

이산최적화 기법을 사용한 디지털 워터마킹

Digital Watermarking Method using Discrete Optimization Method

이 창 순

대구한의대학교 모바일콘텐츠학부

Chang-Soon Lee

Faculty of Mobile Contents, Daegu Hanny University, Gyungsan 712-715, Korea

[요 약]

최근 워터마킹 기술은 불법적인 디지털 콘텐츠 복사와 콘텐츠의 무단 도용을 막는 방법으로 주목받고 있다. 즉, 디지털 콘텐츠의 권리를 보호하기 위하여, 워터마크 이미지를 원본이미지에 삽입한다. 다양한 워터마킹 기법 중에서 개미알고리즘을 이용한 기술들이 연구되고 있으며, 본 논문에서는 개미알고리즘에 이산최적화 방법을 사용한 워터마킹 기술을 제안한다. 제안하는 기법은 개미가 음식을 찾기 위해 페르몬 흔적을 쫓아가는 방법과 유사하다. 또한 원본 이미지에 워터마크를 삽입할 때 장애물의 배치나 전체 이미지들 사이의 균형을 고려한다. 시뮬레이션 결과는 제안한 방법이 기존 알고리즘을 사용한 워터마킹 기술과의 비교에서 워터마크 된 이미지의 강건성은 증가되고 워터마킹 인지성은 감소함을 보여 준다.

[Abstract]

In recent, watermarking technology have been paying attention to methods avoiding illegal use and reproduce of digital contents. Then, in order to protect the right of digital contents, a watermark image is inserted into original images. In different watermarking methods, several technologies using Ant Colony Algorithm have been studied. In this paper, we propose a watermarking method using a discrete optimization method in the ants colony algorithm. This proposed method resembles the process that ants follow the pheromone traps to find out food. And when a watermark image is inserted into original images, the proposed method considers the deployment of obstacles or the balance between cells in the entire digital image. Simulation results show that the proposed method is increased in robustness of watermarked image and is decreased in the perceptibility of watermarking compared to the previous methods.

Key word : Watermarking, Multimedia contents, Optimization, Robustness, Perceptibility, etc

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2014.18.1.44>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 11 September 2013; Revised 22 February 2014

Accepted 14 February 2014

*Corresponding Author; Chang-Soon Lee

Tel: +82-53-819-1443

E-mail: cslee@dhu.ac.kr

1. 서론

인터넷 환경의 발달로 디지털 미디어의 저작권 문제가 크게 대두되고 있으며, 디지털 워터마킹(digital watermarking)이 한 가지 대안으로 주목받고 있다 [1]. 디지털 워터마킹 기법이 1993년 본격적으로 사용하기 시작되면서부터 디지털 워터마킹 기법은 오디오, 비디오, 이미지, 저작물 등 다양한 멀티미디어 콘텐츠의 저작권을 보호하기 위해 자신만의 정보를 삽입하여 콘텐츠의 진위 여부를 파악할 수 있는 기술이다 [2].

워터마크를 삽입하는 방법은 공간영역(spacial domain)에 대한 워터마킹 기법 [3]과 주파수영역(frequency domain)에 대한 워터마킹 기법 [4]으로 나누어볼 수 있다. 먼저, 공간영역 워터마킹 기법은 이미지의 픽셀(pixel)에서 시각적으로 영양을 작게 받는 하위 비트에 이미지를 삽입하는 방법을 이용한다. 주파수 영역기법은 이미지를 주파수 영역으로 변환한 후에 워터마크를 삽입하는 방법으로 주파수 영역으로 변환하기 위한 방법으로는 웨이브렛 변환 [5], 이산코사인 변환 [6], 고속 푸리에 변환 [7] 등을 이용하여 주파수 영역으로 바꾼 후 공간영역 기법과 마찬가지로 미세한 변화를 가하여 워터마크를 삽입한다. 공간영역에서의 워터마킹 방법은 일반적인 필터링이나, 신호 변형에 워터마크 정보가 쉽게 제거될 수 있으며 삽입되는 정보의 양도 적은 단점이 있다. 반면, 주파수 영역에서의 워터마킹 삽입 방법은 워터마크 삽입, 압축, 잡음에 견고한 특성을 갖는다. 공간영역에서 워터마킹 기법의 단점을 개선하기 위해 다양한 방법들이 제시되고 있다. 워터마크 삽입으로 인한 화질저하, 삽입된 워터마크의 낮은 강건성(robustness) 때문에 DCT(discrete cosine transform), DWT(discrete wavelet transform) 등 주파수 영역에서의 워터마킹에 대한 연구가 주를 이루고 있다 [8], [9], [10]. 공간적인 워터마크 삽입 기법의 경우는 삽입하려는 워터마크 정보를 이미지의 전 영역에 흩어지게 하기 때문에 쉽게 구별할 수 없는 방법이다. 그러나, 이 경우 압축이나 필터링 등의 공격에 취약한 면이 있다 [11]. 주파수 영역에서의 워터마크 삽입은 워터마크 삭제가 어려운 점이 장점이지만 계수 값에 따라 원본 영상에 왜곡이 가해질 수 있다는 점이다. 최근에 제안된 개미집단 알고리즘 [1]을 이용한 이산최적화 방법은 원본 이미지에서 색상의 차이를 고려하지 않기 때문에 원본과 사본간 이미지의 진위 여부를 판별하기가 쉽지 않다.

이러한 문제점을 개선하기 위해, 본 논문에서는 이산최적화 알고리즘을 이용한 디지털이미지 워터마킹 기법을 제안한다. 개미집단 알고리즘의 경우 전체 이미지의 색상을 고려하지 않고 두드러진 색상 차이만을 고려하기 때문에 원본을 복원하기가 어렵고, 특정한 색상에 대한 처리에 집중하기 때문에 클리핑 공격에 취약하다. 또한, 워터마킹에 소요되는 시간이 길어진다는 단점을 가진다.

제안하는 기법에서 멀티미디어 콘텐츠에 워터마크를 입력하는 과정은 개미들이 먹이를 찾아가는 과정을 알고리즘에 적용하고 개미가 집으로 돌아오는 과정을 워터마크를 추출하는 과정에 적용하였다. 본 논문에서 제안하는 기법은 워터마크를 삽입에 소요되는 시간이 짧고, 원본의 진위여부를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 워터마킹을 위한 주파수 영역 및 공간 영역에서 수행된 기존 이산화 워터마킹 기법에 대해 설명하고, III장에서는 본 논문에선 제안하는 이산 최적화 기반 워터마킹 기법에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서는 실험을 통해 제안 방법의 강건성 및 비인지성(blindness)이 기존 방법에 비해 개선됨을 보이고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 이산화 워터마킹 기법

이미지 워터마킹(image watermarking) 기법에서 복잡한 판별여부(detection) 과정은 공모 및 단순한 변형에도 강건성이 쉽게 파괴되는 결과를 낳는다. 강건성, 비인지성(blindness), 용량에 대한 상호 관계는 진화계산 분야의 진화계산 기법(evolutionary computation technique)과 유사하며, 대표적인 기법이 PSO(particle swarm optimization) [12] 알고리즘이다. 원본 디지털 이미지에 강건성을 높이기위해 PSO는 SVD(single value decomposition) 방법을 이용한다. 따라서, SVD 방법을 사용함으로써 이미지의 손실없이 강건성을 높일 수 있다.

기존에 제안된 개미 집단 알고리즘(ant colony algorithm) [1], [12]는 특정한 목적지 없이(randomly) 먹이를 찾는 과정을 반복하고, 어떤 개미가 먹이를 발견하면 탐색 경로(trail)에 페로몬(pheromone)을 남기면서 개미집으로 되돌아오는 과정을 이산최적화 문제를 해결하고자 하는 알고리즘이다.

그림 1의 개미 알고리즘에서 개미들은 먹이를 가져올 때마다 경로에 일정한 페르몬을 남기게 된다. 만약, 여러 경로 중 어느 한 경로가 먹이에 이르는 가장 짧은 경로라면 그 경로에 많은 개미가 지나가게 된다. 또한 먹이에 도달하는 이동 시간이 짧아 같은 시간 내에 더 많은 페르몬 자취를 남기게 된다.

경로에 뿌려진 페르몬은 시간이 경과함에 따라 증발하게 되고, 경로에서 증발하지 않는 페르몬의 양에 의해 최적 경로가 결정된다. 최적 경로가 결정되는 식은 다음 식 (1)과 같다.

$$p_{sd} = \frac{(\tau_{i,j}^{\alpha})(\eta_{i,j}^{\beta})}{\sum (\tau_{i,j}^{\alpha})(\eta_{i,j}^{\beta})} \quad (1)$$

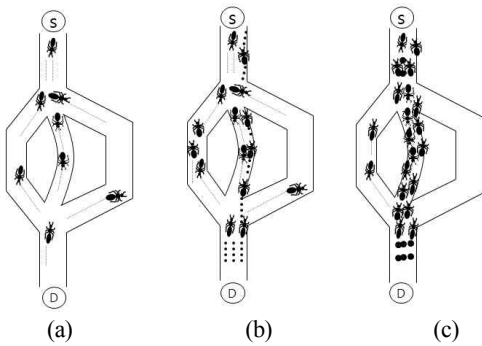


그림 1. 개미알고리즘(a. 초기상태, b. 경로결정, c. 최적경로 결정)
 Fig. 1. Ant Colony Algorithm(a. Initial state, b. Path determination, c. Optimal determination)

식 (1)에서 t_{ij} 는 경로 psd에 뿌려진 페르몬의 양, α 는 t_{ij} 의 값을 제어하는 변수, n_{ij} 는 psd 경로의 가중치, β 는 n_{ij} 의 값을 제어하는 변수를 나타낸다.

변형 도메인 워터마킹 기법(transform domain watermarking) 중 DCT 기법은 이미지를 다른 주파수대역으로 분할하고, 각 분할된 컴포넌트(components)는 순차적인 순서를 가진다. DCT방법은 빠르고 $O(n \log n)$ 메모리의 복잡도를 가지고, 콘트라스트 변형(contrast adjustment), 감마보정(gamma correlation), 필터링(filtering), 블러링(blurring)과 같은 공격에 강한 특성을 가진다. 그러나 특정 부분을 오려내거나 제거할 경우 강건성에 문제가 발생하는 크로핑(cropping) 공격에는 취약하다 [10]. 전체적으로 DWT 방법은 커버 이미지를 여러 대역으로 나누는 방법에서는 DCT와 유사하지만 나선형 필터를 통한 단순한 방법으로 구현이 가능하다는 장점 있다 [11].

III. 이산 최적화 워터마킹기법

3-1 이산최적화 과정

기존 개미군집 알고리즘[1]은 원하는 색상 값을 찾기 위해 많은 에이전트 개미가 필요하고, 에이전트 개미가 특정 경로를 발견한 이후에도 차 순위 경로에 속하는 개미들이 탐색한 경로가 일정시간 사용되는 단점이 있으며, 또한, 최적경로와 차 순위 최적 경로 간에 차이점이 크지 않을 경우 경로탐색에 많은 시간이 소요되는 단점을 가진다. 기존 개미알고리즘은 목적지로 가기위해 여러 개의 경로를 설정하고 그 중 최적의 경로를 찾는 선정하는 방식이다. 이 방식을 적용한 알고리즘은 최적의 경로를 찾기 위해 시간과 성능에 제약받는다. 따라서 컴퓨팅 자원을 많이 소모하는 문제점이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 개미알고리즘의 단점인 시간 소모적인 문제를 배제하기위해 이미지의 색상을 탐색하는 A_n 의 수를 1로 설정하였다.

위 그림 2는 제안하는 알고리즘을 나타낸다. 알고리즘에서 사용하는 변수(parameters)들은 개미 수 A_n , 경로탐색을 위한 개

A Discrete Optimization Algorithm

```

(1) Initialize  $A_n, P_n, S_n$ ;
(2)  $K \leftarrow A_n \times A_n$ ;
(3) For  $i=0; i \leq A_n; i++$ ; {
(4)   Do {
(5)      $A_n \leftarrow s(x,y)$ ;
           Do {
(6)       Each ant applies  $P_k(r,s)$  to establish a trail and  $\tau(r, s)$ ;
(7)     } while ( $a \geq n$ ) //a: The entire ants
(8)      $\tau(r,s) \leftarrow (1-\alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta(r, s)$ ;
(9)   } while ( $A_n \geq D$ )
(10)   $A_n--$ ;
(11)   $K \leftarrow A_n$ ;
(12) }
```

그림 2. 제안 알고리즘
 Fig. 2. Proposed algorithm

미 P_n , 선정된 경로 수 S_n 와 같다. 그리고 $A_n \geq P_n$ 사이에 다음 관계가 성립하고, 개미(A_n)들은 그림 1에서 좌표 $s(1,1)$ 에서 출발하여 D에 도착 가능한 P_n 은 여러 개의 경로가 존재한다.

최적의 경로를 선정하기 위해 다음과 같은 알고리즘이 동작한다. 먼저, A_n 마리의 개미가 특정 공간을 탐색을 시작한다 (Line 5-7). 라인 7은 최적의 경로를 갱신한 개미에게만 적용되는 전체 간선 중 최단거리에 있는 간선을 선택한 규칙(global updating rule)은 개미가 방문한 각 간선의 분비물의 양은 상쇄되어, 이후의 개미들이 방문 할 때 선택 할 확률을 감소시킨다. 목적지 D에 도착한 개미는 경유한 경로 값을 반환한다 (Line 8). 각 경로에 나타난 포인트의 회수를 테이블(table)에 저장한다. 테이블에 저장된 값들 중에서 각 포인트 상의 합(total value)이 가장 큰 지점들(points)이 계산되고 (Line 9), 각 지점에서 가장 큰 포인트들이 P_n 으로 선택 된다 (Line 10).

3-2 워터마크 생성 및 삽입

워터마크의 생성과 삽입을 위해 호스트(host) 이미지를 $16 \times 16 = 256$ 픽셀(pixels)로 나눈다. 이 픽셀들은 블록(block)을 의미한다.

본 논문에서는 픽셀 혹은 블록을 동일한 의미로 가정하고 혼용하여 사용한다. 호스트 이미지의 각 픽셀을 대상으로 블록의 웨이블릿 변환을 계산한다. 색상 값을 일정한 구간을 갖는 계급별로 분류하고, 각 색상 계급의 출현 빈도수를 기록한다.

색상 값에서 각 계급의 크기를 결정할 필요가 있다. 제안된 워터마크 삽입 알고리즘에서 N_{rank} 가 결정된다. 그림 3은 워터마크 삽입 알고리즘의 개념을 나타내었다.

선택된 N_{rank} 의 영역의 최하위 비트에 워터마킹 이미지 $w(i, j)$ 를 삽입한다. 그림 2에서 워터마크 이미지의 삽입대상이 되는 각 계급의 크기 N_{rank} 에 의해 결정된다(그림 3. 참조). 식 (2)에서는 색상 값을 나타내는 데이터의 최대값과 최소값은 f_{max} 와 f_{min} 이며, 그리고 계급의 개수 n 은 다음과 같다.

$$n = 1 + \frac{\log_{10}(n_{tot})}{\log_{10}2} \quad (2)$$

수식 (2)에서 n_{tot} 는 색상의 수를 나타낸다.

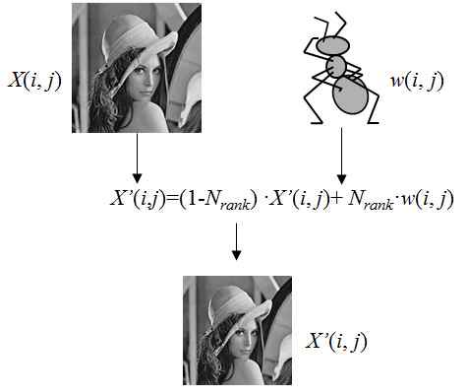


그림 3. 워터마크 삽입
Fig. 3. Watermark insert

계급내에 포함되는 색상의 최소값과 최대값의 차이에 의해 평균값이 결정할 수 있고, 각 계급의 색상에서 평균값을 취하게 되므로 특정한 부분의 밝기에 편중되어 색상의 가시도(visibility)가 떨어지는 문제도 해결 가능하다. 마지막으로 워터마크된 이미지의 특정한 비트에 N_{rank} 의 범위를 삽입한다. 이와 같은 방법들은 영상이 밝아 보이거나 어두워 보일 때 특정 부분의 밝기 영역에 히스토그램이 편중되어 있어 영상의 가시도(visibility)가 떨어지게 된다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 낮은 명암 대비를 갖는 회색조(gray scale) 영상 값의 크기를 갖는 분포의 히스토그램(histogram)을 펼쳐서 보다 넓은 영역으로 회색조 값을 갖도록 하여 영상의 가시도가 증가 되도록 하였다.

3-3 워터마크 추출

본 장에서는 워터마크 추출과정을 설명한다. 먼저 워터마크 수신 후 워터마크가 추가된 이미지의 특정한 비트와 워터마크가 추가된 범위(N_{rank})를 추출한다. 여기서 워터마크의 첫 번째 비트들을 읽어 해당되는 이미지의 범위 N_{rank} 를 알 수 있다. 이 N_{rank} 값을 통해서 계급의 개수를 알 수 있다. 2개의 파라미터를 이용하여 워터마크 정보가 삽입된 라인들을 선택하고 이 라인들을 그룹으로 묶어준다.

워터마크 정보가 삽입된 이미지로부터 선택한 라인 그룹에 대하여 n 번째 라인의 단어 간 여백을 $Y(n)$ 이라고 하면 라인 그룹의 단어 간 여백 평균 a 와의 차로 워터마크 정보에 해당하는 색상 값의 계급 PN 코드 시퀀스를 추출할 수 있다.

IV. 성능분석

4-1 워터마크 비가시성 및 강건성

이미지의 비가시성 및 강건성이 좋아질수록 이미지의 인지성은 상대적으로 감소하게 된다. 평가의 대상은 인지성과 강건성 측면에서 주로 실시된다. 그림 4는 워터마크용 삽입 이미지를 나타낸다.

제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 512×512 , 256×256 , 128×128 3가지 크기의 8 비트의 회색조 명암과 32×32 의 회색조 워터마크를 사용하여 실험을 수행하였다. 워터마크의 인지성 분석 방법은 삽입되는 워터마크 이미지의 강건성에 직접적인 영향을 받는다.

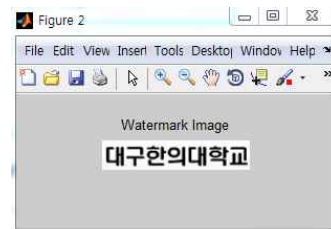


그림 4. 워터마크 이미지
Fig. 4. Watermark image

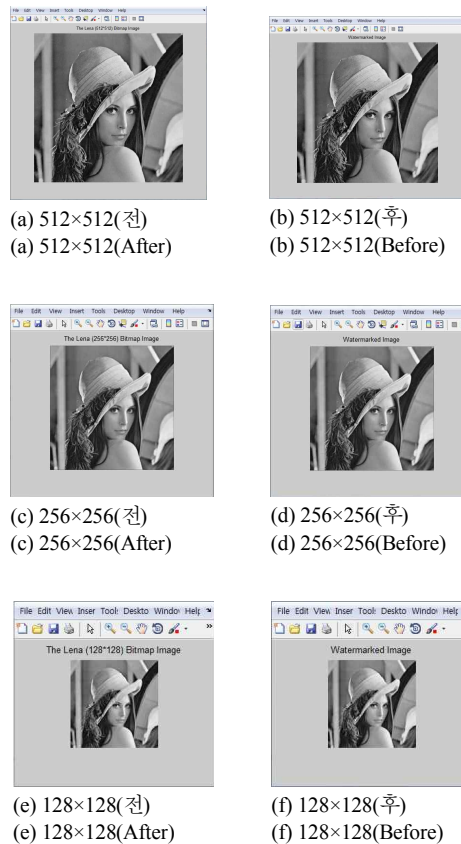


그림 5. 비가시성 분석
Fig. 5. The analysis of invisibility

그림 5에서는 이미지 삽입 전후에 대한 비교를 수행하였다. 워터마크 이미지를 삽입했을 경우 이미지 크기에 따른 차이가 남을 알 수 있다.

그림 6은 크래핑 공격에 대해 강건성을 평가하기 위해 확대 및 축소 공격에 대한 결과를 도시 하였다.



그림 6. 강건성 분석
Fig. 6. The analysis of robustness

표 1. 비인지성과 PSNR
Table 1. Blindness and PSNR

Size(bit)	Ohnish(11)	Huang(10)	Proposed
Blindness	providing	non	providing
Differential values in PSNR	50.15dB	46.76dB	40.76dB

표 2. 워터마크이미지 삽입시간 및 PSNR
Table 2. Watermark insert time and PSNR

Size(bit)	512	256	128
Embedding time(msec)	1.9812	1.7160	1.3728
Differential values in PSNR	1.1950dB	1.1112dB	1.0165dB

4-2. 워터마크의 인지성 및 강건성 분석

워터마크 이미지의 인지성은 워터마크 이미지의 상태에 따라서 결정될 수 있다. 또한, 워터마크된 이미지의 변형 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 측정하였다. 식 (3)에서 데이터 분산의 정도를 나타내는 MSE(mean squared error)를 나타내었다. 식 (3)을 이용하여 255 회색조를 갖는 이미지에 대한 PSNR은 다음 식 (4)과 같이 평가한다. 또한, N과 m은 이미지의 높이와 폭의 크기를 의미한다. m의 비트수에 따라 픽셀의 강건성을 알 수 있다.

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (x_{ij} - x'_{ij})^2 \tag{3}$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{2^m - 1}{MSE} \right) dB \tag{4}$$

압축공격에 따른 워터마크의 강건성과 비인지성에 대한 성능을 표 1에서 제시하였다.

표 1에서와 같이 제안한 방식이 Haung[10]과 Ohnish[11] 방식보다 원본 이미지와 워터마크된 이미지 간의 PSNR 차이가 적음을 알 수 있다. 즉, 강건성이 우수함을 알 수 있었다.

그리고, 추가적으로 제안한 알고리즘의 확장성을 알아보기 위해 각 이미지의 크기에 따른 이미지 삽입시간을 비교하였고, 삽입전의 원본 워터마크 이미지와 삽입후의 추출된 워터마크 이미지의 크기에서도 Ohnish[11]방식은 차가 214K 바이트였으며, 제안된 방식은 차이가 198K 바이트로 나타났다. 즉, 제안한 방식에서 워터마크 이미지의 변형이 적음을 알 수 있었고 표 2에서와 같이 원본 워터마크 이미지와 삽입후 추출된 워터마크 이미지의 PSNR 값 차이가 적음을 확인 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 이산최적화 기법을 사용한 워터마크 기법을 제안하였다. 제안하는 디지털이미지 워터마크 기법은 개미의 먹이를 찾는 기법을 기반으로 회색조 이미지의 특정부분에 워터마크를 삽입하여 워터마크에 따른 파일 사이즈 오버헤드를 줄였을 뿐 만 아니라, 워터마크 후 이미지의 특정한 대역에 편중된 이미지 값을 대상으로 워터마크를 삽입하기 때문에 이미지의 화질을 개선하였다. 제안된 알고리즘을 이용하여 커버 이미지에 워터마크를 삽입하는 시간과 PSNR 수치 값을 비교하여 성능이 개선됨을 보였다.

시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘은 기존의 이산알고리즘을 이용한 기법에 비해 강건성이 증가될 뿐만 아니라 워터마크 인지성이 감소함을 보였다. 또한, 워터마크 이미지의 변형이 적어 잡음에 대한 강건성이 우수함을 보였다.

참고문헌

[1] O. Sameh, C. Adnane, and S. Bassel, "A new image watermarking based on the Ant colony," *Int'l J. of Resarch & Revidws in Computer Science*, Vol. 2, No. 5, pp. 1167-1171, 2011.
 [2] D.S. Diaz, M.G. Romay, "Introducing a watermarking with a multiobjective genetic algorithm", in *Proc. of ACM*, New York, pp. I-6, 2005.
 [3] J. J. Chae and B.S. Manjunath, "A robust embedded data from wavelet coefficients". *SPIE*, Vol. 3312, 1997.

- [4] Chou Ting Hsu and Ja Ling Wu, "DCT-based watermarking for Video". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 1, 1998.
- [5] Xia X., C. Boncelet, G. Arce, "A multiresolutional watermark for digital images," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1. pp. 548-551, Oct. 1997.
- [6] E. Koch and Z. Zhao, "Copyright protection for multimedia data," in *Proc. of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, June 1995.
- [7] J.J.K. O Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking", *Signal Processing*, Vol. 66, No. 3, pp. 303-317, May 1998.
- [8] P. Chan, M. R. Lyu. "Digital video watermarking with a genetic algorithm." in *Proc. of International Conference on Digital Archives Technologies (ICDAT '05)*, pp. 139-153, Taipei, Taiwan, June 2005.
- [9] N. Zhong, Z. He, J. Kuang, Z. Zhuo, "An optimal wavelet-based Image watermarking via generic algorithm", in *Proc. of 3rd International Conf. on Neural Computation*, pp. 103-107, 2007.
- [10] H. Huang, Y. Chen, G. Lin, "DCT-based robust watermarking with Swan Intelligence concepts", in *Proc. of 5th International Conference on Assurance and Security*, pp. 464-467, 2009.
- [11] J. Ohnishi and Kineo Matsui, "Embedding a seal into a picture under orthogonal wave transform," in *Proc. of ICMCS*, pp. 514-521, 1996.
- [12] Seung-Gwan Lee, "The effect of multiagent interaction strategy on the performance of the ant model", *The Journal of Korea Contents Association*, Vol. 5, No. 3, pp. 193-199, 2005.



이 창 순 (Chang-soon Lee)

1981년 2월 : 경북대 학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 2월 : 경북대 학교 통신전공 (공학석사)
 1993년 2월 : 경북대 학교 정보통신전공 (공학박사)
 1993년 3월 ~ 현재 : 대구한의대학교 모바일콘텐츠학부 교수
 ※ 관심분야 : 콘텐츠보안, 멀티미디어, 정보보호