

차이값 히스토그램 기반 가역 워터마킹의 행열 교차 스캐닝을 통한 성능 향상 기법

여 동 규[†] · 이 해 연^{**} · 김 병 만^{***}

요 약

가역 워터마킹 기법은 디지털 콘텐츠에 시각적 투명성을 유지하며 워터마크를 삽입한 후, 이를 아무런 손상없이 원본 상태로 복원할 수 있는 메시지 은닉 수단으로서 높은 품질과 높은 삽입용량이 요구되는 분야에서 다양하게 이용되어질 수 있다. 본 논문에서는 차이값 히스토그램 기반의 가역 워터마킹에서 응용분야의 요구에 맞게 높은 삽입용량을 제공하기 위한 효율적인 반복삽입 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법에서는 메시지가 삽입된 영상에 대하여 반복삽입할 때, 지역성을 최대한 활용하기 위하여 행열 교차 스캐닝 방법을 이용하였다. 다양한 영상들에 대하여 비교 분석한 실험 결과에 따르면 제안한 알고리즘은 완전한 가역성과 함께 낮은 왜곡을 유지하면서도 효율적인 반복삽입을 통한 높은 삽입용량을 얻을 수 있었다.

키워드 : 가역 워터마킹, 차이값 히스토그램, 히스토그램 쉬프팅, 행열 교차 스캐닝

Performance Enhancement through Row-Column Cross Scanning in Differential Histogram-based Reversible Watermarking

Dong-Gyu Yeo[†] · Hae-Yeoun Lee^{**} · Byeong Man Kim^{***}

ABSTRACT

Reversible watermarking inserts watermark into digital media in such a way that visual transparency is preserved, which enables the restoration of the original media from the watermarked one without any loss of media quality. It has various applications, where high capacity and high visual quality are major requirements. This paper presents a new effective multi-round embedding scheme for the differential histogram-based reversible watermarking that satisfies high capacity requirements of the application. The proposed technique exploits the row-column cross scanning to fully utilize the locality of images when multi-round embedding phase to the message inserted image. Through experiments using multiple kinds of test images, we prove that the presented algorithm provides 100% reversibility, effectiveness of multi-round embedding, and higher visual quality, while maintaining the induced-distortion low.

Keywords : Reversible Watermarking, Differential Histogram, Histogram Shifting, Row-Column Cross Scanning

1. 서 론

콘텐츠에 대한 사후 보안 기술로서의 데이터 은닉 기술은 음악, 영상, 동영상, 전자문서, 애니메이션과 같은 디지털 콘텐츠에 기밀 정보를 비가시적으로 삽입하는 기술로서, 소유

권 증명, 저작권 보호, 방송 모니터링, 콘텐츠 인증 등의 다양한 목적으로 활용되고 있다. 암호화 기술도 디지털 콘텐츠 보호를 위한 방법이지만 콘텐츠 배포과정에서의 보호만 보장할 뿐이며, 한 번 복호화된 콘텐츠는 더 이상 보호될 수 없기 때문에 콘텐츠의 무결성을 입증하기 위한 방법으로 부족하다. 이에 반하여 데이터 은닉 기술은 응용에 따라 다양한 삽입용량과 시각적 투명성, 강인성, 기밀성, 계산 복잡도 등의 요구조건을 만족시킬 수 있기 때문에, 배포된 이후에 콘텐츠를 보호할 수 있는 좋은 방법이다[1-3].

대표적인 데이터 은닉 기술인 디지털 워터마킹은 원본 콘텐츠에 대한 메타데이터 혹은 무결성 검증을 위한 인증코드,

※ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0007789).

† 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학과 박사후연구원

** 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수(교신저자)

*** 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 2010년 9월 7일

수정일 : 1차 2010년 12월 22일

심사완료 : 2010년 12월 22일

저작권 정보 등의 정보를 비가시적으로 콘텐츠에 삽입할 수 있다. 콘텐츠에 데이터를 은닉하려면 필연적으로 원본 콘텐츠의 수정이 불가피한데, 의료 영상이나 군사적 영상, 법률적 증거, 원격 측정값, 예술작품 등의 응용분야에서는 어떠한 손상도 없는 원본 영상이 필요하다. 변경의 정도가 극히 미미하고 인간의 시각능력으로는 전혀 알아볼 수 없을지라도 올바른 결정에 영향을 미칠 수 있으며 법률적 문제가 될 수 있기 때문이다. 가역(Reversible) 워터마킹은 워터마킹된 콘텐츠에서 메시지를 제거한 후 원본 콘텐츠로 완전한 복원이 가능하기 때문에 콘텐츠의 무결성 인증이나 위변조 조작에 대한 증명, 저작권 보호를 위한 훌륭한 용도로 이용되어 질 수 있다[4-5].

가역 워터마킹 알고리즘은 메시지를 삽입하여 수정된 영상이 원본 영상에 비해 큰 차이가 없도록 시각적으로 투명해야 하면서도 응용분야에서의 요구에 맞게 충분한 삽입용량을 제공해야 한다. 또한 상대적으로 자원 및 계산능력이 부족한 소형 장치에서도 응용이 가능하도록 계산 복잡도가 높지 않아야 하며, 메시지를 추출한 후 원본으로의 완전한 복원이 가능하도록 가역성을 보장해야 한다.

최근의 가역워터마킹 연구들은 질적 저하를 최소화하면서도 삽입용량을 최대화하기 위하여 노력하고 있다. 히스토그램 기반의 기존 연구들은 메시지가 삽입된 영상에 대해 반복삽입(재삽입)함으로써 삽입용량을 늘릴 수 있다. 그러나 한 번 메시지를 삽입한 영상은 히스토그램에서 최대점의 높이가 약 절반으로 줄어들기 때문에, 반복의 단계가 증가할수록 반복삽입의 효율성이 급격히 낮아지게 된다. 본 논문에서는 반복삽입을 통하여 삽입용량을 늘리고자 할 때 히스토그램을 계산하기 위한 스캔방향을 변경함으로써 지역성을 최대화하여 효율적인 반복삽입을 할 수 있는 행열 교차 스캐닝 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 가역 워터마킹 분야의 기존 주요 연구들을 통하여 히스토그램을 구성하는 알고리즘적인 차이에 대하여 논한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 행열 교차 스캐닝을 통한 효율적인 반복삽입 알고리즘에 대하여 설명한다. 실험 및 성능 분석은 4장에서 제시하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

가역 워터마킹 연구들은 시각적 투명성 및 완전한 가역성을 제공하기 위하여 각기 다른 영상의 특징을 이용하여 메시지를 삽입한다. Fridrich et al.[6]과 Celik et al.[7]은 무손실 압축기법을 이용하여 비트 평면을 압축한 후 빈 공간에 메시지를 삽입하였으며, Yang et al.[8]과 Xuan et al.[9], Lee et al.[10]은 주파수 영역에서의 변환계수에 삽입하였다. 또한 Tian[11], Alattar[12-14], Kamstra et al.[15] 과 Thodi

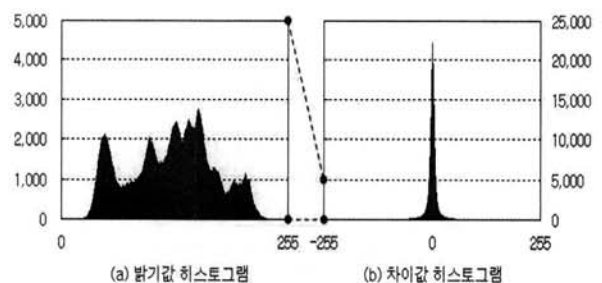
et al.[16]은 원본 영상의 특성값을 확장하여 삽입하는 차이값 확장 방법을 사용하였다. 최근에는 계산 복잡도가 높지 않으며 높은 삽입용량을 얻을 수 있는 히스토그램 기반 방법들[17-26]에 관한 연구가 활발히 진행중인데 알고리즘에 따라 영상의 밝기값에 대한 히스토그램을 이용하거나 차이값에 대한 히스토그램을 이용한다.

밝기값 히스토그램 수정 기법을 이용하는 가역 워터마킹 알고리즘들[17-20]은 데이터를 삽입하려는 최대점 주위의 빈(Bin)을 쉬프팅하여 공간을 확보하고, 삽입하려는 메시지의 비트에 따라 최대점을 좌우로 쉬프팅시킴으로써 데이터를 삽입한다. 따라서 높은 데이터 삽입용량을 얻기 위해서는 최대점들을 많이 확보해야 한다. 하지만, 많은 최대점들을 사용할수록 원본 영상의 왜곡이 심해지고 오버헤드 정보의 양과 알고리즘의 복잡도가 증가한다. 반면 차이값 히스토그램을 이용하면 하나의 최대점만 사용하더라도 밝기값 히스토그램 사용 방법보다 더 높은 삽입용량을 얻을 수 있기 때문에 최근의 가역 워터마킹 연구들은 차이값 히스토그램을 이용하는 추세이다.

2.1 차이값 히스토그램

차이값 히스토그램을 이용하는 알고리즘들[21-26]은 인접한 픽셀과의 밝기값 차이를 이용하여 계산한다. (그림 1)과 같이 Lena 영상에서 밝기값 히스토그램의 최대값은 2,751이나 차이값 히스토그램의 최대값은 22,252로 최대점의 높이 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다.

높은 최대점을 갖는다는 것은 적은 왜곡으로도 높은 삽입용량을 얻을 수 있다는 것을 의미하므로, 차이값 히스토그램을 이용하는 것이 더 유리하다. 또한 밝기값 히스토그램을 이용한 방법은 데이터 삽입 후 최대점의 위치가 변하기 때문에 원래의 최대점의 위치를 기억하기 위한 추가적인 오버헤드가 발생한다. 하지만 차이값 히스토그램을 이용한 방법은 인접한 픽셀간의 변화가 작다는 영상 데이터의 지역성 특징으로 인하여 차이값들이 0 주변으로 몰려있기 때문에 최대점의 위치를 고정시켜서 처리할 수 있으므로 삽입위치 정보에 대한 오버헤드가 필요하지 않다는 장점을 가진다.



(그림 1) Lena 영상의 밝기값 히스토그램과 차이값 히스토그램 (x축 : bin, y축 : 빈도수)

2.2 차이값 히스토그램 구성 방법

히스토그램 쉬프팅 방법을 이용하여 워터마크를 삽입할 때 밝기값 히스토그램이 아니라 차이값 히스토그램을 이용하는 것은 2.1절의 (그림 1)을 통하여 살펴본 바와 같이 더 높은 최대점을 확보하기 위함이다. 더 높은 최대점을 확보할수록 더 높은 삽입용량을 얻을 수 있는데, 차이값 히스토그램은 인접한 픽셀간의 차이가 크지 않다는 지역성 특징을 이용하는 것이기 때문에 밝기값 히스토그램에 비해 훨씬 더 높은 최대점을 확보하게 된다. 차이값 히스토그램을 이용하는 가역 워터마킹 알고리즘들은 차이값 히스토그램을 구성하는 방법에 따라 다양한 결과를 보이고 있다.

Lee et al.[21]은 영상의 홀수행과 짝수행과의 차이값을 이용하여 히스토그램을 구성하였다. 따라서 메시지 삽입에 이용되는 실제 차영상은 원본대비 50%의 크기를 갖는다. 메시지 삽입을 위하여 수정되는 영역이 50% 미만이므로 은닉 영상의 품질은 높게 나오지만 삽입용량이 크지 않다는 단점을 갖는다. Lin et al.[22]은 영상을 $A \times B$ 크기의 블록으로 나누고 각 블록 내에서 현재 픽셀과 다음 픽셀과의 차이값을 계산하여 $A \times (B-1)$ 크기의 차영상을 생성하였다. 메시지 삽입에 이용되는 전체 차영상의 크기는 블록 크기에 따라 달라지는데 4×4 크기의 블록인 경우 원본대비 75%의 크기를 갖는다. Tsai et al.[23]은 영상을 $N \times N$ 크기의 블록으로 나누고 각 블록 내에서 기준 픽셀과 나머지 픽셀과의 차이값을 이용하여 히스토그램을 구성하였다. 그러나 인접 픽셀과의 차이값을 이용한 것이 아니기 때문에 히스토그램의 최대치가 0 주변으로 몰려있지 않다. 따라서 밝기값 히스토그램을 이용한 방법처럼 최대점과 Zero점에 대한 위치정보를 별도로 전달해야 하는 오버헤드가 있다. Kim et al.[24]은 영상을 일정한 간격으로 서브샘플링한 후, 기준 서브 이미지와 나머지 서브 이미지와의 차이값을 이용하여 히스토그램을 구성하였다. 이 방법은 기준이 되는 서브 이미지와 서브샘플링되지 않는 잔여영역에는 수정을 가하지 않는다. 따라서 메시지 삽입에 이용되는 차영상의 크기는 서브샘플링 간격이 3인 경우 원영상에 비하여 약 88%의 크기를 갖는다.

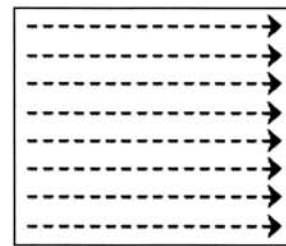
Yeo et al.[25]은 전체 영상에 대하여 현재 픽셀과 바로 앞 픽셀과의 차이값을 점진적으로 계산하여 히스토그램을 구성하였다. 이 방법은 메시지 삽입에 이용되는 차영상의 크기가 원본과 동일한 크기이기 때문에 기존 연구들에 비해 가장 높은 삽입용량을 보인다.

2.3 반복삽입을 통한 삽입용량 향상

워터마킹 알고리즘은 응용분야의 요구에 맞도록 충분한 삽입용량을 제공해야한다. 만일 삽입해야 하는 메시지의 크기가 실제 삽입가능한 용량보다 큰 경우가 발생하면, 히스토그램 기반의 기존 연구들은 삽입불가라고 판정하거나 혹은 메시지가 삽입된 영상에 대해 반복해서 삽입함으로써 삽입용량을 늘리는 방법을 선택하고 있다. 그러나 한 번 메시

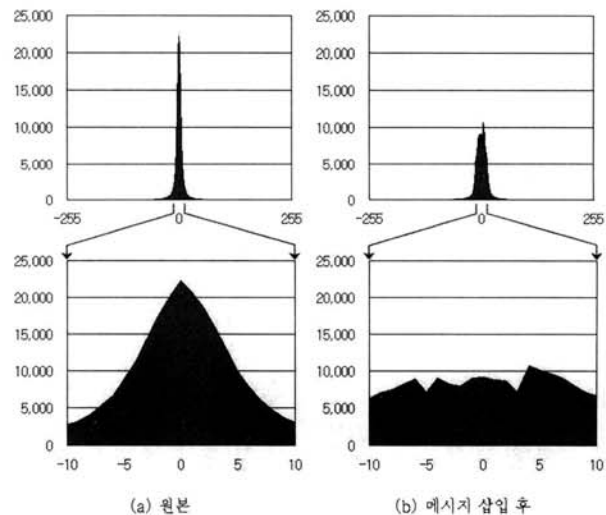
지를 삽입한 영상은 히스토그램에서 최대점의 높이가 약 절반으로 줄어들기 때문에, 반복의 단계가 증가할수록 반복삽입의 효율성이 급격히 낮아지게 된다. 본 절에서는 반복삽입에 따른 최대치 저하에 관하여 논한다.

기존 연구에서 차이값을 계산하기 위하여 사용하는 방법 중 가장 높은 최대점을 보이는 것은 Yeo et al.[25]의 점진적 차이값 히스토그램 방법으로서 바로 앞 픽셀과 현재 픽셀과의 차이값을 이용하는 것이다. 이 방법은 영상을 한 픽셀씩 차례대로 스캔하게 되므로 (그림 2)와 같이 순차 스캐닝(Sequential Scanning) 방향으로 차이값을 계산하게 된다.



(그림 2) 순차 스캐닝

순차 스캐닝 방법으로 차이값을 계산하여 메시지를 삽입한 영상에 대하여 삽입용량을 늘리기 위하여 반복삽입을 하기 위해서는 차이값 히스토그램을 재구성하여야 한다. 이를 위하여 다시 순차 스캐닝 방법으로 차이값 히스토그램을 계산하게 되면, (그림 3)에서 보는 바와 같이 히스토그램에서 최대점의 높이가 약 절반으로 줄어들게 된다. 따라서 반복의 단계가 증가할수록 효율성이 급격히 낮아지게 되는 문제점이 발생한다.



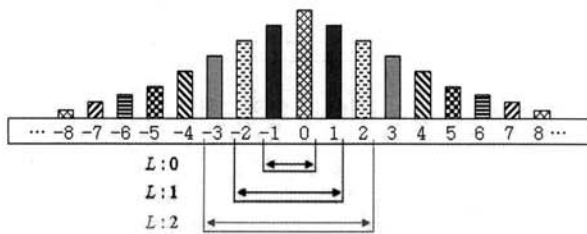
(그림 3) Lena 영상에 대한 메시지 삽입 후의 차이값 히스토그램 변화 (x축: bin, y축: 빈도수)

3. 행렬 교차 스캐닝을 통한 효율적인 가역 워터마킹 알고리즘

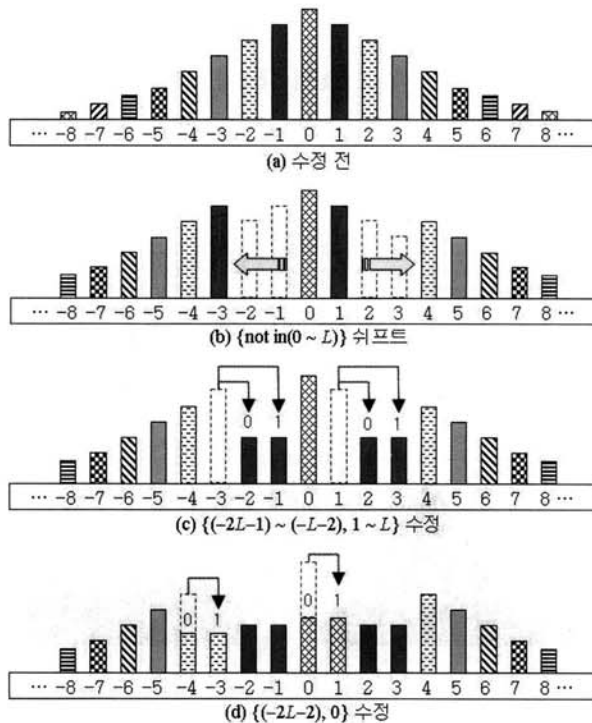
본 논문에서는 차이값을 계산하기 위한 스캔방향을 조절함으로써 지역성 및 반복삽입의 효율성을 최대화할 수 있는 방법에 대하여 제안한다. 메시지 삽입 및 검출 알고리즘은 본 논문의 저자가 연구한 점진적 차이값 히스토그램 쉬프팅을 이용한 가역 워터마킹 알고리즘[26]을 사용하였다.

3.1 메시지 삽입 알고리즘

삽입되는 메시지의 용량 및 워터마크 영상의 품질은 응용분야의 요구에 따라 삽입레벨 L 로 조절한다. 0부터 시작되는 L 의 값에 따라 차이값 히스토그램에서 메시지 삽입에 이용되는 빈은 0번 빈 주위인 $\{(-L-1) \sim (+L)\}$ 까지로서 (그림 4)에 나타내었다.



(그림 4) 메시지 삽입에 이용되는 히스토그램 빈

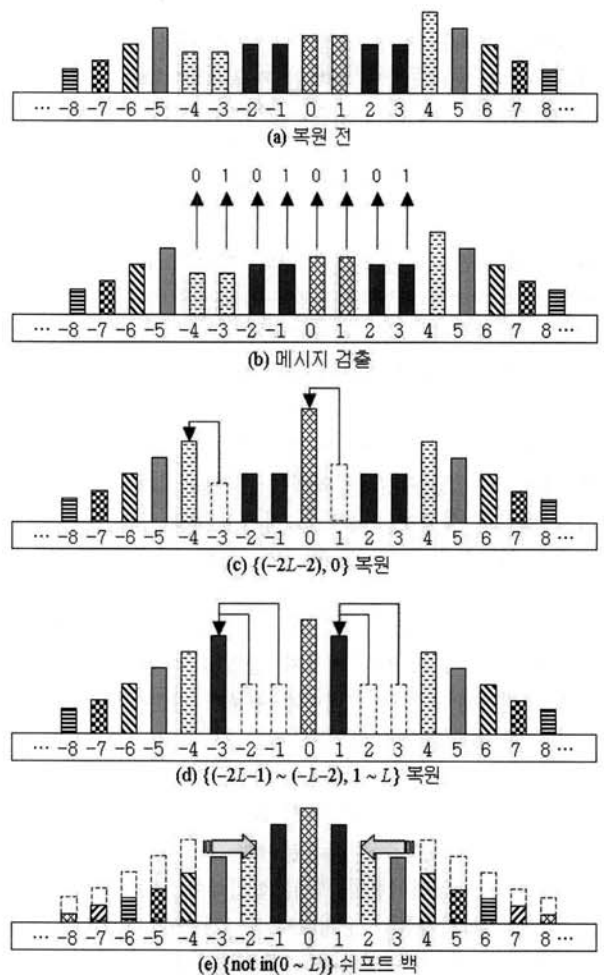


(그림 5) 메시지 삽입과정에서의 히스토그램 수정 절차 (삽입레벨 $L=1$ 의 경우)

삽입레벨 L 이 1인 경우 메시지가 삽입되는 과정에서 히스토그램이 수정되는 절차를 (그림 5)에 나타내었다. 먼저 원영상에 대하여 점진적으로 차이값 히스토그램을 구성한 후, 삽입공간을 확보하기 위하여 삽입에 이용되지 않는 빈들을 쉬프트한다. 다음으로 삽입할 메시지의 비트에 따라 히스토그램을 수정하고, 수정된 히스토그램을 반영한 은닉영상을 만들어 낸다.

3.2 메시지 검출 및 복원 알고리즘

삽입레벨 L 이 1인 경우 메시지를 검출하고 원본영상을 복원하는 과정에서 히스토그램이 수정되는 절차를 (그림 6)에 나타내었다. 먼저 은닉영상에 대하여 점진적으로 차이값 히스토그램을 구성한 후, 메시지 삽입공간을 스캔하여 삽입된 메시지를 검출한다. 다음으로 메시지를 삽입하기 위하여 수정되었던 히스토그램을 복원하고, 공간확보를 위하여 쉬프트되었던 빈들을 복원한다. 마지막으로 복원된 히스토그램을 이용하여 원영상을 복원하게 된다.

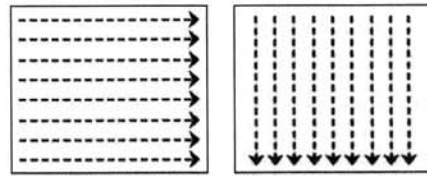


(그림 6) 메시지 검출 및 복원과정에서의 히스토그램 수정 절차 (삽입레벨 $L=1$ 의 경우)

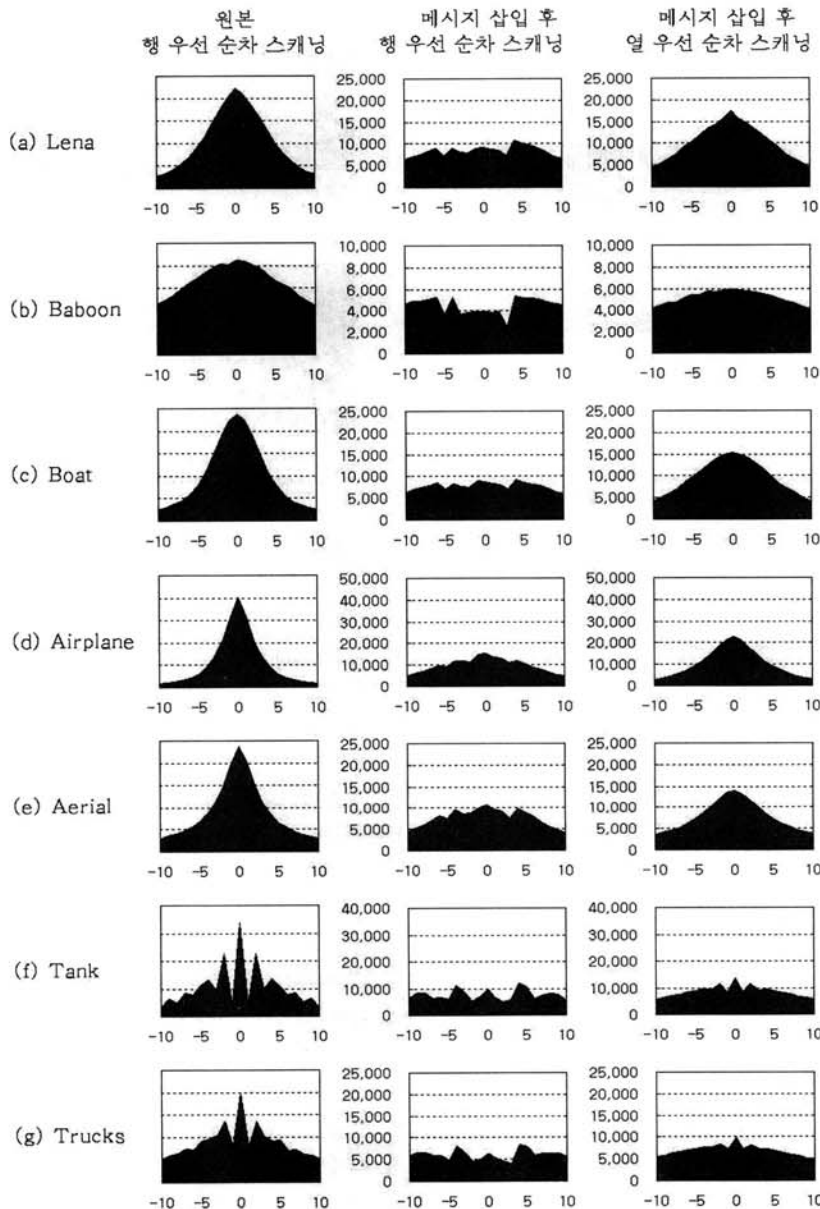
3.3 행열 교차 스캐닝을 통한 효율적인 반복삽입

메시지를 삽입한 후 차이값 히스토그램이 약 절반으로 줄어드는 이유는 최대점 주위의 히스토그램 빈을 펼치는 원리로 메시지를 삽입하기 때문이다. 메시지가 삽입된 영상을 만들기 위해서는 히스토그램을 쉬프팅하여 수정된 차이값만큼 픽셀값을 변경시켜야 하기 때문에 차이값이 커지게 되고, 이에 따라 지역성이 저하되는 것이다. 그러나 반복삽입을 위하여 다시 순차 스캐닝을 할 때 행 우선(Row-major Order) 순서가 아니라 열 우선(Column-major Order) 순서로 스캐닝을 한다면 순차 스캐닝의 지역성 저하 단점을 상당히 보완할 수 있다. 가로 방향으로의 픽셀값이 증감된 만

큼 세로 방향으로도 근사한 확률로 증감되었으므로, 열 우선 순차 스캐닝이 행 우선 순차 스캐닝보다 더 높은 지역성을 보이기 때문이다. (그림 7)에 행 우선 및 열 우선 순차 스캐닝의 개념을 도시하였다.



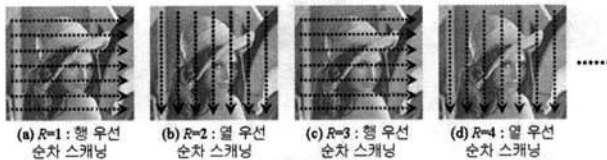
(a) 행 우선 순차 스캐닝 (b) 열 우선 순차 스캐닝
(그림 7) 행 우선 순차 스캐닝과 열 우선 순차 스캐닝



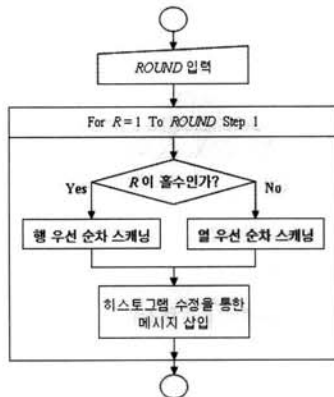
(그림 8) 메시지 삽입 후의 행 우선 및 열 우선 순차 스캐닝의 차이값 히스토그램 비교 (x축: bin, y축: 빈도수)

(그림 8)에 실험 영상들에 대하여 원본을 행우선 순차 스캐닝한 차이값 히스토그램과 메시지를 삽입한 후의 행 우선 및 열 우선 순차 스캐닝한 차이값 히스토그램을 비교하여 나타내었다. (그림 8)을 통하여 알 수 있듯이 행 우선 순차 스캐닝을 통하여 메시지를 삽입한 영상에 대하여 다시 행 우선 순차 스캐닝을 반복 적용하면 원본에 비하여 평균 47%의 높이를 보이지만, 열 우선 순차 스캐닝을 하면 평균 73%의 높이를 얻을 수 있다. 따라서, 반복삽입이 진행될 때마다 행 우선 과 열 우선 순차 스캐닝을 번갈아 사용하면 지역성의 저하를 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

반복삽입에 따른 순차 스캐닝의 방향 전환을 위해서는 반복 삽입 횟수 R에 따라 행 우선 순차 스캐닝과 열 우선 순차 스캐닝을 번갈아 사용하며 차이값 히스토그램을 계산하면 된다. 본 논문에서는 이를 행열 교차 스캐닝(Row- Column Cross Scanning)이라고 정의한다. 행열 교차 스캐닝의 원리를 (그림 9)에 나타내었으며, (그림 10)은 반복삽입 절차를 나타낸다.



(그림 9) 반복횟수(R) 증가에 따른 행열 교차 스캐닝



(그림 10) 행열 교차 스캐닝을 이용한 반복삽입 절차

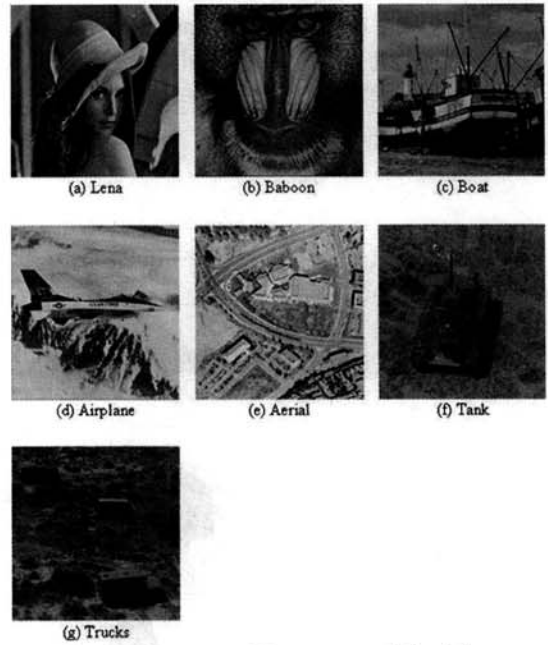
4. 실험 및 성능 평가

본 논문에서 실험에 사용된 영상은 USC-SIPI(University of Southern California-Signal & Image Processing Institute) 이미지 데이터베이스의 8-Bits 회색조 512x512 영상 7 개이며 (그림 11)에 나타내었다. 유효삽입용량은 오버헤드 정보를 차감한 용량이며, 영상의 품질은 다음 수식 (1) 과 수식 (2)를 통하여 계산된 PSNR(dB)로 측정하였다.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (p_{(i,j)} - p'_{(i,j)})^2 \quad (1)$$

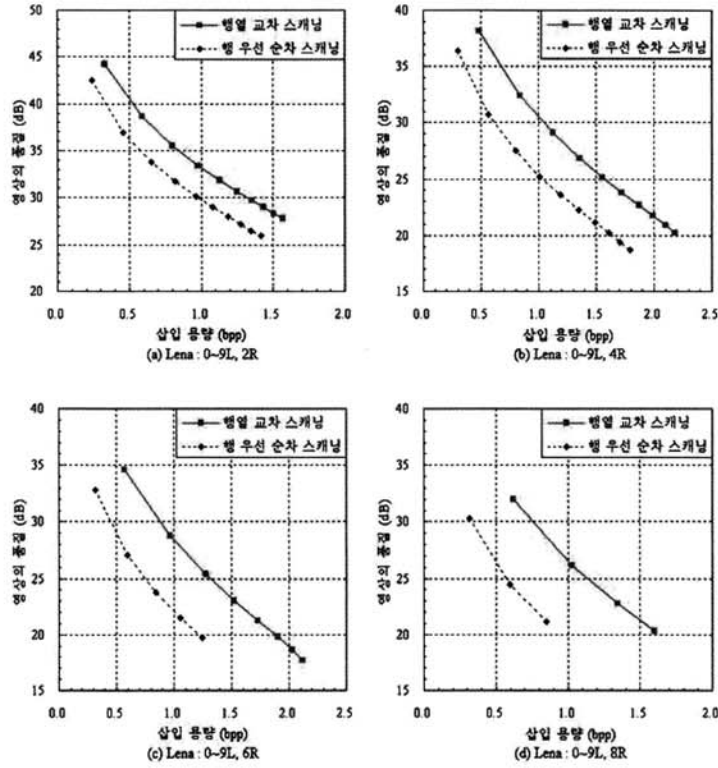
$$PSNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (2)$$

M 과 N 은 각각 영상의 가로 및 세로 크기이며, $p_{(i,j)}$ 는 원본 영상의 픽셀값, $p'_{(i,j)}$ 은 마크가 삽입된 영상의 픽셀값이고, n 은 한 픽셀을 표현할 때 필요한 비트의 수이다.

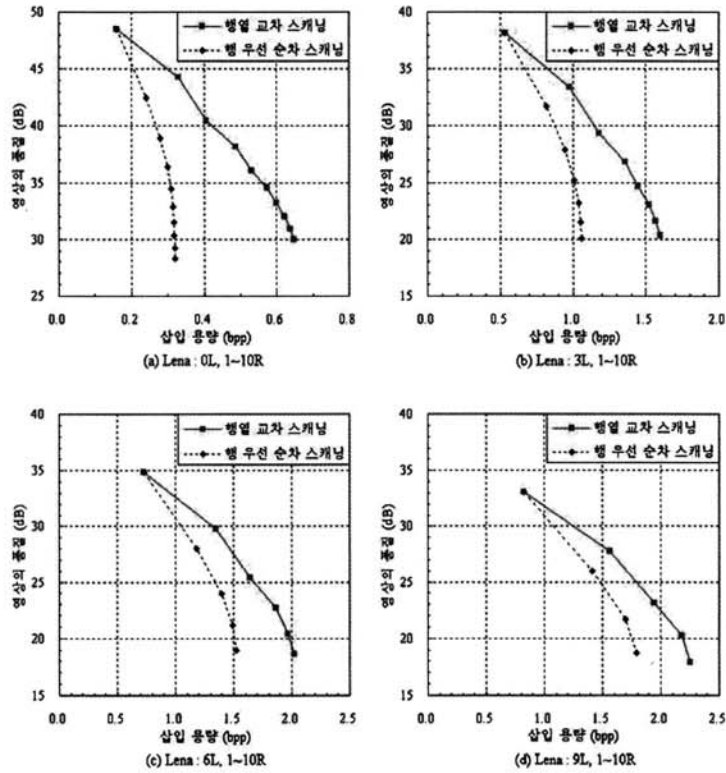


(그림 11) 8-Bits 회색조 512x512 실험 영상

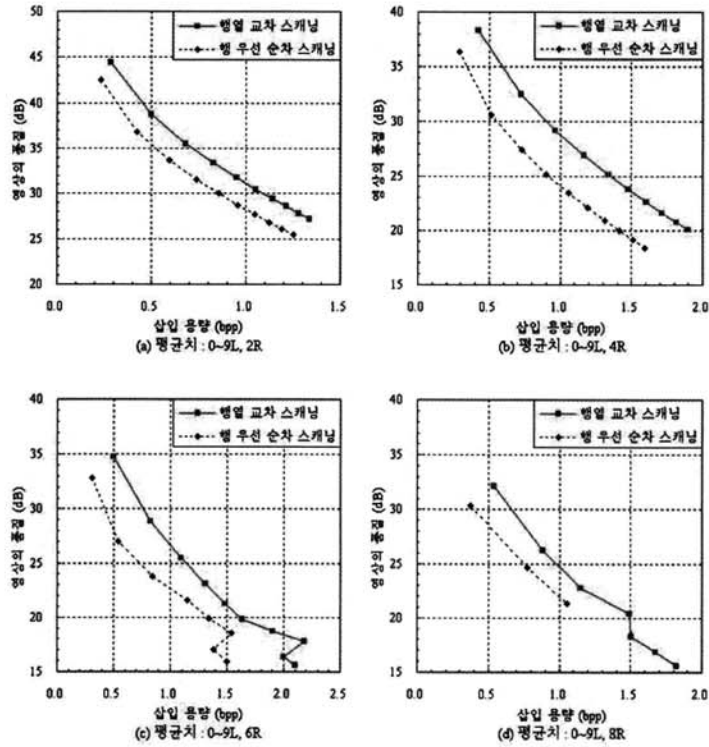
Lena 영상에 대하여 행 우선 순차 스캐닝 방법만을 적용하였을 때와 본 논문에서 제안한 행열 교차 스캐닝 방법을 적용하였을 때의 성능 비교를 (그림 12)부터 (그림 13)까지에 나타내었다. (그림 12)는 반복삽입횟수를 각각 2/4/6/8로 고정시키고 삽입레벨을 0~9까지 변화시켰을 때의 결과이며, (그림 13)은 삽입레벨을 0/3/6/9로 고정시키고 반복삽입 횟수를 1~10까지 변화시켰을 때의 결과를 나타낸 것이다. 모든 실험 영상에 대한 결과가 (그림 12)와 (그림 13)에 나타낸 Lena 영상과 매우 흡사한 패턴의 결과를 보이고 있으므로 본 논문에는 나머지 실험 영상들에 대한 결과들은 포함하지 아니하였고, 종합적인 결과를 살펴보기 위하여 7개 영상의 결과에 대한 평균치를 (그림 14)와 (그림 15)에 나타내었다. 그래프에서 각 점들은 특정 삽입레벨 및 반복삽입 횟수에서의 실험 결과를 나타낸 것이며, 삽입 가능한 용량보다 오버헤드 정보가 더 큰 실험결과는 그래프에 나타내지 아니하였다. 실험 결과를 통하여 기존 연구들에서처럼 한 가지 스캐닝 방법만을 사용하는 것보다 본 논문에서 제안한 행열 교차 스캐닝 방법을 사용하여 반복삽입 하는 것이 더욱 효율적임을 알 수 있으며, 특히 반복삽입 횟수가 증가할수록 지역성의 저하 현상이 상당히 완화된 것을 알 수 있다.



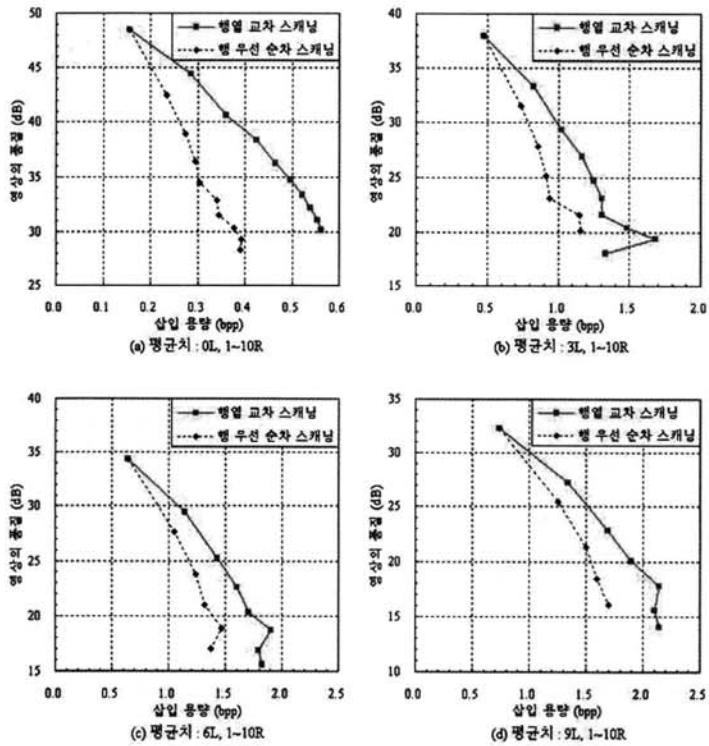
(그림 12) Lena 영상에 대한 스캔방향 변경 성능: 2/4/6/8 회 반복삽입



(그림 13) Lena 영상에 대한 스캔방향 변경 성능: 0/3/6/9 레벨 반복삽입



(그림 14) 전체영상에 대한 스캔방향 변경 성능(평균치): 2/4/6/8 회 반복삽입



(그림 15) 전체영상에 대한 스캔방향 변경 성능(평균치): 0/3/6/9 레벨 반복삽입

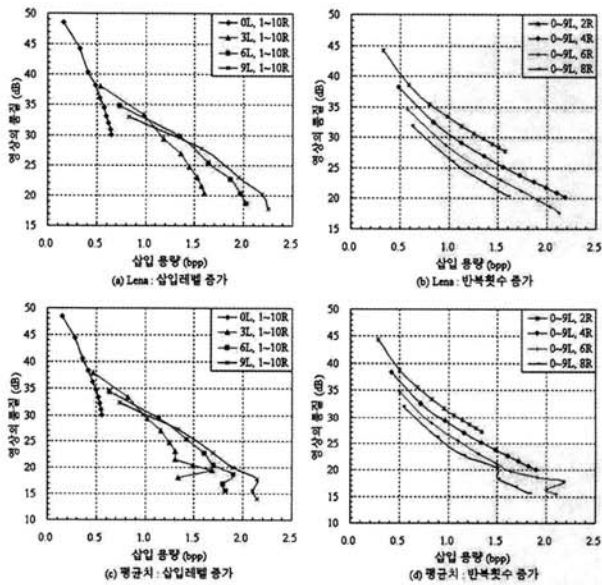
행 우선 스캐닝 방법에 비하여 본 논문에서 제안한 행렬 교차 스캐닝 방법을 통한 품질(PSNR) 및 삽입용량(bpp) 척도의 성능 향상 정도를 확인하기 위하여, 삽입레벨 $L=\{0,2,4\}$ 에 대하여 2회 및 4회 반복삽입 했을 때의 결과를 <표 1>과 <표 2>에 나타내었다. 반복의 단계가 높을수록 삽입용량이 상당히 증가한다는 것을 알 수 있으며, 더 많이 삽입하였을 때에도 불구하고 품질 또한 증가하였음을 알 수 있다.

<표 1> 행 우선 스캐닝 대비 행렬 교차 스캐닝 방법의 삽입 용량(bpp) 향상률

삽입조건	Lena	Baboon	Boat	Airplane	Aerial	Tank	Trucks	평균치
0L 2R	37%	24%	29%	20%	16%	12%	13%	22%
2L 2R	23%	17%	19%	12%	9%	11%	12%	15%
4L 2R	17%	13%	16%	8%	5%	8%	10%	11%
0L 4R	63%	50%	51%	39%	36%	36%	38%	44%
2L 4R	40%	38%	35%	25%	24%	29%	32%	31%
4L 4R	30%	30%	30%	21%	19%	22%	27%	25%

<표 2> 행 우선 스캐닝 대비 행렬 교차 스캐닝 방법의 영상 품질(PSNR) 향상률

삽입조건	Lena	Baboon	Boat	Airplane	Aerial	Tank	Trucks	평균치
0L 2R	4%	5%	4%	4%	5%	4%	5%	5%
2L 2R	5%	6%	5%	5%	6%	5%	6%	5%
4L 2R	6%	6%	6%	6%	7%	5%	6%	6%
0L 4R	5%	6%	5%	5%	6%	5%	6%	5%
2L 4R	6%	7%	6%	6%	7%	6%	7%	6%
4L 4R	7%	8%	7%	7%	8%	6%	7%	7%



(그림 16) 행렬 교차 스캐닝의 삽입레벨 및 반복횟수 증가에 대한 성능변화: Lena(a와 b), 전영상 평균치(c와 d)

(그림 16)은 행렬 교차 스캐닝을 적용하여 반복삽입 하였을 때, 삽입레벨을 증가하여 반복삽입할 때와 반복횟수를 증가하여 반복삽입할 때의 성능을 비교한 것이다. (그림 16(a)와 (그림 16(b))는 Lena 영상에 대한 결과이며, (그림 16(c)와 (그림 16(d))는 7개 영상의 결과에 대한 평균치를

나타낸 것이다. 결과를 통해 알 수 있듯이 삽입레벨을 높게 하고 적은 횟수로 반복삽입하는 것이 삽입레벨을 낮게 하고 많은 횟수로 반복삽입하는 것보다 삽입용량 및 품질 척도에서 성능이 조금 더 좋은 것을 알 수 있다. 따라서 한 번의 삽입과정으로 많은 용량을 삽입할 수 있는 방법을 선택하여 여러 번 반복삽입하는 것이 삽입용량 뿐만 아니라 품질 면에서도 우수하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 차이값 히스토그램을 이용하는 가역 워터마킹 알고리즘에서 삽입용량을 높이기 위하여 반복삽입을 할 때 최대치 저하를 최소화하기 위한 효율적인 반복삽입 기법을 제안하였다. 한 번 메시지가 삽입되어 수정된 영상에 대하여 지역성을 최대한 활용하기 위하여 반복의 단계가 진행될 때마다 차이값 히스토그램을 계산하기 위한 스캔 방향을 조절하는 행렬 교차 스캐닝 기법을 적용하여 성능을 향상시켰다. 행 우선 스캐닝만을 사용하는 기존 방법에 비하여 제안한 알고리즘을 적용하였을 때 삽입용량 뿐만 아니라 품질 성능 또한 향상되었음을 알 수 있다.

향후 본 논문의 알고리즘을 점진적 차이값 히스토그램 방법에서뿐만 아니라 변환영역을 포함한 다른 모든 종류의 가역 워터마킹 알고리즘에 적용할 수 있도록 확장할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] I. J. Cox, M. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich and T. Kalker, "Digital Watermarking and Steganography," Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, 2007.
- [2] H. T. Sencar, M. Ramkumar and A. N. Akansu, "Data Hiding Fundamentals and Applications: Content Security in Digital Multimedia," Academic Press, Inc., Orlando, FL, 2004.
- [3] M. Wu and B. Liu, "Multimedia Data Hiding," Springer-Verlag, USA, 2003.
- [4] M. Awrangjeb, "An Overview of Reversible Data Hiding," Proc. of the Sixth International Conference on Computer and Information Technology, Jahangirnagar University, Bangladesh, pp.75-79, 2003.
- [5] F. Mintzer, J. Lotspiech and N. Morimoto, "Safeguarding digital library contents and users: digital watermarking," D-Lib Magazine, 1997.
- [6] J. Fridrich, M. Goljan and R. Du, "Invertible authentication," Proc. of the SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, CA, Vol.4314, pp.197-208, 2001.
- [7] M.U. Celik, G. Sharma, A.M. Tekalp and E. Saber, "Lossless generalized-LSB data embedding," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.14, No.2, pp.253-266, 2005.
- [8] B. Yang, M. Schmucker, C.B.W. Funk and S. Sun, "Integer DCT-based reversible watermarking for images using compounding technique," Proc. of the SPIE, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents,

San Jose, CA, Vol.5306, pp.405-415, 2004.

[9] G. Xuan, Q. Yao, C. Yang, J. Gao, P. Chai, Y.Q. Shi and Z. Ni, "Lossless data hiding using histogram shifting method based on integer wavelets," International Workshop on Digital Watermarking, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4283, Springer, Jeju Island, Korea, pp.323-332, 2006.

[10] S. Lee, C.D. Yoo and T. Kalker, "Reversible image watermarking based on integer-to-integer wavelet transform," IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol.2, No.3, pp.321-330, 2007.

[11] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.13, No.8, pp.890-896, 2003.

[12] A.M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of triplets," Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, Vol.1, pp.501-504, 2003.

[13] A.M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of quads," Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Montreal, Canada, Vol.3, pp.377-380, 2004.

[14] A.M. Alattar, "Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.13, No.8, pp.1147-1156, 2004.

[15] L. Kamstra and H.J.A.M. Heijmans, "Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.14, No.12, pp.2082-2090, 2005.

[16] D.M. Thodi and J.J. Rodriguez, "Expansion embedding techniques for reversible watermarking," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.16, No.3, pp.721-730, 2007.

[17] Z. Ni, Y.-Q. Shi, N. Ansari and W. Su, "Reversible data hiding," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.16, No.3, pp.354-362, Mar. 2006.

[18] E. Varsaki, V. Fotopoulos and A.N. Skodras, "A reversible data hiding technique embedding in the image histogram," Technical Report HOU-CS-TR-2006-08-GR, Hellenic Open University, 2006.

[19] J.H. Hwang, J.W. Kim and J.U. Choi, "A reversible watermarking based on histogram shifting," International Workshop on Digital Watermarking, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4283, Springer-Verlag, Jeju Island, Korea, pp.348-361, 2006.

[20] W.-C. Kuo, D.-J. Jiang and Y.-C. Huang, "Reversible data hiding based on histogram," International Conference on Intelligent Computing, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.4682, Springer-Verlag, Qing Dao, China, pp.1152-1161, 2007.

[21] S.-K. Lee, Y.-H. Suh and Y.-S. Ho, "Lossless data hiding based on histogram modification of difference images," Pacific Rim Conference on Multimedia, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3333, Springer-Verlag, Tokyo, Japan, pp.340-347, 2005.

[22] C.-C. Lin, W.-L. Tai and C.-C. Chang, "Multilevel reversible data hiding based on histogram modification of difference images," Pattern Recognition, Vol.41, No.12, pp.3582-3591, 2008.

[23] P. Tsai, Y.-C. Hu and H.-L. Yeh, "Reversible image hiding scheme using predictive coding and histogram shifting," Signal Processing, Vol.89, No.6, pp.1129-1143, 2009.

[24] K.-S. Kim, M.-J. Lee, H.-Y. Lee and H.-K. Lee, "Reversible data hiding exploiting spatial correlation between sub-sampled images," Pattern Recognition, Vol.42, No.11, pp.3083-3096, 2009.

[25] D.-G. Yeo, H.-Y. Lee, B. M. Kim, K.-S. Kim, "Reversible Image Watermarking with Differential Histogram Shifting and Error Prediction Compensation," Journal of KIISE : Software and Applications, vol.37, no.6, pp.417-429, 2010.

[26] D.-G. Yeo, H.-Y. Lee, and B. M. Kim, "High Capacity Reversible Watermarking using Differential Histogram Shifting and Predicted Error Compensation," Journal of Electronic Imaging, SPIE, vol.20, no.1, 2011.

여 동 규



e-mail : sylot@kumoh.ac.kr

1999년 국립금오공과대학교 컴퓨터공학과 (학사)

2001년 국립금오공과대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2010년 국립금오공과대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

2010년~현 재 국립금오공과대학교 박사후연구원

관심분야: 정보보호, 디지털 워터마킹, 디지털 포렌식 등

이 해 연



e-mail : haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr

1997년 성균관대학교 정보공학과(학사)

1999년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)

2006년 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공(공학박사)

2001년~2006년 (주)세트랙아이 선임연구원

2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원

2008년~현 재 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털워터마킹 등

김 병 만



e-mail : bmkim@kumoh.ac.kr

1987년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1989년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)

1992년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

1998년~1999년 미국 UC, Irvine 대학 방문교수

2005년~2006년 미국 콜로라도 주립대학 연구교수

1992년~현 재 국립금오공과대학교 교수

관심분야: 인공지능, 정보검색, 정보보안, 소프트웨어 테스트 및 검증 등