

# 카메라 폰 상에서 사용자 인증을 위한 디지털 워터마킹 기법

## (Digital Watermarking Method for User's Certification of Camera-Phone)

이승익\*, 손재식\*\*, 임성운\*\*\*, 김덕규\*\*

(Seung-ik Lee, Jae-sik Sohn, Sung-woon Im, Duk-Gyoo Kim)

**요약** 교통 사고, 화재, 범죄 등이 발생했을 때, 누구든지 사진을 찍을 수 있고, 그 사진이 증거로 사용될 수 있다. 디지털 워터마킹은 특정 카메라 폰에서 찍은 사진이 인증될 수 있도록 보증할 수 있게 해준다. 본 논문에서는 카메라 폰에 적합한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 이 방법은 특정치 분해와 웨이블릿 분해를 기반으로 한다. 실험 결과는 제안된 방법이 JPEG 압축에 대해 보안성과 강인성이 좋음을 보여준다.

**핵심주제어** : 워터마킹, 카메라폰, 특정치분해, 웨이블릿 분해

**Abstract** In the event of a traffic accident, a fire accident, or a criminal act, anyone will be able to capture these important moments and use authentic photographs for evidence purposes. Digital watermarking is able to ensure that the digital photographs taken from a particular camera-phone are authentic and indeed. This paper presents a blind image watermarking technique for digital phone camera. This method is based on singular value decomposition (SVD) and wavelet decomposition. Experimental results show that the proposed technique performs well in security and robustness against JPEG compression.

**Key Words** : Watermarking, Camera-phone, Singular Value Decomposition, Wavelet Decomposition

### 1. 서론

오늘날의 현대화된 세상에서 디지털 폰 카메라는 대부분의 사람들이 매일 이용하고 있으며, 사람들은 디지털 폰 카메라를 가지고 손쉽게 풍경이나 인물, 사물 등의 영상을 획득할 수 있게 되었다. 특히 교통 사고나 화재 등이 일어났을 때, 그 현장

에 있던 사람들이 폰 카메라를 이용하여 영상을 획득한다면 그 영상은 보험 회사에 제출 할 수 있는 중요한 증거로써 사용될 수 있을 것이다. 또한 유사하게 범죄 현장에서 증거 목적으로 영상을 얻게 된다면 그 영상이 법 집행 기관에서 사건을 해결하는데 도움이 될 수 있다. 이렇듯 위에서 언급한 경우 등에서 획득한 영상들이 과연 제대로 된 증거 자료로써 사용될 수 있기 위해서는 인증 작업이 필요하다. 디지털 워터마킹은 특정 카메라 폰에서 찍힌 영상의 인증을 가능하게 한다.

디지털 워터마킹은 저작권 위반으로부터 멀티미

\* 연암공업대학 디지털정보전과

\*\* 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

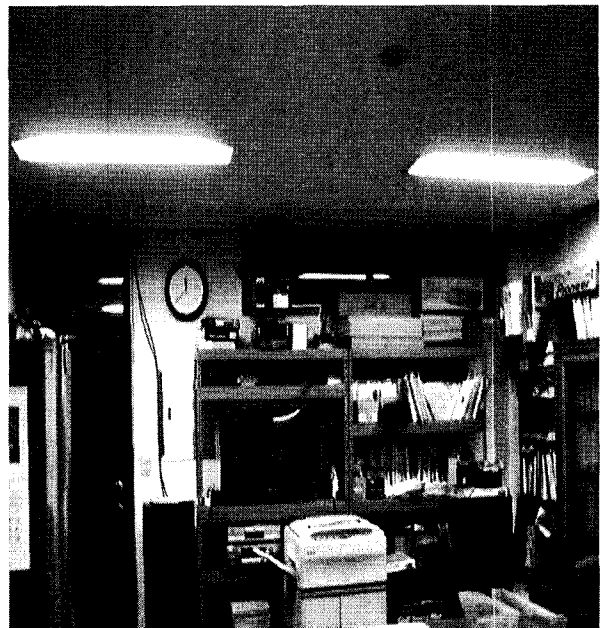
\*\*\* 경일대학교 제어전기공학부

디어 데이터를 보호하기 위한 도구로써 사용되었다. 영상 디지털 워터마킹은 소유권을 유일하게 확인할 수 있는 호스트 영상 (host image)에 눈으로 식별할 수 없는 신호 표시, 즉 워터마크를 끼워 넣는 것이다. 워터마크를 호스트 영상에 집어넣은 후, 눈으로 식별 할 수 있는 화질 감소가 있어서는 안 되며, 인증되지 않은 사람에 의해서 제거되어 지지 않아야 한다.

오늘날까지 여러 분야에서 많은 사람들이 영상 워터마킹 기법들에 대한 연구를 하고 있다. 영상 워터마킹 방법은 크게 두 개의 범주로 나눌 수가 있다. 하나는 공간 영역에서의 워터마킹 방법이고, 나머지 하나는 주파수 영역에서의 워터마킹 방법이다. 전자의 방법으로는 영상에서 각각의 화소 값들의 최하위 비트를 변경함으로써 워터마크를 넣는 방법 [1,4]이나 Chang 등이 제안한 인간 시각 특성을 이용하여 워터마크에 사용되는 비트를 적응적으로 조절하는 방법[2] 등이 제안되었다. Chang 등의 방법에서 사용되어지는 워터마크의 비트 수는 호스트 영상에서 화소 값의 시각 효과에 의해 결정된다. 이러한 공간 영역에서의 워터마킹 방법들에 대한 연구들이 많이 이루어졌으나 주파수 영역에서의 워터마킹 방법들이 견고성 등 여러 면에서 훨씬 좋은 성능을 보이고 있어 주파수 영역에서의 방법들이 더 많이 개발되고 있다. Barni [5]의 방법에서는 이산 코사인 변환 (DCT: Discrete Cosine Transformation)이 사용되었다. DCT 변환 후 지그재그 스캔 순서에서 미리 정해 놓은 중간 주파수의 계수들에 워터마크를 삽입하였다. 또한 워터마크의 길이는 워터마크의 비가시성을 확실하게 하기 위해 인간 시각 특성에 따라 바뀐다. Chu [6]의 방법에서는 원 영상에서 인터리브 (interleave) 방식으로 각각의 DCT 블록을 추출하고, 추출된 DCT 블록들의 계수들을 워터마크를 삽입하는데 사용할지의 여부를 결정하기 위해 시험한다. Barni 등 [7]의 방법에서는 이산 웨이블릿 변환 (DWT : Discrete Wavelet Transformation)이 처음 적용되었다. 이 방법에서 대부분의 상세한 서브밴드 (sub-band) 계수들이 워터마크를 삽입하기 위해 사용된다. 워터마크의 길이는 지각하지 못하게 하기 위해 마스크 (mask)를 조절하며, 영상 소유권을 확인하기 위해, 원 워터마크와 추출된 워터마크

간의 상관관계 (correlation)가 계산되어진다. Iwata와 Shiozaki [8]의 방법에서는 워터마크를 삽입하기 위해 서브밴드의 계수들 간의 관계가 조사되었다.

주파수 영역에서의 워터마킹 기법들 중 상당량이 DCT와 DWT를 사용하고 있다. 그러나 특이치 분해 (SVD : Singular Value Decomposition) 또한 상당히 강력한 방법이다. SVD는 가장 강력한 수치 해석 기법 중의 하나이며, 다양한 응용 분야에서 사용되고 있다 [9-12]. 본 논문에서는 DWT와 SVD를 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다.



(그림 1) 제안한 워터마킹 방법의 블록선도

## 2. 제안한 카메라 폰에 적합한 디지털 워터마킹 방법

오늘날 전 세계적으로 많은 사람들이 모바일 전자 제품이 사용하고 있으며 그 수는 폭발적으로 증가하고 있다. 특히 그 중에서 휴대폰은 그 중 가장 대표적인 제품이라 할 수 있다. 전자 기술의 발달로 인해 이 핸드폰에는 MP3, 전자 사진, 카메라 등 여러 가지 기능들이 통합되어 탑재가 되고 있다. 실제 많은 사람들이 카메라 기능이 탑재된 핸드폰을 사용하고 있으며, 매일 카메라 폰을 이용하

여 사진을 찍고 있다. 교통사고나 화재사고, 또는 범죄 현장에서 누군가가 카메라 폰을 이용하여 중요한 순간을 찍었을 때, 찍혀진 사진이 증거로써 사용되기를 바란다. 허나, 영상 처리 기술의 발달로 인해 사진이 쉽게 조작될 수 있다. 이로 인해 디지털 기기로 획득한 사진은 증거 사진으로 사용되지 않고 있다. 디지털 워터마킹은 특정 카메라 폰으로부터 획득한 사진이 영상 조작이 발생하지 않은 원본 사진이라는 것을 입증하게 해 줌으로써 획득 사진이 증거 자료로 사용될 수 있게 해 준다. 본 논문에서는 특정치 분해와 웨이블릿 분해를 이용하여 카메라 폰에 적합한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 본 장에서는 웨이블릿 분해와 특정치 분해 및 이 두 분해 방법을 이용하여 디지털 워터마킹을 이미지에 삽입하는 방법과 삽입된 워터마킹을 추출하는 방법을 설명한다. 제안한 알고리즘의 전체적인 블록 알고리즘은 [그림 1]과 같다.

### 2.1 인간 시각 시스템 특성

사람의 눈은 휘도, 주파수, 질감, 예지 등에 의해서 인지 능력에 영향을 받는다. 눈은 휘도가 높거나 또는 낮은 곳에서 민감도가 떨어지며, 고주파수 영역에서의 감응 인지 능력이 떨어지는 특성을 보인다. 또한 질감이 높은 영역과 예지에 가까운 영역에서도 인지 능력이 떨어진다. 그러므로 이러한 인간 눈의 특성을 이용한 기술들이 여러 분야에서 사용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 인간 눈의 특성을 이용하여 디지털 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

### 2.2 이산 웨이블릿 분해

DWT는 워터마킹 방법을 연구하는 사람들 사이에서 활발히 사용되고 있는 기법이다. 2D DWT는 우선 영상을 수평 및 수직 서브 샘플링 필터뱅크에 의해 네 개의 서브밴드 LL1, LH1, HL1, HH1으로 분해된다. LL1, LH1, HL1, HH1은 각각 스케일 웨이블릿 계수를 나타낸다. 그리고, 좀 더 낮은 스케일의 웨이블릿 계수를 얻기 위해 LL1을 다시 수평 및 수직 서브 샘플링 필터뱅크로 분해한다.

(그림 2)는 2 레벨 웨이블릿을 나타낸 것이다.

LL <sub>2</sub>	LH <sub>2</sub>	LH <sub>1</sub>
HL <sub>2</sub>	HH <sub>2</sub>	
HL <sub>1</sub>		HH <sub>1</sub>

(그림 2) 2 레벨 웨이블릿 분해

### 2.3 특이치 분해

특이치 분해는 수치 해석에서 행렬을 대각선화하기 위해 사용된 기술이다. 특이치 분해는 다양한 응용 분야에서 사용되고 발전되어 왔다. SVD는 식 (1)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 SVD(A) &= [UDV^T] \\
 &= \begin{bmatrix} u_{1,1} & \dots & u_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n,1} & \dots & u_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{1,1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \sigma_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1,1} & \dots & v_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n,1} & \dots & v_{n,n} \end{bmatrix} \\
 &= \sum_{i=0}^n \sigma_i u_i v_i^T
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, U와 V 성분들은 작은 특이치 값들을 가지는 n×n 실수 단위 행렬이고, D 성분은 큰 특이치 값을 가지는 대각 행렬이다.

디지털 영상 처리에서 SVD를 이용함에 있어서 몇 가지 이점이 있다. 첫째 SVD 변환으로부터 얻어진 행렬의 크기가 고정되어 있지 않고, 정사각 행렬 또는 사각 행렬이 될 수 있다. 둘째, 디지털 영상에서 특이치 값은 일반적인 영상 처리가 일어나도 덜 영향을 받는다. 셋째, 특이치 값은 고유의 대수적인 영상 성질을 포함한다.

워터마크의 삽입을 위해, 대각선 행렬인 D 성분

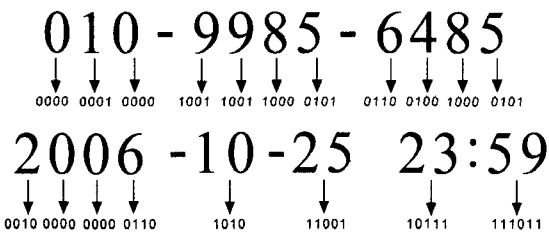
이 이용된다. D 성분의 계수들이 워터마크를 삽입하기 위해 변경된다. D 성분의 변경은 양자화 메커니즘에 의해 결정된다. 역 SVD 변환 후 워터마크가 삽입된 영상이 만들어진다. D 성분의 계수들이 일반적인 영상 처리에 잘 변형되지 않기 때문에 삽입된 워터마크도 역시 크게 영향을 받지 않게 된다. 워터마크가 삽입된 영상의 질은 양자화 값에 영향을 크게 받게 됨으로 적당한 양자화 값을 통해 영상의 열화를 작게 할 수 있다.

워터 마크 추출을 위해서는 SVD 분해를 한 후 D 성분들을 분석하여 워터마크를 삽입할 때의 규칙대로 워터마크를 추출한다.

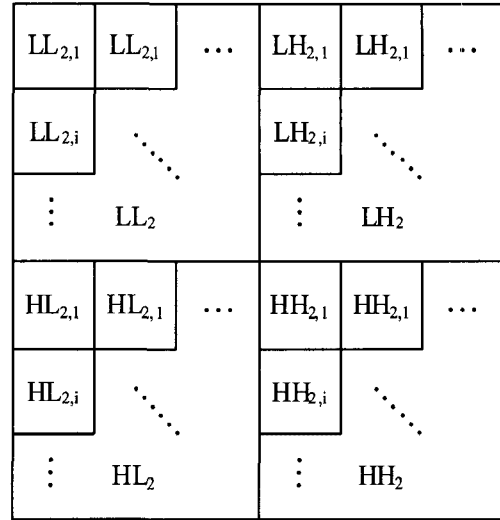
SVD를 이용한 워터마킹 방법들의 특징을 살펴 보면 특히 JPEG 압축에 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다[9-12]. 따라서 카메라 폰의 출력 영상이 JPEG 압축된 상태로 나오기 때문에 JPEG 압축에 강인한 방법을 제안하기 위해 SVD를 이용한다.

## 2.4 워터마크

디지털 폰에 삽입될 워터마크에는 획득한 영상을 인증하기 위해 날짜, 시간, 폰 번호 등의 정보가 들어가 있어야 된다. 따라서 본 논문에서는 날짜, 시간, 폰 번호 등이 각각 숫자로 이루어져 있음에 착안하여 숫자 하나를 4 비트로 나타내었다. (그림 3)은 워터마크의 예를 나타내고 있다. 본 논문에서는 총 80 비트의 워터마크를 사용한다. 추출된 워터마크의 정확도를 높이기 위해 640×480 크기의 영상에서는 15번 반복해서 총 1200 (80×15) 비트가 삽입되었다. 15번 반복해서 삽입할 때는 각 80 비트마다 삽입 순번을 미리 알고 있는 순서로 변경해서 반복적으로 삽입하며, 추출 시 80 비트 각각의 비트는 15번의 평균값을 이용하여 더 정확한 워터마크를 추출할 수 있다.



(그림 3) 카메라 폰 워터 마크의 예



(그림 4) 2 레벨 영역의 웨이블릿 계수들의 블록별 분할

## 2.5 워터마크 삽입 방법

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 방법은 다음과 같다.

**step 1 :** (그림 2)와 같이 2 레벨 웨이블릿 분해를 실행한다.

**step 2 :** 2 레벨 웨이블릿 영역 중 LL2 영역을 (그림 4)에서처럼 4×4 블록으로 나눈다.

**step 3 :** LL2 영역에서 각각의 블록마다 SVD를 실행한다.

**step 4 :** 각 블록에서 D 성분의 계수들을 추출한다.

**step 5 :** LH2, LH2, LH2 성분들을 더한다.

$$SUM\_HF2,i = LH2,i + HL2,i + HH2,i$$

**step 6 :** SUM\_HF2,i을 이용하여 D 성분을 변경할 양자화 값 (Qi)을 결정한다.

If SUM\_HF2,i == 0

Qi = Q1

Else if SUM\_HF2,i > Th1

Qi = Q2

Else if SUM\_HF2,i > Th2

Qi = Q3

Else if SUM\_HF2,i > Th3

Qi = Q4

Else

Qi = Q5

End

여기서, Th1, Th2, Th3, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 값은 워터마크를 삽입하고 추출하기 위한 열쇠로 사용된다.

step 7 : Qi를 이용하여 4단계에서 추출한 D 성분들을 나눈다.

$$Z_{n,i} = D_{n,i} \text{ mod } Q_i$$

step 8 : 삽입하고자 하는 워터마크 비트열 (80비트)을 미리 정해 놓은 순서로 섞는다.

step 9 : 앞에서 섞어 놓은 비트열을 다시 정해 놓은 순서로 섞어 앞에서의 비트열에 추가한다(총 160 비트). 이렇게 총 14번을 반복하여 80×15 비트를 만든다.

step 10 : 삽입하고자 하는 워터마크 값에 맞게 양자화 된 D 성분들 (Zn,i)을 아래 법칙에 따라 변환시킨다.

```

If watermark bit == 1
    If Zn,i is odd
        Zn,i = Zn,i + 1
    Else
        Zn,i = Zn,i
    End
Else
    If Zn,i is even
        Zn,i = Zn,i + 1
    Else
        Zn,i = Zn,i
    End
End
    
```

step 11 : 변경된 D 성분들에 양자화 값을 다시 곱한다.

$$Z_{n,i} = Z_{n,i} \times Q_i$$

step 12 : 역 SVD를 실행한 후 역 웨이블릿 변환을 하여 워터마크가 삽입된 영상을 획득한다.

## 2.6 워터마크 추출 방법

워터마크를 추출하는 방법은 삽입한 방법의 역순으로 진행된다.

step 1 : [그림 2]와 같이 2 레벨 웨이블릿 분해를 실행한다.

step 2 : 2 레벨 웨이블릿 영역 중 LL2 영역을 (그림 4)에서처럼 4×4 블록으로 나눈다.

step 3 : LL2 영역에서 각각의 블록마다 SVD를 실행한다.

step 4 : 각 블록에서 D 성분의 계수들을 추출한다.

step 5 : LH2, LH2, LH2 성분들을 다 더한다.

$$\text{SUM\_HF2},i = \text{LH2},i + \text{HL2},i + \text{HH2},i$$

step 6 : SUM\_HF2,i을 이용하여 D 성분을 변경할 양자화 값 (Qi)를 결정한다.

```

If SUM_HF2,i == 0
    Qi = Q1
Else if SUM_HF2,i > Th1
    Qi = Q2
Else if SUM_HF2,i > Th2
    Qi = Q3
Else if SUM_HF2,i > Th3
    Qi = Q4
Else
    Qi = Q5
End
    
```

step 7 : Qi를 이용하여 4단계에서 추출한 D 성분들을 나눈다.

$$Z_{n,i} = D_{n,i} \text{ mod } Q_i$$

step 8 : 나누어진 값들을 아래 규칙에 따라 워터마크의 비트를 결정한다.

```

If Zn,i is odd
    watermark bit = 0
Else
    watermark bit = 1
End
    
```

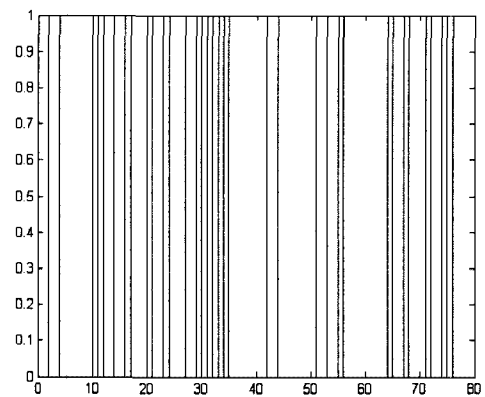
step 9 : 80×15 비트 크기의 추출된 워터마크를 80 비트씩 분리하여 워터마크 삽입 시 섞어 놓은 순서의 역으로 비트를 재배치하여 원래의 비트열로 만든다.

step 10 : 원 워터마크의 비트의 크기가 80 비트이나 더 정확한 워터마크를 추출하기 위해 워터마크 삽입 시 15번 반복해서 삽입하였다. 따라서 워터마크 추출 시에는 워터마크 각 비트와 똑같은 비트가 15개 있는 셈이므로, 원 워터마크의 비트는 15개의 비트들의 평균값을 반올림하여 그 값으로 결정한다.

### 3. 실험 결과

제안된 워터마킹 방법의 유효성을 검증하기 위해 여러 영상들에 대해 실험을 하였다. 실험에 사용된 영상은 흑백 영상으로 640×480 화소 크기의 영상이 실험 영상으로 사용이 되었다. 실험 영상의 획득 장비로는 삼성 카메라 폰이 사용되었다. 다양한 조명 환경에서의 영상들을 사용하여 제안한 방법에 대한 검증은 하였다. (그림 6)의 (a), (b)는 비교적 조명이 밝은 실내에서 획득한 영상이며, (c)는 조명이 어두운 복도를 찍은 영상이다. (d)는 오후, (e)는 석양, 그리고 (f)는 밤에 가로등 아래에서 찍은 영상들이다. 사용된 각 영상들은 영상 내에 복잡한 부분과 단순한 부분이 고루 분포하고 있어서 다양한 공간적 주파수에 대해서도 제안한 방법에 대한 검증은 할 수 있다. 삽입된 워터마크로는 그 영상이 인증될 수 있도록 하기 위해, 영상이 획득된 날짜, 시간, 획득 장비인 카메라 폰의 전화번호를 사용하였다. 본 논문에서 사용된 워터마크는 각 숫자들을 비트로 표현하여 총 80 비트의 비트열로 만들어 15번에 걸쳐 반복하여 삽입하여 워터마크 추출 시 정확도를 높였다. <표 1>은 JPEG 압축된 워터마킹 영상으로부터 워터마크를 추출 했을 때의 에러 비트를 나타내고 있다. <표 1>에서 테스트 영상 3, 4, 5의 JPEG 압축에 대한 에러 비트 수가 많은 것을 알 수 있다. 이는 테스트 영상 3, 4, 5에서 테스트 영상 1, 2, 6보다 복잡하지 않은 부분을 더 많이 포함하고 있기 때문이다. 즉, 영상이 더 복잡할수록 워터마크의 삽입 강도가 더 강해짐으로 JPEG 압축에 더 강인 할 수 있기 때문이다. <표 1>에서 보는 바와 같이, 다양

한 조명 상태 하에서 획득한 테스트 영상들에 대해서 JPEG 압축이 60까지는 비교적 에러 비트가 적어 강인한 워터마크 추출이 이루어지는 것을 알 수 있다. JPEG 압축을 위해 본 논문에서는 StirMark를 사용하였다. (그림 5)는 실험에 사용된 워터마크 비트를 나타내고 있다. 총 80 비트의 비트열이 사용되었다. (그림 6)과 (그림 7)은 각각 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상들을 보여주고 있다. 두 영상들 간의 화질의 차이를 크지 않음을 알 수 있다.



(그림 5) 삽입된 워터마크 비트의 예

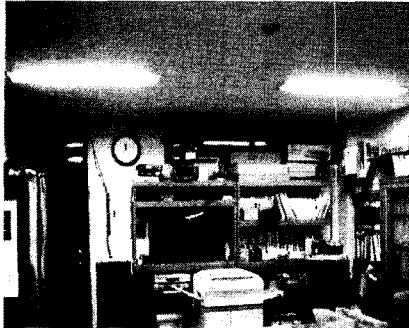
### 4. 결론

카메라 폰을 위한 흑백 영상 기반의 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 눈의 시각 시스템 특성을 이용하기 위하여 웨이블릿 분해를 통해 눈이 인지하지 못하는 영역에 더 큰 값의 워터마크 값을 삽입하여 더욱 견고한 워터마크 추출을

[표 1] 영상 처리된 영상으로부터 추출된 80 비트 크기의 워터마크에서의 에러 비트 수

테스트 영상 JPEG 압축	테스트 영상 1	테스트 영상 2	테스트 영상 3	테스트 영상 4	테스트 영상 5	테스트 영상 6
JPEG 100	0	0	0	0	0	0
JPEG 90	0	0	0	0	0	0
JPEG 80	0	0	0	0	0	0
JPEG 70	0	0	0	0	0	0
JPEG 60	1	0	1	2	0	4
JPEG 50	1	4	2	4	4	3
JPEG 40	11	7	23	13	11	9

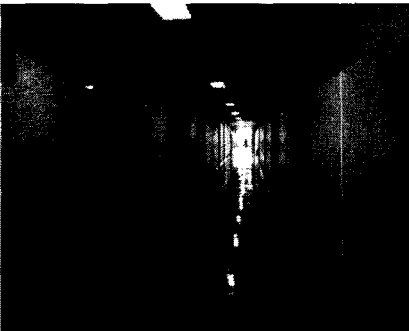
할 수 있었고, 또한 JPEG 압축에 강한 SVD 방법을 사용함으로 카메라 폰의 출력 영상의 영상 포맷인 JPEG에 강한 방법을 제안하였다.



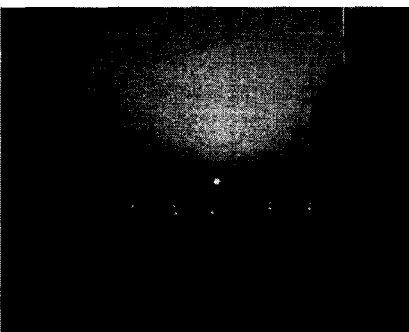
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

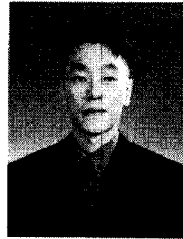
[그림 6] 호스트 영상; (a) 테스트 영상 1, (b) 테스트 영상 2, (c) 테스트 영상 3, (d) 테스트 영상 4, (e) 테스트 영상 5, (f) 테스트 영상 6

### 참 고 문 헌

- [1] M. Celik, U. Sharma, G. E. Saber, and A. M. Tekalp, "Hierarchical watermarking for secure image authentication with localization," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 6, pp. 585 - 595, 2002
- [2] C. C. Chang, K. F. Hwang, and M. S. Hwang, "A digital watermarking scheme using human visual effects," *Informatica* 24, pp. 505 - 511, 2003
- [3] Z. M. Lu, J. S. Pau, and S. H. Sun, "VQ-based digital image watermarking method," *IEE Electron. Lett.* 36, pp. 1201 - 1202, 2000
- [4] R. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A Digital Watermark," *Proc. IEEE Internat. Conf. Image Process.*, Austin

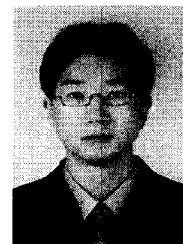
Texas USA, vol. 2, pp. 86 - 90, 1994

- [5] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT domain system for robust image watermarking," *Signal Process.*, vol. 66, no. 3, pp. 357 - 372, 1998
- [6] W. C. Chu, "DCT-based image watermarking using subsampling," *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 5, no. 1, pp. 34 - 38, 2003
- [7] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 10, no. 5, pp. 783 - 791, 2001
- [8] M. Iwata, and A. Shiozaki, "Watermarking method for embedding index data into images utilizing features of wavelet transform," *IEICE Trans. Fundam.*, E84-A, pp. 1772 - 1778, 2001
- [9] H. C. Andrews and C. L. Patterson, "Singular value decomposition (SVD) image coding," *IEEE Trans. Comm.*, COM-24, pp. 425 - 432, 1976
- [10] K. L. Chung, C. H. Shen, and L. C. Chang, "A novel SVD and VQ-based image hiding scheme," *Pattern Recogn. Lett.* vol. 22, no. 9, pp. 1051 - 1058, 2001
- [11] R. Sun, H. Sun, and T. Yao, "A SVD and quantization based semi-fragile watermarking technique for image authentication," *Proc. IEEE Internat. Conf. Signal Process.*, vol. 2, pp. 1592 - 1595, 2002
- [12] C. C. Chang, P. Tsai, and C. C. Lin, "SVD-based digital image watermarking scheme," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 26, pp. 1577 - 1586, 2005



이 승 익 (Seung-ik Lee)

- 1994년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 경북대학교대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2001년 8월 Colorado State Univ. 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2008년 4월~현재 연암공업대학 디지털정보전자과 전임강사
- 관심분야 : 임베디드 시스템, 영상처리, 얼굴인식



손 재 식 (Jae-sik Sohn)

- 2002년 2월 경북대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)
- 2004년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2004년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사 과정
- 관심 분야 : 멀티미디어 정보 보호 처리, 영상처리, 영상 통신 등



임 성 운 (Sung-woon Im)

- 1987년 2월 경북대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)
- 1991년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1995년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1995년 9월~현재 경일대학교 제어전기공학부 교수
- 관심 분야: 전력전자, 센서응용, 컴퓨터응용



김 덕 규 (Duk-Gyoo Kim)

- 1973년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1977년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1989년 3월 일본 동경대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1980년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
- 관심 분야: 영상 및 음향 시스템, PFC 등