 포렌식마크 삽입 전체 과정

#### 2.1.1 메시지 변조

메시지 변조 기술은 사용자의 ID와 같은 ASCII 기반의 문자를 디지털 영상에 실제 삽입되는 포렌식마크인 무작위순열 형태로 변환하는 기술을 말하며 이 변조 기술에 따라 영상의 단위 면적에 따른 포렌식마크의 삽입용량(capacity)이 크게 좌우된다.

본 논문에서 사용하는 메시지 변조 기술의 기본 아이디어는 아래와 같다.

일반적인 2차원 무작위순열에 대해 자기상관도 (Auto-correlation)를 구해 보면 그 계수의 최대값은 (0,0) 위치에 나타난다. 이 값을 correlation-peak라고 한다. 하지만 2차원 무작위순열을 (x,y)만큼 circular-shift 한 다음 상호상관도(Cross-correlation)를 구해보면 correlation-peak의 위치는 (x,y)만큼 이동해 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 128x128 크기를 단위 블록(unit block)으로 설정하고 이 블록 안에 64비트의 포렌식마크를 삽입하였다. 이를 위해 우선 단위블록을 각각 8x8 화소 크기의 256개 서브블록으로 나누면, 256개의 서브블록으로 0~255 범위의 8비트 정보 표현이 가능하다. 영상에 삽입될 64비트의 포렌식마크 정보는 8비트의 문자 심볼로 나누어지고, 각 심볼이 표현하는 이진값은 다시 서브블록 번호로 이어진다. 즉, 8비트의 심볼 정보는 단위 블록의 서브블록 인덱스로 사용되며 correlation-peak가 해당 서브블록에 위치함으로써 8비트의 문자 심볼을 표현하게 된다. 그 세부 단계는 다음과 같다.

- ① 8비트의 심볼을 삽입하기 위해서 우선 단위블록 크기의 2차원 무작위순열을 생성한다.
- ② 8비트 심볼의 값을 서브블록 인덱스로 간주한다.
- ③ 서브블록 (0,0)+(4,4)에 대한 pixel 인덱스를 계산한다.
- ④ 계산된 pixel 인덱스만큼 무작위순열을 circular-shift한다.

서브블록에 (4,4) 위치만큼의 추가 인덱스를 더하는 이유는 포렌식마크 추출 시 이동(translation) 변형에 대한 강인성을 부여하기 위해서이다. 추출 시 correlation-peak가 어느 서브블록에서 발생하는지에 따라 심볼값이 유추되는데 피크를 서브블록의 가운데에 위치시킴으로써 이동 변형에 대한 약간의 강인성 확보가 가능하게 된다.

64비트의 8개 문자 심볼을 128x128 단위블록에 모두 함축하기 위해서는 위에서 설명한 과정을 8번 반복한다. 이때 주의할 점은 8개의 심볼에 대해서 서로 직교(orthogonal)하는 다른 무작위순열을 사용해야 하는데, 이는 사용자에 의해 주어진 키(key)로부터 구할 수 있다.

그림 3은 8개의 심볼('MyID1234')을 각각의 키에 따라 circular-shift한 후 병합하여 하나의 무작위순열로 생성하는 과정을 도식화한 것이다. 8개의 무

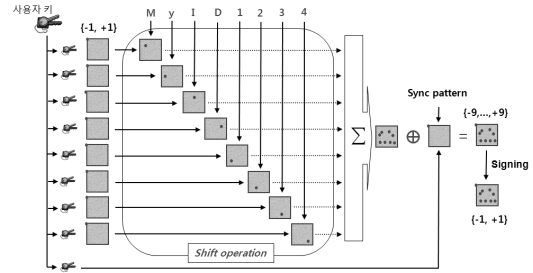


그림 3. 포렌식마크 메시지 변조 방법

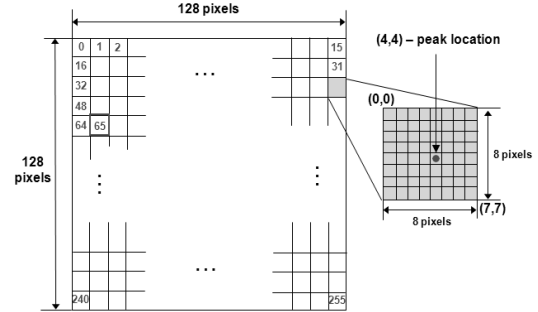


그림 2. 포렌식마크 단위 블록의 구조

작위순열을 더한 후 추출 시 이동변형에 대한 보정을 위하여 동기신호(sync pattern)를 추가로 더해준다. 이 신호는 circular-shift하지 않은 순수한 신호로 이동에 대한 상대적인 보정좌표를 찾는데 활용된다. 동기신호까지 더하면 {+9, -9}로 이루어진 신호가 되는데 이 신호를 후에 계산된 HVS값을 반영하기 위해 부호값만 취하여 메시지변조 모듈의 최종 출력으로 삼는다. 따라서 최종적으로 영상에 삽입될 포렌식마크는 {+1, -1}로 이루어진 128x128 크기의 단위블록이 된다.

### 2.1.2 HVS(Human Visual System)

HVS는 포렌식마크를 영상에 삽입하는데 있어 비가시성(im-perceptibility)을 유지하면서 최대한 강인하게 삽입하기 위해 필요한 기술이다. 일반적인 HVS 모델은 주변값들에 대한 관계로 표현할 수 있는데 통계적 계산치인 주변값과의 표준편차를 주로 이용한다. 즉, 주변 픽셀과의 편차가 작은 평면(flat) 영역에는 편차값에 비례하여 작고 약하게 삽입하는 반면 편차값이 큰 edge나 texture 영역에는 강하게 삽입한다. 본 논문에서는 3x3 마스크를 이용하여 각 화소별 평균(Aver)과 표준편차(Std)를 계산하여 영상을 flat, strong edge, 그리고 texture 영역으로 구분한다. 그리고 어두운 영역과 아주 밝은 영역에 삽

입의 가중치를 두기 위하여 가중함수(Weighted function)를 아래와 같이 사용한다.

$$WF(i)=2\cdot\tanh(i/25), I=[0;255] \quad (1)$$

위에서 정의된 가중함수는 픽셀의 평균값,  $Aver(i,j)$ 에 의해 결정된다. 즉,  $Aver(i,j)$ 가 작은 값이면 어두운 영역이므로 1과 2사이의 가중치를 적용하며, 반대로 큰 경우에도 1과 2사이의 가중치를 적용하여  $Aver(i,j)$ 가 0이나 255로 가까이 갈수록 2 값에 가까운 가중치를 출력하도록 하였다. 최종적으로 본 논문에서 사용한 HVS는 아래 식과 같다.

$$HVS(i,j)=\begin{cases} K & \text{If } x(i,j) \text{ is Flat or Strong edge} \\ Std(i,j)\cdot WF(Aver(i,j)) & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $K$ 는 상수로 HVS의 삽입강도나 영상의 종류에 따라 달리 정의될 수 있으며, strong edge 영역도 flat 영역과 같이 포렌식마크를 약하게 적용을 하였다. 이렇게 하는 이유는 edge 중에서 매우 강한 strong edge 영역에도 포렌식마크가 강하게 삽입되면 시각에 인지될 가능성이 있기 때문에 이를 방지하기 위함이다.

### 2.1.3 삽입 강도 조절 및 반복 삽입 방법

본 논문에서 삽입하고자 하는 64비트의 포렌식마크는 위에서 설명한 메시지변조 모듈을 거쳐 128x128 크기 단위블록 하나의 무작위순열이 되며, HVS 모델에 의해 각각 픽셀에 대한 삽입강도가 정해지게 된다. 본 논문에서는 휘도(luminance)정보에 포렌식마크를 삽입하며, 아래와 같은 삽입식을 따른다.

$$x'(i,j)=x(i,j)+\alpha\cdot HVS(i,j)\cdot r(i,j) \quad (4)$$

$x'(i,j)$ 는 포렌식마크가 삽입된 픽셀,  $HVS(i,j)$ 는 HVS 모델 계수,  $r(i,j)$ 는 포렌식마크를 함축하고 있는 무작위순열을 나타내며  $\alpha$ 는 사용자가 정의한 포렌식마크 삽입강도이다.

이와 같이 HVS를 적용한 포렌식마크 값이 계산되면 실제 디지털 영상에 단위블록 크기로 반복적으로 삽입된다. 반복적으로 삽입하는 이유는 단위블록 자체를 RST보정을 위한 기준 신호로 사용하기 위해서이다. 단위블록 크기로 반복해서 삽입을 하면 추출 시 자기상관도가 일정하게 발생하게 되는데 이를 자기참조패턴(self-reference pattern)이라 하며, 이를 기준점으로 활용하여 기하학적인 변형의 역정보를 계산하고 영상을 보정하는데 활용한다.

## 2.2 포렌식마크 추출 방법

본 절에서는 삽입된 포렌식마크를 추출하는 과정에 대해 설명한다. 본 논문은 원본 없이 포렌식마킹된 영상에서 바로 추출할 수 있는 방법을 제안하며, 추출 과정은 포렌식마킹된 영상에서 포렌식마크 신호를 포함하고 있는 것으로 예측되는 노이즈 성분을 추출하는 원본신호 예측 과정과 영상이 기하학적인 변형을 받았을 경우 RST 변형을 보정하는 과정 그리고 추출된 노이즈 형태의 신호에서 삽입된 64비트 포렌식마크 정보를 키 값을 이용하여 복원하는 메시지 복조(Message demodulation) 과정으로 구분할 수 있다.

### 2.2.1 원본 신호 예측

원본 신호 예측 과정은 노이즈와 같은 포렌식마크 신호를 영상에서 분리하는 방법으로 일반적으로 노이즈 제거 필터를 사용한다. 노이즈 제거 필터에 의해 제거된 노이즈에는 삽입한 포렌식마크 신호가 많이 포함되어 있다고 가정을 하며, 본 논문에서는 적응위너(Adaptive Wiener) 필터를 사용하였다.

위너필터는 입력을 원하는 출력과 가능한 한 매우 근사하게 변환시켜주는 필터로써, 여기서 ‘가능한 한 매우 근사하게’의 의미는 필터 출력과 원하는 결과의 차의 제곱의 합이 최소가 된다는 의미이다. 위의 그림 4에서  $e(x,y)$ 가 최소가 되는  $h(x,y)$ 를 위너필터라 한다. 본 논문에서 사용하는 위너필터의 수식은 아래와 같다. 아래의 수식은 Lee필터라고도 하며 픽셀의 지역적인 특성을 이용하여 노이즈를 제거한다.

$$\therefore f'(n_1,n_2)=\hat{m}_f(n_1,n_2)+\frac{\hat{\sigma}_f^2(n_1,n_2)}{\hat{\sigma}_f^2(n_1,n_2)+\sigma_v^2}(g(n_1,n_2)-\hat{m}_f(n_1,n_2))$$

$$\hat{m}_f=\frac{1}{(2M+1)^2}\sum_{k_1=n_1-M}^{n_1+M}\sum_{k_2=n_2-M}^{n_2+M}g(k_1,k_2),$$

$$\hat{\sigma}_f^2=\frac{1}{(2M+1)^2}\sum_{k_1=n_1-M}^{n_1+M}\sum_{k_2=n_2-M}^{n_2+M}(g(k_1,k_2)-\hat{m}_f(n_1,n_2))^2$$

$\hat{m}_f$ 는 주변값들과의 평균을 나타내고  $\hat{\sigma}_f^2$ 는 주변값들과의 분산,  $\sigma_v^2$ 은 노이즈의 분산을 나타낸다. 위너필

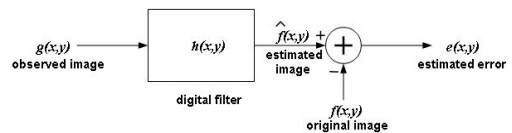


그림 4. 위너필터를 이용한 원본 신호 예측 방법

터의 성능은  $\hat{m}_f$ ,  $\hat{\sigma}_f^2$ ,  $\sigma_v^2$  값을 어떻게 추정하느냐에 달려 있는데, 본 논문에서는  $\hat{m}_f$ ,  $\hat{\sigma}_f^2$  값을 추정하기 위하여 3x3 마스크를 이용하였으며 노이즈 분산값은 포렌식마크가 삽입된 영상에서 3x3 크기 마스크내의 지역 분산값들의 평균값을 추정치로 사용하였다.

2.2.2 RST 보정

본 절에서는 포렌식마크가 삽입된 영상에 기하학적 변형이 일어났을 경우 그 변형 정도를 파악하여 보정하는 기술에 대해 설명한다. 본 논문에서 고려하는 기하학적 변형은 회전(rotation), 스케일(scale), 이동(translation) 변형 3가지이며 이하 RST 변형이라 한다.

RST 검출은 포렌식마크를 반복적으로 삽입된 영상에 대하여 자기상관도(Auto-correlation) 피크를 추출한 후, 이들 피크들 간의 거리와 회전 정보로부터 영상의 크기변화와 회전정보를 검출하고, 포렌식마크와 같이 삽입된 동기 신호(Sync code)와의 상호상관도(Cross-correlation)로부터 영상의 이동정보를 검출하는 것을 기본 아이디어로 하고 있다.

2.2.2.1 피크 필터링

위너필터를 통한 원본신호 예측 과정에서 포렌식마크 신호의 자기 상관도를 구해보면 육안으로 구분하기 어려울 정도의 매우 많은 피크들이 생기는데 이 중에서 반복삽입으로 인한 유효한 피크들을 걸러내는 작업이 우선적으로 필요하며 그 과정은 아래와 같은 순서로 진행된다.

- ① 먼저 8x8과 같은 작은 크기의 윈도우에서 가장 큰 상관도 값만 남기고 나머지 값은 -1 값으로 설정한다.
- ② 다음 블록으로 윈도우를 이동하여 ①을 실행한다.
- ③ 윈도우를 한 픽셀씩 이동하지 않고 한 블록씩 이동시키므로 영상 크기가 윈도우 크기의 배수가 되지 않을 경우에는 반대방향으로 ①과 ② 과정을 한번 더 실행한다.
- ④ 전체 영상에 대하여 실행이 끝나면 윈도우 크기를 늘려서 ①~③ 과정을 반복한다. 본 논문에서는 윈도우 크기를 8x8부터 80x80까지 사용하고 있는데, 최대 윈도우의 크기에 따라 영상의 스케일링 보정 범위가 결정된다. 예를 들어 최대 128x128크기의 윈도우를 적용할 경우 축소된 영상에서의 피크를 추출할 수 없으므로 윈도우 최대 크기를 삽입된 포렌식마크의 기본 블록 크기보다 작게 설정해야 한다.

2.2.2.2 RS 추출 및 보정

피크 필터링을 통과한 피크들로부터 회전 및 크기변경 정보를 추출하기 위해서는 여러 가지 경험적인 지식이 필요하다. 본 논문에서는 보다 빠르게 RS 변형 정보를 추출하기 위하여 필터링된 피크들이 이루는 직선 정보를 뽑아내어 직선의 기울기와 직선을 이루는 점간의 거리를 파악하며 그 과정은 다음과 같다. 먼저, 1차 필터링된 피크들 중에서 임의로 3개의 피크를 선택하고 이 피크들이 다음 두 조건을 만족한다면 직선을 이룬다고 판단한다.

- 조건 1) 3점이 이루는 거리의 비율이 1:1:2 일 때
- 조건 2) 3점이 일직선 상에 있을 때

즉, 그림 5에서와 같이  $p_1$ ,  $p_3$ 가 멀리 떨어져 있는 두 점이고,  $p_2$ 가 가운데 있는 점일 때 distA와 distB의 길이가 같고,  $p_2$ 가  $p_1$ ,  $p_3$ 에 의해서 만들어진 직선 위에 존재할 때, 이 3점들은 직선을 이룬다고 판단한다. 본 논문에서는 영상의 회전, 스케일링 시에 발생하는 영상 보간(interpolation) 문제 등을 감안하여 다음과 같이 허용 오차의 범위를 설정하고 있다.

- 1)  $|distA - distB| \leq 10 \text{ pixels}$
- 2)  $distC \leq 5 \text{ pixels}$

distA와 distB는 각각  $p_1$ ,  $p_2$  그리고  $p_2$ ,  $p_3$  사이의 유클리디언 거리로 계산되고, distC는  $p_2$ 에서  $p_1$ ,  $p_3$ 가 이루는 직선상에 수선을 내린 교점  $p_4$ 와  $p_2$ 간의 유클리디언 거리로 계산된다.

추출된 직선으로부터 RS정보를 구하기 위해서 비슷한 기울기, 길이를 갖는 직선들을 그룹화하고, 가장 많은 직선을 포함하는 그룹 순으로 정렬하며, 이때 직선의 개수가 같은 경우 0° 또는 90° 에 가까운 그룹을 우선으로 한다. 정렬된 그룹 중에서 많은 직선을 포함하는 최상위 그룹 2개를 선택하고, 그룹 내에 속한 직선의 각도와 스케일링 값의 평균을 구한 후, 이 값들을 이용하여 영상을 보정한다.

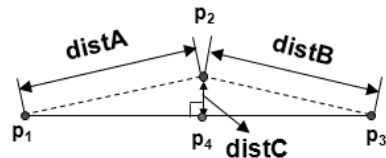


그림 5. RS 보정을 위한 유효 직선 선택 방법

2.2.2.3 T 추출 및 보정

자기상관도를 이용하여 추출된 피크의 위치는 이동(Translation) 정보를 반영하지 못하므로 이동 정보의 추출은 RS 정보 추출과는 달리 동기신호(Sync code)와의 상호상관도(Cross-correlation)를 이용하여 구한다. 그림 6에서와 같이 RS가 보정된 영상의 가운데 지점부터 128x128 블록 단위로 분할하여 각 블록을 픽셀단위로 병합하는데, 이는 상관도-피크의 값을 크게 하여 보다 정확하게 피크의 위치를 추출하기 위한 것이다. 그 다음 병합된 블록과 키에 의해서 만들어진 동기신호와의 상호상관도 피크의 위치를 추출하여 이동에 관한 보정을 수행한다. T보정은 정수 단위로 이루어지므로 영상 보간 과정은 필요치 않으며, 영상 테두리에서는 circular shift로 처리한다.

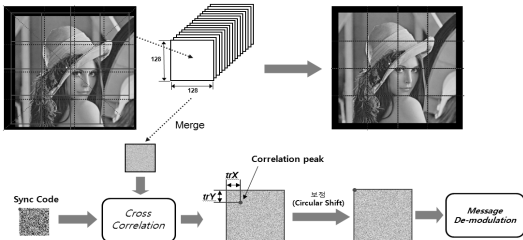


그림 6. Translation 보정 및 단위블록으로의 통합

2.2.3 메시지 복조

RST보정이 끝난 영상은 단위블록 크기로 모두 병합(merge)된다. 최종적으로 병합된 단위블록에서 삽입된 포렌식마크를 추출하는 기술이 메시지 복조 기술이다. 메시지 복조에서는 포렌식마킹된 영상에서 위너필터에 의해 추정된 포렌식마크와 키에 의해 생성된 무작위순열과의 상호상관도를 계산하여 삽입된 포렌식마크 문자를 추출한다.

그림 7에 도식화한 것처럼 먼저 알고 있는 키로 삽입 시에 사용했던 8개의 무작위 순열을 키에 의

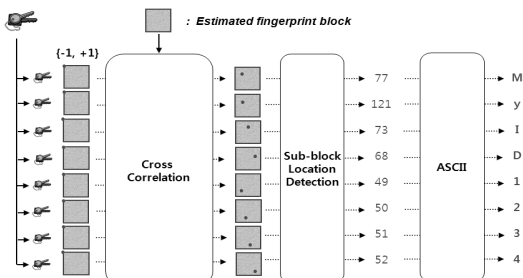


그림 7. 메시지 복조 방법

해 발생시킨다. 8개의 무작위 순열은 추정된 단위블록과 차례로 상관도를 계산하며, 각각에 대한 peak의 위치는 삽입된 8글자의 포렌식마크를 나타낸다. Peak의 위치로 서브블록의 위치를 계산하고 그 위치값에 ASCII 함수를 통과시키면 최종적으로 추출된 포렌식마크 문자가 출력되게 된다.

III. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 영상 포렌식마킹 방법의 성능을 평가하기 위해 그림 8에서와 같이 1024x768~1536x1024 크기를 갖는 컬러 영상 30개를 이용하여 실험을 하였다.

모든 영상에는 일반적인 ID로 많이 사용되는 “영문자+숫자” 조합의 8글자를 64비트의 포렌식마크 신호로 삽입강도 K=10 으로 하여 강하게 삽입하였다. 삽입강도 K 값에 따른 화질변화 정도는 아래 표 1과 같으며, PSNR값은 30개 영상의 평균값으로 나타내었다.



그림 8. 실험에 사용된 30개 영상들

표 1. 삽입강도(K)에 따른 화질 비교

K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PSNR (dB)	44.1	43.3	42.5	41.7	41.0	40.3	39.7	39.1	38.5	38.0

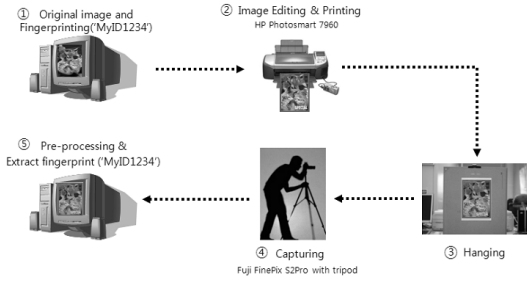


그림 9. 제안한 방법의 D/A-A/D 변환에 대한 강인성 평가 방법

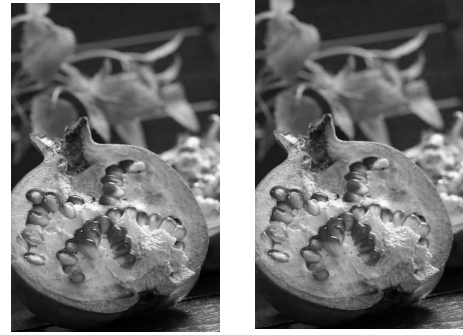
삽입강도를 10으로 하여 그림 8에 보인 실험 영상 30개를 대상으로 포렌식마크 삽입후의 영상 화질은 평균적으로 PSNR 38dB를 유지하여 비가시성을 만족함을 알 수 있었으며, 또한 본 논문에서의 방법이 출력물 영상을 대상으로 하기 때문에 비가시성은 PSNR 수치에 비해 양호함을 확인할 수 있었다.

실시간 삽입/추출을 위해 본 논문에서는 공간영역을 삽입 영역으로 선택하였는데, 실험에 사용된 Pentium D 3.4GHz, 2GB RAM의 PC에서 실험영상 30개의 평균 삽입/추출 시간은 1초 이내이며, 기하학적 변형이 발생했을 경우 포렌식마크 추출 시간은 약 15초 정도였다.

또한 본 논문에서 제안한 포렌식마킹 방법의 D/A-A/D 변환에 대한 강인성을 실험하기 위해 그림 9와 같은 시나리오로 실험을 하였다. 64비트 포렌식마크를 삽입한 영상을 A4 크기 포토 용지에 출력한 후, 일반 사무실 조명 환경하의 벽(보드)에 부착하고 디지털 카메라를 이용하여 영상을 캡취하였다. 이를 위해 600dpi를 지원하는 HP Photosmart 7960 컬러 프린터와 600만 화소의 Fujifilm S2Pro 모델의 디지털 카메라를 이용하였다.

카메라로 영상을 캡취할 때 적당한 스케일 범위 내의 영상 획득을 위해 카메라와 영상간의 거리를 적당히 조절하면서 실험을 하였으며, 실험 결과 제안한 방법에서 포렌식마크 추출이 가능한 스케일 범위는 약 90%~110% 정도임을 확인하였다.

그림 10은 실험에 사용된 30개 영상들 중에서 1280×768 크기를 갖는 ‘석류’ 영상의 원본(a)과 64비트의 포렌식마크를 삽입한 영상(b), 포렌식마크가 삽입된 영상이 무단 도용된다는 가정으로 생성한 편집 영상(c), 그리고 최종 편집된 영상이 인쇄물로

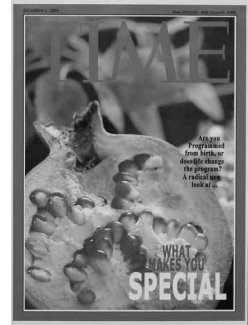


(a)

(b)



(c)



(d)

그림 10. D/A-A/D 실험 영상

(a) 원본 영상, (b) 포렌식마크를 삽입한 영상, (c) (b)를 편집한 영상, (d) (c)를 출력 후 캡취한 영상

출력된 것을 디지털 카메라를 이용하여 캡취한 영상 (d)을 각각 나타내고 있다. 포렌식마크 추출을 위해 캡취된 영상 (d)는 원본에 비해 영상 상에 글자와 테두리 등이 추가되었으며, D/A-A/D 변환을 통한 색감, 밝기 등의 변화, 기하학적인 왜곡 그리고 각종 잡음과 압축 등이 복합적으로 추가된 상태이다.

표 2는 포토 용지에 출력된 영상을 보드에 부착한 후 카메라로 촬영하여 포렌식마크를 추출한 결과이다. 디지털 카메라에서 비압축 촬영 모드(TIFF)로 실험 했을 경우에는 30개의 영상 중에서 27개 영상에서 삽입한 8개 ASCII 글자(64비트)를 성공적으로 추출 하였으며, 일반적으로 많이 사용하는 JPEG 압축 모드에서도 거의 같은 결과를 볼 수 있었다. 검출에 실패한 경우에도 8글자 중 1~2글자만 오 추출된 것이 대부분을 차지하였다.

표 2. 포렌식마크 추출 결과

카메라 모드	실험영상 수	성공갯수	검출률(%)
TIFF	30	27	90.0
JPEG	30	26	86.7

표 3. 회전 변형 추정 결과

Rotated angle	Estimated angle in [10]	Estimated angle in proposed method
0.5	0.492	0.453
1	0.984	0.974
2	1.966	2.022
5	4.970	4.980
10	10.050	10.042
30	29.932	30.003

또한 본 논문과 유사한 방식인 ‘프린트-스캔’ 모델에서의 워터마킹 기법을 제안한 [10]과의 성능 비교를 위해 [10]에서와 동일한 조건인 512x512 Lena 영상을 대상으로 회전 변형에 대한 강인성 실험을 하였으며 그 결과를 표 3에 나타내었다.

회전 변형에 대한 기존 방식[10]과의 비교 실험 결과, 1°이하의 회전 각에서는 추정 결과가 [10]에 비해 다소 부정확하지만 그 이상의 회전 변형에서는 [10]방식보다 좀더 정확한 회전 변형 각을 추정함을 확인할 수 있었으며, 이를 통한 회전 보정 후 삽입된 포렌식마크 문자를 모두 정확히 검출함을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 최근 활발한 연구가 진행되고 있는 저작권 보호 방법 중 영상 포렌식마킹 기술에 대해 구매자 정보와 같은 다중비트를 삽입하고 이를 프린트-캡처와 같은 D/A-A/D 변환 왜곡을 거친 후 다시 삽입된 정보를 추출하는 방법에 대해 살펴 보았다. 이러한 시나리오는 최근 광고나 포스터 등에 사용되는 고품질 유료 영상 콘텐츠들이 포토 프린터와 디지털 카메라를 통해 불법적으로 무단 도용되어 상업적인 용도로 재사용되는 문제에서 좋은 해결방안이 될 수 있다.

실험에서는 구매자 정보로 사용되는 8글자 즉 64 비트를 포렌식마크 신호로 디지털 영상에 삽입을 하고, 포토 프린터를 이용하여 출력한 후 다시 디지털 카메라로 캡처한 영상에서 삽입된 포렌식마크 신호를 추출하는 실험을 하였다. 이와 같이 디지털 영상이 ‘프린트-캡처’ 과정을 거치게 되면 압축, 기하학적 변형뿐만 아니라 D/A-A/D 변환으로 인한 다양한 왜곡들이 복합적으로 존재하게 되는데, 실험을 통해 이러한 왜곡에 대해서도 제안한 방법이 어느 정도의 강인성을 보임을 확인하였다.

또한 기하학적인 변형에 대한 워터마크 복원 방

법을 제시한 다른 기법들[5-10]과 비교할 때, 본 논문에서 제안한 포렌식마크 반복 삽입 방법이 복잡한 연산 과정 없이 보다 쉽고 간단하게 ‘프린트-캡처’ 시나리오에 적용 가능한 방법임을 확인하였다. 그리고 ‘프린트-스캔’을 모델로 한 방법에 비해 ‘프린트-캡처’ 모델에서는 단순 RST 외에 렌즈에 의한 비선형 왜곡과 흔들림, 잡음 등의 추가적인 왜곡들이 발생하는데 실험 결과를 통해 제안한 방법이 이러한 ‘프린트-캡처’ 시나리오에서 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

제안한 방법의 성능을 보다 정확히 확인하기 위해서는 실험에 사용된 디지털 프린터와 카메라의 종류를 보다 다양하게 구비하여 실험하는 것이 바람직하나 본 논문에서는 현실적인 제약 때문에 다양한 종류의 프린터와 카메라를 사용하지 못한 점이 아쉬움으로 남는다. 그러나 최근에 출시되는 카메라의 해상도가 1,000만 화소대임을 고려할 때 본 실험에서 사용한 600만 화소 카메라와 600dpi 이상의 성능을 가진 프린터에서는 본 실험과 유사한 결과를 확인할 수 있을 것으로 기대되며, 제안한 방법을 보다 일반적인 환경에 적용하기 위해서는 넓은 범위의 영상 크기 변화, 조도변화 등을 고려한 보다 다양한 환경에서의 연구가 지속적으로 이루어져야할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] I. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec. 1997.
- [2] D. Kirovski and H. Malvar, "Embedding and Detecting Spread-Spectrum Watermarks under Estimation Attacks," in *Proceedings of ICCASP'2002*, Vol.II, pp.1293-1296, 2002.
- [3] M. Wu, W. Trappe, Z. J. Wang, and K. J. R. Liu, "Collusion-Resistant Fingerprinting for Multimedia," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.15-27, 2004.
- [4] D. Boneh, J. Shaw, "Collusion-Secure Fingerprinting for Digital Data," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.44, No.5, pp.1897-1905, Sept. 1998.
- [5] S. Pereira, and T. Pun, "Robust Template



Matching for Affine Resistant Image Watermarks,” IEEE Transaction on Image Processing, Vol.9, No.6, pp.1123-1129, 2000.

[6] C.Y.Lin, M. Wu, J.A.Bloom, I.J.Cox, M.L.Miller, and Y.M.Liu, “Rotation, Scale, and Translation Resilient Watermarking for Images,” IEEE Transactions on Image Processing, Vol.10, Issue 5, pp.767-782, May 2001.

[7] M. Kutter, “Watermarking resisting to translation, rotation, and scaling.” in Multimedia systems and applications, Proc. SPIE 3528, pp.423-431, 1998.

[8] J. J. K. O’Ruanaidh and T. Pun, “Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking,” Signal Processing, 66, pp.303-317, 1998.

[9] C.Y. Lin, S.F. Chang, “Distortion modeling and invariant extraction for digital image print-and-scan process,” Int. Symp. Multimedia Information Processing 1999.

[10] L. Yu, X. Niu, S. Sun, “Print-and-scan model and the watermarking countermeasure,” Image and Vision Computing 23 (9), pp.807-814, 2005.

서 용 석 (Yong-Seok Seo)

정회원



1999년 2월 영남대학교 전자공학과 공학사  
 2001년 2월 영남대학교 정보통신공학과 공학석사  
 2001년 2월~현재 한국전자통신연구원 DRM연구팀 선임연구원  
 <관심분야> 저작권 정보 보호, 영상처리 및 압축

김 원 겸 (Won-Gyum Kim)

정회원



1992년 2월 충남대학교 전산학과 학사  
 1994년 2월 충남대학교 전산학과 석사  
 2001년 2월 충남대학교 정보과학과 박사  
 2002년 2월~2007년 1월 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2007년 3월~현재 (주)마크애니 수석연구원  
 <관심분야> 영상처리, DRM, 워터마킹

황 치 정 (Chi-Jung Hwang)

정회원



1975년 2월 서강대학교 수학과 졸업  
 1985년 2월 코네티컷주립대학교 전산학과 석사  
 1987년 2월 코네티컷주립대학교 전산학과 박사  
 1987년 2월 코네티컷주립대학교 객원교수  
 1999년 2월 충남대학교 전자계산소 소장  
 1988년 2월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수  
 <관심분야> 영상처리, 컴퓨터 비전, 컴퓨터그래픽스