

추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 고용량 가역 워터마킹

이 해 연[†] · 김 경 수^{††}

요 약

디지털 콘텐츠의 원본 품질을 유지할 수 있고 지적 재산권을 보호할 수 있는 가역 워터마킹 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 원본 품질을 중요시하는 의료, 군사, 예술작품 분야에서 가역 워터마킹의 필요성이 증대되고 있다. 본 논문에서는 추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 고용량 가역 워터마킹 기술을 제안한다. 보간 기법을 사용하여 픽셀의 값을 추정하고, 추정값과 원본값의 차이에 대한 히스토그램을 계산한 후에 이를 확장하여 워터마크 메시지를 삽입한다. 기존의 인접 픽셀 사이의 차이값이 아닌 추정치를 활용함으로써 메시지가 삽입되는 히스토그램 값의 집중도를 높여서 높은 삽입 용량을 달성하였다. 삽입된 워터마크는 추정값과 원본값의 차이에 대한 히스토그램을 복원하여 검출한다. 삽입 후에 발생할 수 있는 오버플로우 및 언더플로우 문제는 오류 예측 기법을 통하여 해결하였다. 제안하는 가역 워터마킹 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 다양한 영상을 활용하여 기존 알고리즘과 비교 분석을 수행하였다. 그 결과에 따르면 제안한 알고리즘은 완전한 가역성을 갖으며, 삽입 후에도 높은 영상 품질을 유지하고, 높은 삽입 용량을 얻을 수 있었다.

키워드 : 가역 워터마킹, 고용량, 고품질, 추정 오차 확장, 오류 예측 보정

High-Capacity Reversible Watermarking through Predicted Error Expansion and Error Estimation Compensation

Hae-Yeoun Lee[†] · Kyung-Su Kim^{††}

ABSTRACT

Reversible watermarking which can preserve the original quality of the digital contents and protect the copyright has been studied actively. Especially, in medical, military, and art fields, the need for reversible watermarking is increasing. This paper proposes a high-capacity reversible watermarking through predicted error expansion and error estimation compensation. Watermark is embedded by expanding the difference histogram between the original value and the predicted value. Differently from previous methods calculating the difference between adjacent pixels, the presented method calculates the difference between the original value and the predicted value, and that increases the number of the histogram value, where the watermark is embedded. As a result, the high capacity is achieved. The inserted watermark is extracted by restoring the histogram between the original value and the predicted value. To prove the performance, the presented algorithm is compared with other previous methods on various test images. The result supports that the presented algorithm has a perfect reversibility, a high image quality, and a high capacity.

Keywords : Reversible watermarking, High capacity, High quality, Predicted error expansion, Error estimation compensation

1. 개 요

컴퓨터 기술의 발달로 디지털 콘텐츠가 범람함에 따라서, 이에 대한 지적 재산권 보호가 사회적인 이슈로 대두되고

있다. 암호화 기술과 달리 디지털 워터마킹 기술은 콘텐츠 자체에 지적 재산권 보호를 위한 정보를 직접적으로 삽입하고, 불법적인 유통은 콘텐츠에 삽입된 정보를 검출함으로써 효과적으로 보호할 수 있다[1, 2, 3].

디지털 워터마킹 기술은 그 요구에 따라서 강인한 워터마킹, 연성 워터마킹, 반연성 워터마킹 등으로 구분할 수 있다 [1]. 그러나 이들 워터마킹 기술은 원본 콘텐츠의 품질을 희생하여 워터마크를 삽입하므로 원본 콘텐츠의 복원이 불가능한 문제점이 있다. 그러나 의료, 군사, 예술작품 분야에서

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음.

† 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부

†† 정 회 원 : KT 네트워크연구소

논문접수 : 2010년 1월 8일

수정일 : 1차 2010년 3월 9일,

심사완료 : 2010년 3월 9일

는 원본 콘텐츠 품질을 중요시하고, 추가적으로 지적 재산권에 대한 보호의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 최근 워터마킹 분야에서 원본 품질의 복원이 가능한 가역 워터마킹(reversible watermarking)에 대한 연구가 진행되고 있다[4].

가역 워터마킹의 주요한 요구사항은 높은 삽입 용량과 완벽한 가역성이다. 또한 워터마크 삽입 후에 높은 영상의 품질 즉 시각적인 투명성을 요구한다. 최근에는 상대적으로 자원 및 계산능력이 제한된 모바일 휴대 장치들의 다양화로 워터마킹의 계산 복잡도가 높지 않아야 한다. 이와 같은 가역 워터마킹 기술에 대해 2절에서 간략히 정리하도록 하겠다.

본 논문에서는 추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 고용량 가역 워터마킹 기술을 제안한다. 보간 기법을 사용하여 픽셀의 값을 추정하고, 추정값과 원본값의 차이에 대한 히스토그램을 계산한 후에 이를 확장하여 워터마크 메시지를 삽입한다. 기존의 인접 픽셀 사이의 차이값에 대한 히스토그램을 이용하는 방법적 유사성이 있지만, 추정치를 활용함으로써 메시지가 삽입되는 히스토그램 값의 집중도를 높여서 높은 삽입 용량을 달성하였다. 또한 삽입 후에 발생할 수 있는 오버플로우 및 언더플로우 문제는 오류 예측 기법을 통하여, 워치 정보 및 JBIG 압축을 통하여 해결하였다. 마지막으로, 삽입된 워터마크는 추정치와 원본값의 차이에 대한 히스토그램을 통해 추출하고, 원본 콘텐츠는 히스토그램 복원 후에 예측되었던 오류를 보정하여 복원한다. 제안하는 가역 워터마킹 알고리즘의 성능은 다양한 실험 영상을 활용하여 기존 히스토그램 기반 알고리즘과 비교 분석을 통하여 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존 가역 워터마킹 기술에 대하여 설명한다. 3절에서는 추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하고, 4절에서 기존 알고리즘과 비교 분석을 통하여 성능을 검증한다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

가역 워터마킹 기술은 메시지를 삽입하는 방법이나 사용하는 도메인에 따라서 특정영역 압축방법, 변환 도메인 삽입방법, 차이값 확장방법, 히스토그램 변환방법으로 분류할 수 있다. 블록 단위 히스토그램 유사성을 통한 방법도 있으나 효율성이 부족하여 제외하였다[5].

2.1 특정영역 압축방법

압축방법을 활용한 워터마킹 기술은 워터마크를 삽입할 수 있는 공간을 확보하기 위하여 영상의 특정영역을 압축하고, 그 차이 부분에 워터마크를 삽입한다. Fridrich et al.은 공간 도메인 상에서 지정한 비트 평면을 JBIG 무손실 압축 기법을 이용하여 압축하고, 빈 공간에 메시지를 삽입하였다[6]. 가역 워터마킹의 요구사항인 비지각성을 위하여 하위 비트평면에 워터마크를 삽입해야 하지만, 하위 비트평면은 잡음과 같은 특성을 갖고 있어서 압축 효율이 떨어지기 때

문에 삽입할 수 있는 워터마크의 삽입량이 작다.

Celik et al.은 최하위비트(Least Significant Bit, LSB)에 워터마크를 삽입하는 일반화된 알고리즘을 제안하였다[7]. 압축의 효율을 향상하여 삽입 용량을 증대시키기 위하여 예측 기반 조건부 엔트로피 코딩 방법인 CALIC 무손실 압축 알고리즘을 적용하였다. 그러나 영상의 특정 비트평면을 압축하는 방법은 영상의 구조적인 특성과 사용된 압축 알고리즘의 성능에 따라서 결과가 다르며, 압축 성능이 높지 않아서 높은 삽입 용량을 달성하기 어렵다.

2.2 변환도메인 삽입방법

변환 도메인에서의 워터마킹 기술은 비인지성을 위하여 많이 사용된다. 공간 도메인에서 한 픽셀의 수정은 인지성에 직접 연관되지만, 변환 도메인에서 한 계수값은 다수의 픽셀에 연관되어 인지성에 크게 영향을 주지 않는다[8]. 가역 워터마킹에서도 이산코사인변환 도메인이나 이산웨이블릿변환 도메인에서 워터마크 삽입 및 검출에 대한 연구가 진행되어 왔다.

Yang et al.은 블록 단위의 정수형 이산 코사인변환 후에 여러 AC 계수를 선택하여 메시지를 삽입하였다[9]. Xuan et al.은 영상을 이산웨이블릿변환 후 고주파 서브밴드에서 정수 웨이블릿 계수의 가운데 비트평면에 메시지 비트를 삽입했다[10]. Lee et al.은 영상의 블록에 정수 대 정수 웨이블릿 변환을 적용하여 각 블록의 고주파 웨이블릿 계수에 메시지 비트를 삽입했다[11]. 이들 변환 도메인 방법들은 변환영역에서 이루어지기 때문에 계산 복잡도가 높아서, 자원이나 계산 성능에 대한 요구가 높다는 단점을 가진다.

2.3 차이값 확장방법

차이값 확장방법에서는 영상에 존재하는 데이터 사이의 지역적 유사성에 기반을 두고 그 차이값을 확장시키고, 확장으로 인하여 생성된 공간(비트)에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 대표적인 차이값 확장방법은 Tian에 의하여 제안되었다[12]. 영상 픽셀들 사이의 차이값과 평균값을 이용하여 특성값을 계산하고 이를 확장하고 생성된 공간에 메시지를 삽입하였다. 그러나 이 방법은 각 픽셀에 대하여 확장성, 변경성 등의 부가정보가 필요하고 워터마크와 함께 삽입해야 하기 때문에 삽입용량에 제한이 있다.

Alattar는 인접 픽셀들의 세 쌍(triplets)과 네 쌍(quads)을 이용하여 컬러 영상을 위한 차이값 확장 방법과 Tian의 차이값 확장방법을 정수형 웨이블릿 변환을 통하여 일반화된 차이값 확장방법을 제안하였다[13-15]. Kamstra and Heijmans는 어느 위치가 확장 가능한지 예측하는 기법을 적용하여 Tian 방법의 삽입 용량을 향상시켰다[16]. Thodi and Rodriguez는 인접한 픽셀들 사이의 차이값 확장이 아닌 공간적 유사도를 활용한 추정 오차를 확장하는 방법을 제안하였다[17]. 일반적으로 차이값 확장방법의 경우 비트 쉬프팅을 통해서 이루어지는데, 이는 각 픽셀값의 차이를 2배 확장하는 것과 유사한 형태로서, 워터마크 삽입후의 영상의

품질이 저하가 된다.

2.4 히스토그램 변환방법

히스토그램 변환방법에서는 공간 영역에서 영상에 대한 히스토그램을 계산하고, 히스토그램에 대한 변환을 통하여 워터마크를 삽입할 공간을 생성한다. 이들 방법은 공간 영역에서 처리되기 때문에 변환 영역 방법들에 비하여 계산 복잡도가 낮다. 히스토그램은 원 영상의 픽셀값을 활용하거나 차분 영상의 히스토그램을 이용하였다. Ni et al.은 픽셀 값 히스토그램의 최소점과 최대점을 이용하는데 삽입용량은 최대(peak)점에 해당하는 픽셀의 빈도수에 의해 정해진다 [18]. Hwang et al.과 Kuo et al.은 Ni의 방법을 확장하여 최소점과 최대점에 대한 정보를 저장하는 위치정보 맵을 이용하였다[19, 20].

Lee et al.은 차이값 영상의 히스토그램을 이용하여 차이 값이 -1 과 +1 인 위치에 데이터를 삽입하였다[21]. Lin et al.은 영상을 서로 겹치지 않는 블록으로 나누고 각 블록간의 차분 영상을 생성한 후, 각각의 차분 영상에 대한 히스토그램을 수정하여 메시지를 삽입하였다[22]. Tsai et al.은 각 블록에서 기준 픽셀과 나머지 픽셀과의 차이값으로 구성된 차분 영상을 이용하였다[23]. 비록 Lin et al. 방법과 Tsai et al. 방법이 기존 히스토그램 기반의 방법보다 높은 삽입용량을 얻어내긴 했지만, 모든 블록들의 최대값에 대한 정보를 워터마크와 함께 전송해야 한다. 따라서 삽입용량을 증가시킬수록 부가 정보의 양도 증가하여 유효삽입용량은 상대적으로 줄어든다.

Kim et al.은 영상의 공간적 유사성을 활용하기 위하여 영상을 샘플링하고, 기준 샘플영상과 나머지 샘플영상들 사이의 차이값 히스토그램을 생성한 후, 히스토그램 쉬프팅을 통하여 메시지를 삽입하였다[4]. 삽입용량을 증가시키기 위해 영상의 지역성을 활용하였다. 일반적인 영상의 경우 지역성이 높아서 고주파 성분보다는 저주파 성분이 더 많은 영상에 대해 높은 삽입용량을 나타냈다. 또한 차이값 히스토그램의 특성상 최대점이 0 인 경우가 많아서, 최대점 위치를 0 으로 고정시켰기 때문에 최대점과 최소점의 위치에 대한 오버헤드 정보가 필요하지 않으며, 샘플링 간격과 삽입레벨 정보를 위한 12 비트 정도의 오버헤드만을 필요로 한다. 하지만, 응용 프로그램에서 요구되는 삽입 용량을 충족하기 위하여 높은 삽입 레벨을 지정하거나 삽입된 영상에 재삽입을 하는 경우 지역성이 낮아지므로, 삽입 용량 및 화질이 급격히 저하된다.

3. 제안하는 가역 워터마킹

본 논문에서는 높은 삽입률, 높은 비인지성, 낮은 계산 복잡도를 갖는 가역 워터마킹을 위하여 히스토그램 변환방법에 기반하는 알고리즘을 제안한다. 히스토그램 변환방법은 공간도메인에서 처리되므로, 낮은 계산복잡도를 갖으며, 삽입과정은 히스토그램 쉬프팅을 통해 이루어지므로, +1/-1의

오차만 발생하므로, 높은 비인지성을 갖는다. 다만, 높은 삽입률을 위하여 히스토그램의 최대치에 해당하는 픽셀이 많아지도록 히스토그램의 처리가 중요하다. 이를 위하여 제안하는 알고리즘에서는 기존의 영상 히스토그램이나 차이값 히스토그램이 아닌, 추정 오차를 활용하는 히스토그램을 도입하였다. 또한 히스토그램에서 발생할 수 있는 오버플로우 및 언더플로우 문제도 오류 예측 보정을 통하여 해결하였다.

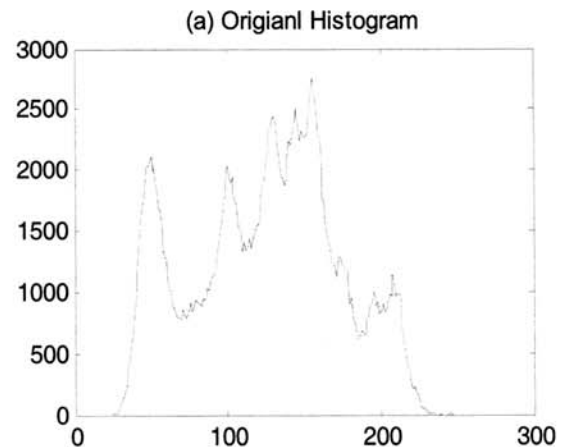
3.1 추정 오차 계산

히스토그램 변환방법에서는 히스토그램을 계산하고, 워터마크를 삽입하기 위하여 최대값을 검출하고, 이를 중심으로 히스토그램을 수정하여 빈 공간을 확보한 후에 삽입하고자 하는 메시지의 값에 따라서 히스토그램의 최대값을 분산시킴으로써 워터마크를 삽입한다. 따라서, 높은 워터마크 삽입용량을 얻기 위해서는 히스토그램의 최대값이 크도록 해야 한다.

초기 히스토그램 변환방법에서는 원본 영상의 픽셀 밝기 값을 활용하여 히스토그램을 계산하였다. 그러나 동일한 밝기 값을 갖는 픽셀의 개수는 제한되어 히스토그램 최대값에 제약이 있고, 높은 삽입용량을 달성하기 위하여 반복적인 삽입을 수행해야 했다. 그러나 반복적인 삽입이 많아질수록 원본 영상의 왜곡이 심해지고 오버헤드 정보의 양과 알고리즘의 복잡도가 증가한다.

최근에는 인접한 픽셀의 차이값을 활용한 히스토그램을 계산하는 방법이 이용된다. 인접한 픽셀의 차이값을 활용할 경우 픽셀의 지역성에 의하여 같은 히스토그램 값을 갖을 확률이 높아지므로, 하나의 최대점만 사용해도 높은 삽입용량을 얻을 수 있다. (그림 1)에는 Lena 영상에 대한 영상 히스토그램과 차이값 영상에 대한 히스토그램을 도시하였다.

영상 히스토그램의 최대값은 2,751인데 반하여, 열방향 인접 픽셀간의 차이값 히스토그램의 최대값은 23,867로 나타났고, 최대점의 값이 다른 것을 확인할 수 있다. 이는 알고리즘을 1회 수행하면, 영상 히스토그램의 경우 최대 2,751



(그림 1) Lena 영상에 대한 원본 히스토그램 및 차이값 히스토그램

bits만 삽입가능한데, 차이값 히스토그램의 경우 최대 23,867 bits의 삽입이 가능한 것을 의미한다. 또한 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 오버헤드를 제거할 수 있다.

히스토그램 변환방법에서는 최대값이 높은 히스토그램을 생성하는 것이 높은 비인지성과 삽입용량을 달성하는데 있어서 필수적이다. 본 논문에서는 보간 방법을 사용하여 픽셀값을 추정하고, 원본 픽셀값과 추정 픽셀값과의 차이값을 계산하여 히스토그램을 계산하였다. 픽셀값을 추정함에 있어서 중요한 사항은 워터마크의 삽입 및 검출 과정에서 추정치가 변경되면 안 되므로, 고정된 픽셀의 위치를 지정해야 한다. (그림 2)에는 고정된 픽셀의 위치를 지정하는 방법의 예를 나타내었다. 여기서 $P(i,j)$ 는 영상의 (i,j) 에서 픽셀값을 나타낸다.

(그림 2a)는 열방향으로 $P(i,j)$, $P(i+2,j)$ 픽셀의 위치를 고정하고, $P(i+1,j)$ 에 해당하는 픽셀을 $P(i,j)$, $P(i+2,j)$ 픽셀로부터 추정한다. (그림 2b)는 행과 열방향으로 $P(i,j)$,

$P(i,j)$	$P(i+1,j)$	$P(i+2,j)$	...	$P(i+M,j)$
$P(i,j+1)$	$P(i+1,j+1)$	$P(i+2,j+1)$	...	$P(i+M,j+1)$
$P(i,j+2)$	$P(i+1,j+2)$	$P(i+2,j+2)$	...	$P(i+M,j+2)$
...
$P(i,j+N)$	$P(i+1,j+N)$	$P(i+2,j+N)$	...	$P(i+M,j+N)$

(a)

$P(i,j)$	$P(i+1,j)$	$P(i+2,j)$	...	$P(i+M,j)$
$P(i,j+1)$	$P(i+1,j+1)$	...	...	...
$P(i,j+2)$	...	$P(i+2,j+2)$	...	$P(i+M,j+2)$
...
$P(i,j+N)$	...	$P(i+2,j+N)$	...	$P(i+M,j+N)$

(b)

(그림 2) 고정된 픽셀의 위치(음영부분)를 지정하는 방법 및 추정 오차 계산 픽셀

$P(i+2,j)$, $P(i,j+2)$, $P(i+2,j+2)$ 픽셀의 위치를 고정하고, $P(i+1,j)$, $P(i,j+1)$, $P(i+1,j+1)$ 에 해당하는 픽셀을 $P(i,j)$, $P(i+2,j)$, $P(i,j+2)$, $P(i+2,j+2)$ 픽셀로부터 추정한다. 추정 오차를 이용한 히스토그램 계산에 있어서 고정된 픽셀의 위치는 제외된다. 따라서 (그림 2a)의 경우 고정픽셀의 수가 (그림 2b)보다 높으므로 알고리즘의 1회 수행 시에 삽입되는 워터마크의 양은 제한되어있고, 인접한 픽셀에 대한 고려가 낮아서 삽입률이 낮다. 이와 같이 인접 픽셀과의 차이값이 아닌 추정 오차를 활용할 경우 인접한 픽셀간의 유사성을 높게 유지할 수 있고, 워터마크 삽입에 있어서 방향성을 유지할 수 있으므로, 동일한 워터마크 삽입량에도 불구하고 높은 영상품질의 유지가 가능하다.

(그림 2a)에서 추정 오차 $Pe(i+1, j)$ 는 다음과 같이 계산된다.

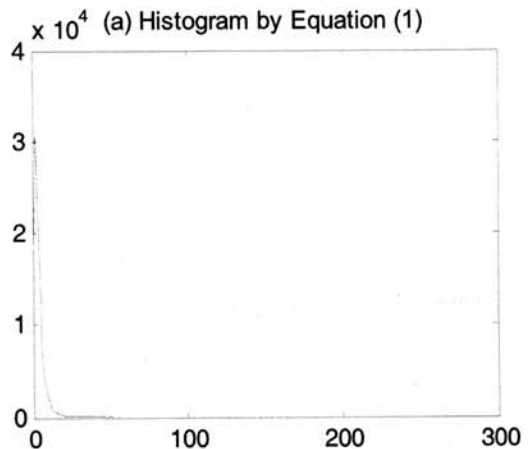
$$Pe(i+1, j) = \left| P(i+1, j) - \frac{P(i, j) + P(i+2, j)}{2} \right| \quad (1)$$

(그림 2b)에서 추정 오차는 픽셀의 위치에 따라서 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{cases} Pe(i+1, j) = \left| P(i+1, j) - \frac{P(i, j) + P(i+2, j)}{2} \right| \\ Pe(i, j+1) = \left| P(i, j+1) - \frac{P(i, j) + P(i, j+2)}{2} \right| \\ Pe(i+1, j+1) = \left| \frac{P(i+1, j+1) + P(i, j+2) + P(i+2, j+2)}{4} - \frac{P(i, j) + P(i+2, j) + P(i, j+2) + P(i+2, j+2)}{4} \right| \end{cases} \quad (2)$$

여기서 i 와 j 는 픽셀의 위치에 해당하고, 영상 크기 M, N 에 의하여 제한된다. 제시된 계산식은 Bilinear Interpolation의 특정한 경우에 해당된다.

(그림 3)에는 Lena 영상에 대하여 식(1)와 식(2)에 나타난



(그림 3) Lena 영상에 대한 식(1) 및 식(2)에 의한 추정 오차 히스토그램

추정 오차 계산 방법으로 계산한 추정 오차 히스토그램을 나타내었다. 식(1)에 의하여 계산된 추정 오차 히스토그램에서의 최대값은 30,816이고, 식(2)에 의하여 계산된 추정 오차 히스토그램에서의 최대값은 32,767이다. 따라서 제안한 추정 오차 히스토그램이 기존의 원본 히스토그램이나 차이값 히스토그램에 비하여 높은 최대값을 갖는 것을 확인할 수 있고, 높은 삽입용량을 달성할 수 있다.

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

제안하는 가역 워터마킹 알고리즘에서 워터마크는 추정 오차에 대한 히스토그램을 변경하여 삽입되며, 삽입되는 메시지는 균등 분포로 가정한다. 기존 워터마킹 알고리즘의 경우 삽입하는 워터마크를 암호화 하였으나, 본 연구에서는 가역워터마킹에서 관심이 되는 삽입용량, 영상품질과는 크게 관련이 없어서 해당 과정은 배제하였다.

추정 오류 확장 및 오류 예측 보정을 통한 워터마크 삽입 과정은 (그림 4)에 도시하였다. 제안하는 알고리즘에서는 요구되는 워터마크의 용량 및 영상의 품질에 따라서 삽입과정에서 반복횟수 R 를 증가시킴으로써 높은 삽입률을 달성할

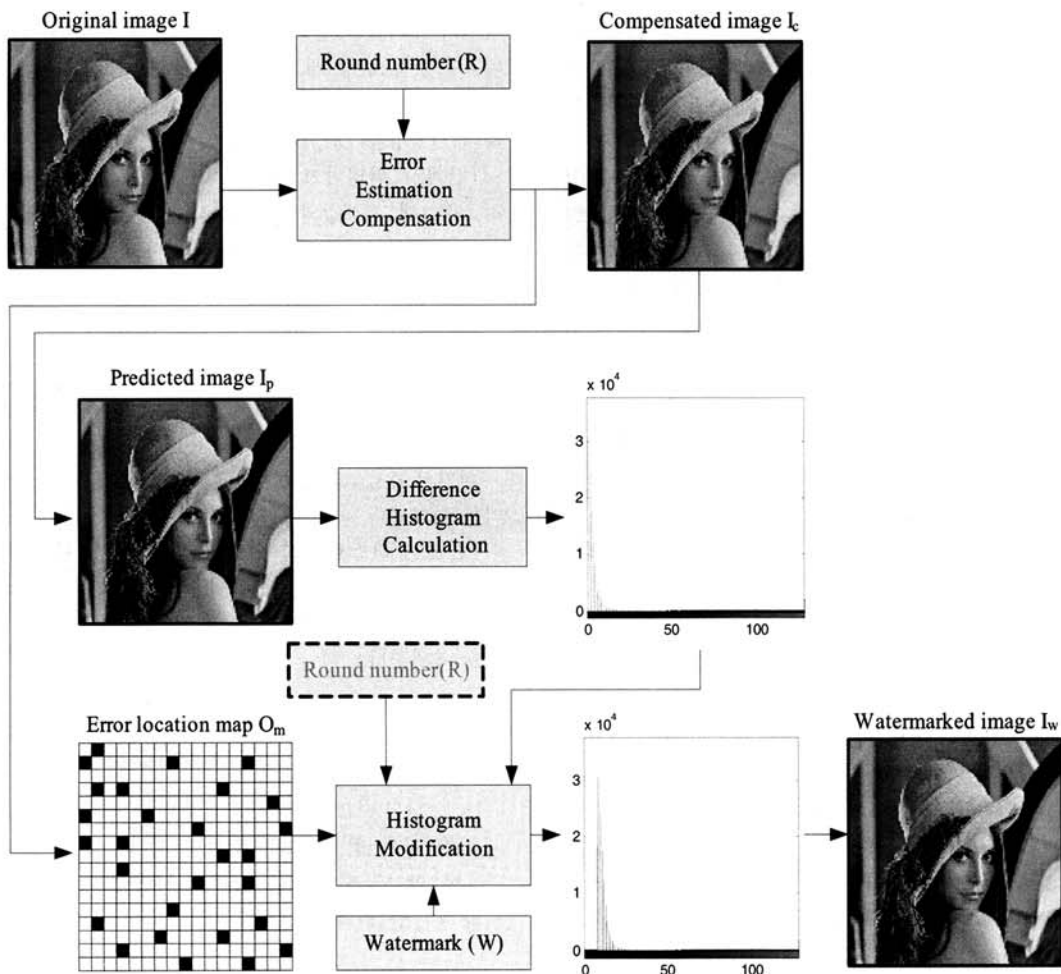
수 있다. 메시지 삽입과정은 4 단계로 구분할 수 있고 각 단계별로 자세히 설명하도록 하겠다.

(단계1) 오류 예측 보정: 원본 영상 I 이 입력되면, 삽입 과정을 반복하고자 하는 횟수 R 을 고려하여 오버플로우 및 언더플로우의 발생 가능성을 고려하여 예측 보정을 수행한다. 오버플로우 및 언더플로우 예측 보정에서는 다음 식과 같이 공간도메인 상에서 픽셀의 밝기값이 $255-R$ 보다 큰 경우 해당 픽셀의 밝기값에서 R 을 차감하고, 밝기값이 R 보다 작은 경우 해당 픽셀의 밝기값에 R 을 가감한 후, 오류 위치 정보 맵에 보정 여부를 표시한다. 오류 예측 보정에 대해서는 3.4절에서 설명한다.

$$I_c(i,j) = \begin{cases} I(i,j) - R, & \text{if } I(i,j) > 255 - R \\ I(i,j) + R, & \text{if } I(i,j) < R \\ I(i,j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $0 \leq i < M, 0 \leq j < N$ 이고, M 과 N 은 영상의 크기를 나타낸다.

오류 예측 보정을 수행하면 보정된 영상 I_c 와 오류 위치



(그림 4) 추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 워터마크 삽입과정

정보 맵 O_m 이 생성된다. 효율적인 워터마킹 시스템의 구축을 위하여 오류 위치 위치정보 맵은 JBIG 압축을 수행하여 워터마크의 일부로 영상에 삽입된다.

(단계2) 추정 오차 히스토그램 계산: 오류 예측 보정이 수행된 영상 I_c 에 대하여 3.1절에서 설명한 추정 오차 계산에 의하여 원본 픽셀값과 추정 픽셀값 사이의 오차를 계산하고, 이에 대한 히스토그램 H 을 생성한다. 여기서, 추정 픽셀값을 갖는 영상을 I_p 라고 하고, 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이의 절대치를 나타내는 영상을 $D(i,j)$ 라고 하자. 추정 오차의 히스토그램은 기존 가역 워터마킹의 원본 히스토그램이나 차이값 히스토그램에 비하여 높은 최대값을 갖는다.

(단계3) 히스토그램 쉬프팅 및 워터마크 삽입: 추정 오차 히스토그램 H 에 워터마크를 삽입하기 위해서는 최대값에 해당하는 위치 MAX_i 를 검색하고, MAX_i 보다 큰 히스토그램 위치값을 갖는 픽셀을 다음과 같이 쉬프트시킨다.

$$H_s = \begin{cases} H+1, & \text{if } H > MAX_i \\ H, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

차이값 히스토그램과 유사하게 $R=1$ 인 경우 히스토그램의 0 위치에서 최대값이 존재할 확률이 높지만, 영상의 특성과 반복횟수 R 의 횟수에 따라 다른 위치에 최대값이 존재할 수 있으므로, 최대값에 대한 정보는 부가적으로 검출과정으로 전송한다.

히스토그램 쉬프팅을 통하여 워터마크의 삽입공간을 생성한 후에, 워터마크의 삽입을 위하여 추정 오차가 히스토그램의 최대값 MAX_i 에 해당하는 픽셀을 검색하여 워터마크의 값이 0인 경우 추정 오차값을 유지하고, 워터마크의 값이 1인 경우 추정 오차값을 +1 증가시킨다. 히스토그램 쉬프팅과 워터마크 삽입 과정은 다음과 같이 모델링된다.

$$D_s(i,j) = \begin{cases} D(i,j), & \text{if } D(i,j) < MAX_i \text{ or } D(i,j) > MAX_i \\ D(i,j), & \text{if } D(i,j) = MAX_i \text{ and } W(n) = 0 \\ D(i,j) + 1, & \text{if } D(i,j) = MAX_i \text{ and } W(n) = 1 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 $D(i,j)$ 는 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이에 대한 절대치 영상이며, $0 \leq i < M, 0 \leq j < N$ 이고, M 과 N 은 영상의 크기를 나타낸다. 워터마크 W 는 0 또는 1의 값을 갖으며, n 은 워터마크 위치를 나타내는 색인 값이다. 이와 같은 워터마크 삽입과정을 지정된 반복횟수 R 에 따라서 반복하여 워터마크를 삽입한다.

(단계4) 워터마크 영상 생성: 상기의 히스토그램 쉬프팅 과정을 통하여 메시지가 삽입된 차이값 영상 $D_s(i,j)$ 을 계산한 후에, 워터마크가 삽입된 영상 I_w 을 생성하기 위하여 차이값에 따라서 영상의 픽셀값을 수정해야 한다. 차이값 영상을 계산할 때 절대값 연산을 통하여 계산하였으므로, 차이

값을 확장할 때 방향성을 고려해야 한다. 이와 같은 과정은 다음과 같이 모델링된다.

$$I_w(i,j) = \begin{cases} I_p(i,j) - D_s(i,j), & \text{if } I_c(i,j) \geq I_p(i,j) \\ I_p(i,j) + D_s(i,j), & \text{if } I_c(i,j) < I_p(i,j) \end{cases} \quad (6)$$

여기서 오류 예측 보정이 수행된 영상 I_c 이 아니라, 추정 픽셀값을 갖는 영상 I_p 를 사용했다.

3.3 워터마크 검출 알고리즘

추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 워터마크 검출 과정은 (그림 5)에 도시하였다. 메시지의 검출과정은 4단계로 구분할 수 있고, 각 단계별로 자세히 설명하도록 하겠다. 워터마크의 검출을 위해서는 반복횟수 R 과 각 반복에 있어서의 히스토그램 최대값의 위치에 대한 정보 MAX_i 가 필요하다. 이들 정보의 경우 몇 비트 이내의 용량에 해당하며 LSB 비트평면 압축 기법 등을 통하여 영상에 삽입하여 전송이 가능하다.

(단계1) 추정 오차 히스토그램 계산: 워터마크가 삽입된 영상 I_w 가 입력되면, 삽입 과정에서와 유사하게 3.1절에서 설명한 추정 오차 계산에 의하여 원본 픽셀값과 추정 픽셀값 사이의 오차를 계산하고, 이에 대한 히스토그램 H 을 생성한다. 여기서, 추정 픽셀값을 갖는 영상을 I_p 라고 하고, 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이의 절대치를 나타내는 영상을 $D(i,j)$ 라고 하자.

(단계2) 워터마크 추출: 워터마크 삽입과정에서 사용된 히스토그램 최대값의 위치에 대한 정보 MAX_i 를 활용하여 삽입된 워터마크를 추출한다. 워터마크 추출의 과정은 다음과 같이 모델링된다.

$$W(n) = \begin{cases} 0, & \text{if } D(i,j) = MAX_i \\ 1, & \text{if } D(i,j) = MAX_i + 1 \end{cases} \quad (7)$$

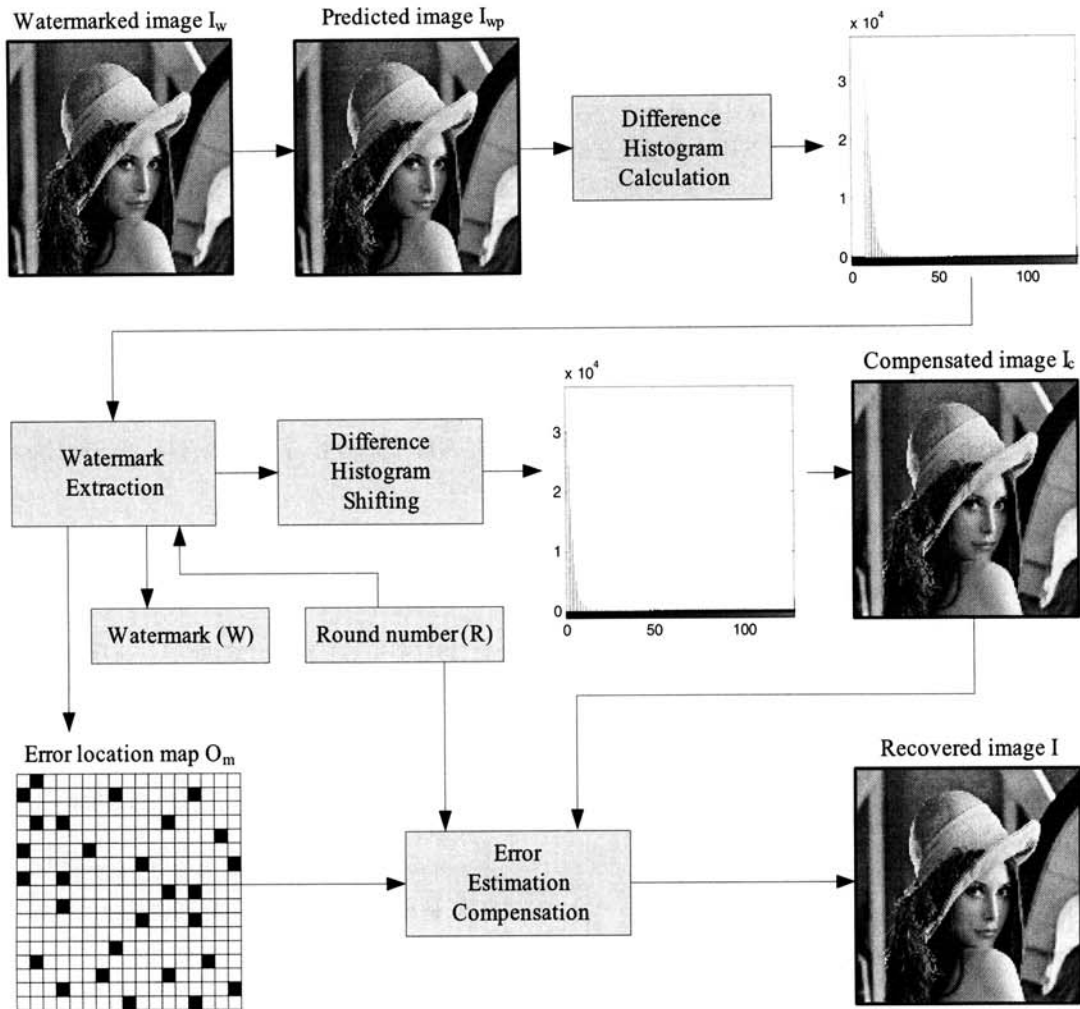
여기서 $0 \leq i < M, 0 \leq j < N$ 이고, M 과 N 은 영상의 크기를 나타낸다.

(단계3) 히스토그램 쉬프팅 및 영상 복원: 워터마크 추출과정이 끝나면, 다음과 같이 히스토그램 쉬프팅의 과정을 통하여 차이값 히스토그램을 워터마크 삽입전의 히스토그램으로 복원한다.

$$H_o = \begin{cases} H-1, & \text{if } H > MAX_i \\ H, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

이와 같은 히스토그램 쉬프팅 과정은 다음과 같이 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이값을 조정하는 것과 동일한 의미를 갖는다.

$$D_o(i,j) = \begin{cases} D(i,j), & \text{if } D(i,j) \leq MAX_i \\ D(i,j) - 1, & \text{if } D(i,j) > MAX_i \end{cases} \quad (9)$$



(그림 5) 추정 오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 워터마크 검출과정

여기서 $D_o(i,j)$ 는 삽입된 워터마크가 제거된 차이값 영상에 해당한다.

워터마크 삽입 이전의 차이값 영상 $D_o(i,j)$ 가 복원되면, 워터마크가 삽입되지 않은 영상 I_c 의 복원이 가능하다. 삽입 과정과 유사하게 워터마크가 삽입되지 않은 영상의 복원과정은 다음과 같이 모델링된다.

$$I_c(i,j) = \begin{cases} I_p(i,j) - D_o(i,j), & \text{if } I_w(i,j) \geq I_p(i,j) \\ I_p(i,j) + D_o(i,j), & \text{if } I_w(i,j) < I_p(i,j) \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $0 \leq i < M, 0 \leq j < N$ 이고, M 과 N 은 영상의 크기를 나타낸다. I_p 는 추정 픽셀값을 갖는 영상이고, I_w 는 워터마크가 삽입된 영상이다.

(단계4) 오류 예측 보정: 상기의 과정을 통하여 복원된 영상은 원본 영상이 아닌 오류 예측 보정된 영상 I_c 이다. 워터마크 삽입 및 오류 예측 보정 이전의 영상 I 를 계산하기 위해서 반복횟수 R 과 오류 위치정보 맵 O_m 이 필요하다. 오류 위치정보 맵은 워터마크의 일부분으로 삽입되어 전송되었고, 반복횟수 R 은 부가적 정보로 전송되었으므로, 원본

영상은 다음의 연산을 통하여 복원이 가능하다.

$$I(i,j) = \begin{cases} I_c(i,j) + R, & \text{if } O_m(i,j) = 1 \text{ and } I_c(i,j) \geq 128 \\ I_c(i,j) - R, & \text{if } O_m(i,j) = 1 \text{ and } I_c(i,j) < 128 \\ I_c(i,j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

오류 위치정보 맵에 오류 발생할 확률이 있는 것으로 표시가 되었던 픽셀은 반복횟수만큼 밝기값을 증가시키거나, 값을 감소시키고, 그 외의 픽셀들은 그대로 유지함으로써 원본 영상 I 의 완벽한 복원이 가능하다.

3.4 오류 예측 보정

히스토그램 변환방법 및 차이값 확장을 통한 가역 워터마킹에서는 오버플로우 및 언더플로우 현상이 발생할 수 있다. 그로 인하여 salt-and-pepper 잡음이 나타나고, 비인자성이 저하되며, 원본 영상을 복원할 수 없을 수도 있다. 가령, 8비트 회색조 영상의 경우 픽셀값은 0에서 255의 값을

갖는다. 만약에 255 밝기값을 갖는 픽셀을 우측쉬프트하면 256이 되고, 0 밝기값을 갖는 픽셀을 좌측 쉬프트하면 -1이 되므로 오버플로우와 언더플로우가 발생한다.

Honsinger et al.은 modulo-256 덧셈 방법을 통하여 255를 초과하는 픽셀은 0으로, 0 미만으로 감소하는 픽셀은 255로 돌아가도록 하여 오버플로우 및 언더플로우를 해결했지만, salt-and-pepper 잡음이 심각하게 발생하게 된다[24]. Fridrich et al.은 cyclic-modulo 방법을 통하여 modulo 연산의 간격을 0~255 까지 하나의 구간이 아니라, 여러 개의 구간으로 나누는 방법을 제안하였다[6]. Cyclic-modulo 방법도 salt-and-pepper 잡음이 줄어들지만, 변화 cyclic 크기만큼 줄었을 뿐이며 완전한 해결책이 되진 못한다. 또한 삽입된 메시지를 추출한 후 원 영상으로 복원할 때 modulo 연산이 적용된 픽셀인지 아닌지를 구분해야만 한다. 기존 연구들에서는 일반적인 영상의 경우 인접한 픽셀간의 차이가 크거나 작다는 특성을 이용하여 임계값을 설정하고, 그 값 이상으로 차이나는 픽셀에 대하여 modulo 연산이 적용되었다고 판단하였지만, 이 가정이 항상 올바른 것은 아니다.

오버플로우 및 언더플로우 문제를 해결하기 위한 또 다른 방법은 위치정보 맵을 이용하는 방법이다[12]. 위치정보 맵에 오버플로우 및 언더플로우가 발생한 또는 발생할 픽셀의 위치를 표시하여 삽입과정에서 제외시키거나, 복원할 때 보정하는 방법이다. 그러나 삽입 과정에서 제외하면 삽입용량이 줄어들며, 보정 방법을 사용하면 salt-and-pepper 잡음이 발생한다.

본 논문에서는 완벽한 가역성을 위하여 위치정보 맵을 이용하는 방식으로 오버플로우 및 언더플로우 문제를 해결하였다. 기존 방법들과의 차이점은 오버플로우 및 언더플로우가 발생할 픽셀을 삽입과정에서 제외하지 않고, 미리 오류가 발생할 범위를 예측하여 선 보상을 통하여 밝기값을 조정하여 오류가 발생하지 않도록 하였다. 예측 보상이 발생한 픽셀을 위치정보 맵에 표시하였고, 검출 및 복원과정에서 위치정보 맵의 값을 참고하여 선 보상이 발생한 픽셀을 원본 밝기값으로 복원하였다.

제안한 알고리즘에서 오류가 발생할 범위는 삽입횟수에 따라서 달라진다. 높은 삽입률을 달성하기 위해서는 반복적인 알고리즘의 처리가 필요하고, 반복 횟수에 따라서 오버플로우 및 언더플로우가 발생할 픽셀의 값이 결정된다. 만일 삽입과정이 R 회 반복적인 수행이 필요하다면 $255-R$ 초과 밝기값을 갖는 픽셀들이 오버플로우가 발생할 확률이 있고, 이들 픽셀에 R 을 감소함으로써 선 보상이 가능하고, 오버플로우가 발생하지 않는다. R 미만의 밝기값을 갖는 픽셀들은 언더플로우가 발생할 확률이 있고, 이들 픽셀에 R 을 가산함으로써 선 보상이 가능하고, 언더플로우가 발생하지 않는다. 검출 및 복원과정에서는 영상을 복원한 후에 보상된 R 값을 위치정보 맵에 지정된 픽셀들에 합산함으로써 원본 영상으로의 복원이 가능하다. 이와 같은 예측 보상 방법의 추가적인 장점은 기존 픽셀의 밝기값에 R 정도의 차이값만 발생시키며, salt-and-pepper 잡음 현상이 발생하지

않는다.

기존 알고리즘의 경우 워터마킹된 영상과는 별도로 부가적으로 위치정보 맵을 전송하였지만, 이는 워터마킹 시스템의 효율성 및 실용성을 저하시킨다. 제안하는 알고리즘에서는 워터마크 삽입 과정에서 위치정보 맵을 워터마크의 일부로 간주하여 영상에 직접 삽입한다. 위치정보 맵의 경우 용량을 줄이기 위하여 무손실 영상 압축에서 좋은 성능을 보여주는 JBIG1 압축 기법을 이용하였다[25]. 실험에서 사용한 영상들의 오류 위치정보 맵의 경우 평균 973 bits로 압축되어 원본영상의 크기에 대비하여 평균 99.95%의 높은 압축효율을 보였다. 이와 같이 오류 예측 보정을 통하여 제안하는 알고리즘은 오버플로우 및 언더플로우 현상이 발생하지 않으며, 워터마크 삽입 후에도 영상의 비인식성(품질)을 향상하였다.

4. 실험결과

본 논문에서는 (그림 6)에 나타난 것과 같이 USC-SIPI 이미지 데이터베이스에서 널리 사용되는 8 Bits 회색조 512x512 영상 8장을 사용하여 실험을 수행하였다 [26]. 워터마크의 삽입량은 알고리즘의 반복횟수에 따라서 결정되므로, 1~9회까지 증가시켜가며 삽입용량, 영상품질 등의 분석을 수행하였다.

삽입하는 워터마크는 균등 분포에 기반을 두어 0과 1이 고르게 분포하도록 생성하였고, 암호화는 수행하지 않았다. 삽입용량과 영상의 품질의 계산을 위해서 삽입용량은 유효 삽입용량 즉 오버헤드 정보를 차감한 용량을 활용하였으며, 영상품질은 다음과 같이 PSNR 값을 통하여 측정하였다.

$$PSNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (12)$$

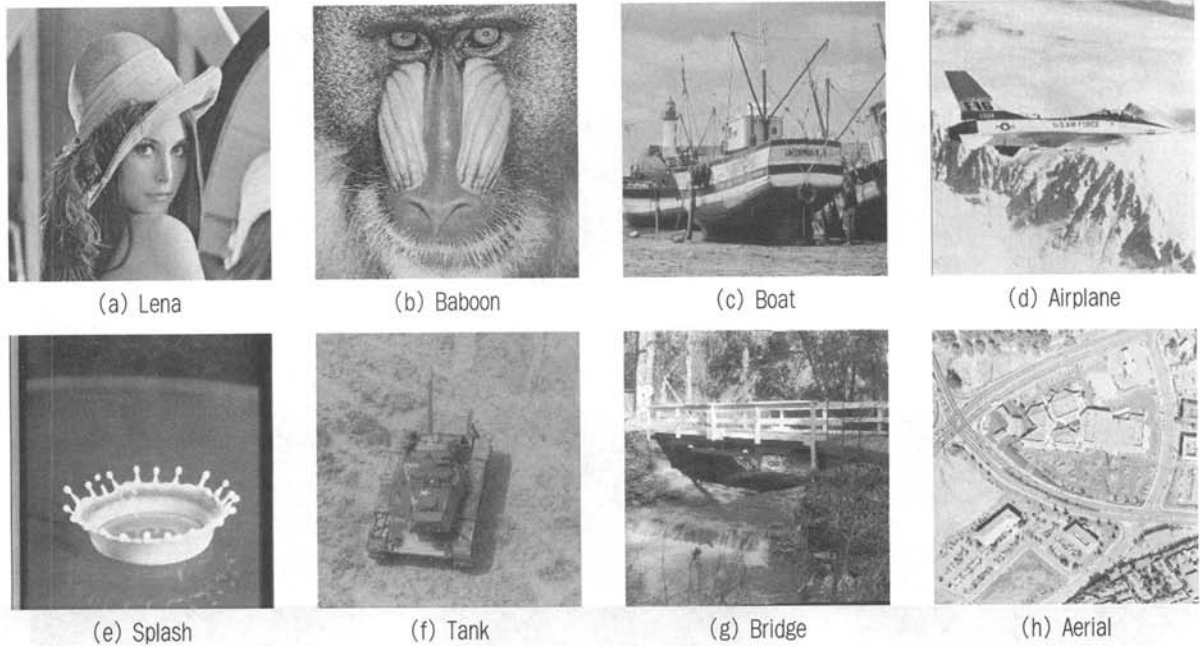
$$\text{where, } MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (p_{(i,j)} - p'_{(i,j)})^2$$

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

4.1 반복 횟수에 따른 삽입 용량 및 영상 품질 분석

제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 반복횟수 R 을 점진적으로 증가시키면서, 삽입용량과 영상 품질을 측정하였다. 추정 오차는 식(2)로 계산하였다. 삽입용량은 1 픽셀당 삽입 가능한 비트용량(bpp)으로 계산하였고, 영상품질은 PSNR(dB)로 측정하였다.

(그림 7)에는 반복횟수에 따른 삽입용량 변화를 도시하였다. 반복횟수가 증가하면 삽입용량이 점진적으로 증가되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 반복횟수가 증가할수록 예측 오차의 정확도가 점진적으로 감소하고, 추정 오차 히스토그

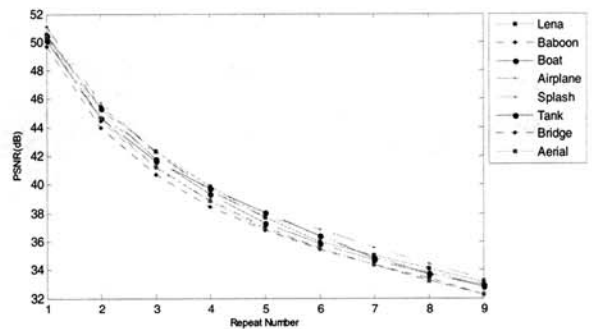


(그림 6) 성능 분석을 위한 실험 영상

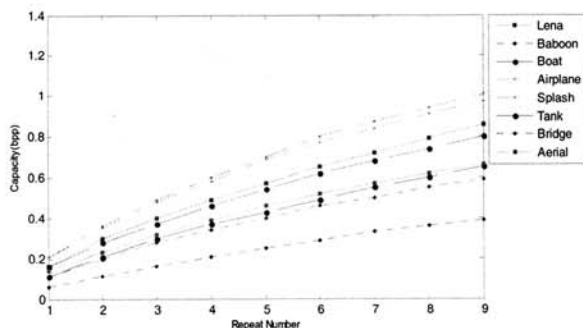
램의 최대값이 감소함에 따라서, 삽입용량이 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. Splash, Airplane, Lena, Boat 영상과 같이 영상의 변화가 작은 영상의 경우 추정 정확도가 높으므로 높은 삽입용량을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Baboon, Bridge, Tank, Aerial 영상과 같이 잡음 성분이 많은 영상의 경우 추정 정확도가 낮으므로 삽입용량도 저하가 있음을 확인할 수 있다. 그러나 이들 삽입용량은 기존 알고리즘에 비하여 높은 수치값이다.

(그림 8)에는 반복횟수에 따른 영상품질 변화를 도시하였다. 반복횟수가 증가하면 영상품질이 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반복횟수가 증가할수록 삽입용량이 점진적으로 증가하기 때문에, 이에 따라서 영상품질도 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. Kim et al. 알고리즘 [4] 등의 차이값을 활용한 영상에서는 영상 특성에 따라서 감소 비율이 다양했으나, 제안한 알고리즘의 경우 추정 오차를 활용하기 때문에 영상 특성에 무관하게 모든 영상에서 점진적인 감소현상을 보이고 있음을 알 수 있다.

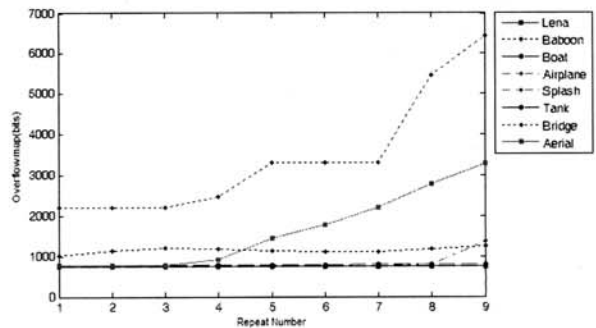
(그림 9)에는 반복횟수에 따른 위치정보 맵의 크기 변화를 도시하였다. 반복횟수 $R=1$ 인 경우 평균 위치정보 맵의 크기는 973bits 이지만, 반복횟수가 증가함에 따라서 오버플로우 및 언더플로우가 발생할 확률이 높아져서, 위치정보 맵의 크기도 증가함을 확인할 수 있다.



(그림 8) 제안한 알고리즘의 반복횟수 R에 따른 영상품질



(그림 7) 제안한 알고리즘의 반복횟수 R에 따른 삽입용량



(그림 9) 반복횟수 R에 따른 위치정보 맵의 크기 변화



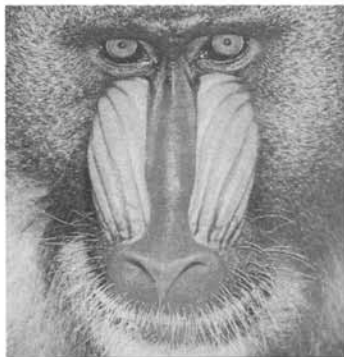
(a) Lena 원본



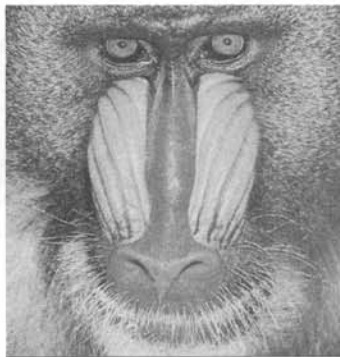
(b) 42.33dB with 0.40bpp



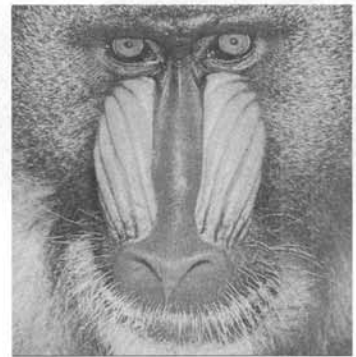
(c) 35.07dB with 0.72bpp



(d) Baboon 원본



(e) 40.72dB with 0.16bpp



(f) 34.34dB with 0.33bpp



(g) Boat 원본



(h) 41.80dB with 0.37bpp



(i) 34.73dB with 0.63bpp



(j) Airplane 원본



(k) 42.27dB with 0.48bpp



(l) 34.89dB with 0.84bpp

(그림 10) 원본영상 및 워터마크 삽입된 영상품질

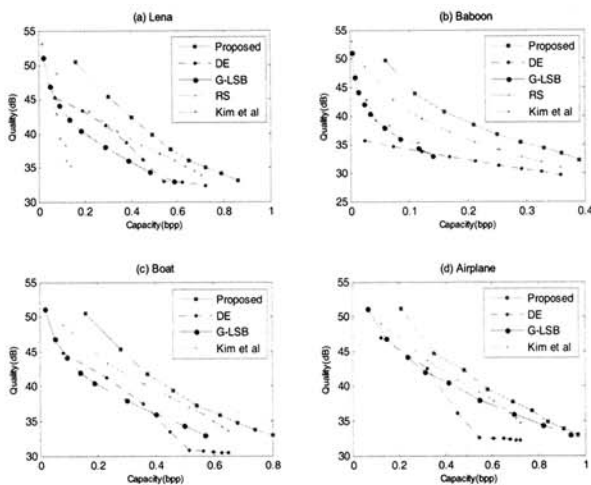
(그림 10)에는 Lena, Baboon, Boat, Airplane, Splash 영상에 대하여 삽입용량에 따른 워터마크 삽입된 영상의 화질을 보여주고 있다. 높은 삽입용량에도 불구하고 영상의 품

질을 유지할 수 있으며, 워터마크 검출 시에 원본 영상의 복원이 가능하다.

4.2 삽입 용량과 영상 품질 비교 분석

제안한 시스템의 성능을 분석하기 위하여 2절에서 설명한 특정영역 압축방법에 해당하는 RS 방법[6] 및 G-LSB 방법[7], 차이값 확장방법에 해당하는 DE 방법[12], 히스토그램 변환방법에 해당하는 Kim et al. 방법[4]과 삽입용량 및 영상 품질을 비교 분석하였다.

대표적인 영상에 대하여 비교 분석을 수행한 결과를 (그림 11)에 도시하였다. DE 방법과 G-LSB 방법이 영상의 품질에 따른 삽입용량이 상대적으로 높게 나타났음에 비하여 RS 방법은 다른 방법들에 비해 낮은 삽입용량을 가진다. 히스토그램 변환방법인 Kim et al.의 방법의 경우 다른 알고리즘들에 비하여 높은 비인지성 및 삽입용량을 보이고 있다. 그러나 제안한 알고리즘에 비하여는 낮은 성능을 갖고 있다. 이와 같은 결과로 볼 때, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존의 가역 워터마킹 방법들에 비하여 낮은 왜곡(높은 영상품질)을 유지하면서 높은 삽입용량을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.



(그림 11) 기존 가역 워터마크 알고리즘과의 삽입용량 및 영상품질 비교 분석

5. 결론

디지털 콘텐츠의 범람으로 지적 재산권 보호가 사회적인 이슈로 대두되고 있으며 워터마킹 기술은 기반 기술로서 필수적이다. 그러나 기존 워터마킹 기술들은 워터마크의 삽입으로 인하여 원본 영상의 품질을 저하시켰고, 원본 품질을 중요하게 생각하는 의료, 군사 및 예술 분야에 있어서 도입이 어려웠다. 따라서 원본 품질을 복원할 수 있는 가역 워터마킹에 대한 연구가 활성화되고 있다.

본 논문에서는 디지털 콘텐츠에 워터마크를 삽입하기 위하여 히스토그램 변환방법에 기반을 두는 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 기존의 원본 히스토그램이나 인접 픽셀간의 차이값에 대한 히스토그램이 아닌 원본 픽셀값과 추정된 픽셀값 사이의 차이값에 대한 히스토그램을 계산하고, 이의 변환을 통하여 워터마크 삽입 및 검출을 수행하였다.

기존 히스토그램 계산 방법에 비하여, 제안된 히스토그램 계산 방법은 최대값이 클 확률이 높아서, 높은 비인지성 및 삽입용량의 달성이 가능하였다. 또한 오류 예측 보정 기법을 통하여 효과적으로 오버플로우 및 언더플로우를 해결할 수 있는 방법을 적용하였고, salt-and-pepper 잡음을 방지하였다. 특히 위치정보 맵을 워터마크의 일부분으로 사용하였음에도 불구하고, 제안한 알고리즘이 기존의 가역 워터마킹 방법들보다 삽입용량 대비 품질 면에서 좋은 성능을 보였다.

제안한 알고리즘은 공간도메인에서 동작하여 낮은 계산량을 가지고 있으며, 높은 비인지성 및 삽입용량을 가지고 있기 때문에 의료, 군사, 및 예술 분야에서 효과적으로 도입될 수 있다. 또한 콘텐츠의 인증이나 위조 여부를 확인할 수 있는 방법으로도 활용이 가능하다. 향후 연구에서는 품질을 좋게 유지하면서도 더 높은 삽입용량을 얻기 위해 성능을 개선할 수 있는 기법에 대하여 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] I. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich and T. Kalker, "Digital Watermarking and Steganography," Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, 2007.
- [2] H.-Y. Lee, H. Kim, and H.-K. Lee, "Robust image watermarking using local invariant features," Optical Engineering, Vol.45, No.3, 2006.
- [3] S.Y. Choi, H.-Y. Lee, I. K. Kang, and H.-K. Lee, "Video Fingerprinting System through Zero-based Code Modulation Technique," 한국정보처리학회 논문지, Vol.12-B(4), pp.443-450, 2005.
- [4] 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.
- [5] C.D. Vleeschouwer, J.-F. Delaigle, and B. Macq, "Circular interpretation of Bijective transformations in lossless watermarking for media asset management," IEEE Trans. on Multimedia, Vol.5, No.1, pp. 97-105, 2003.
- [6] J. Fridrich, J. 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] J.Y. Kim, H.-Y. Lee, D.-H. Im, S.-J. Ryu, J.-H. Choi, and H.-K. Lee, "Print-Scan Resilient Curve Watermarking using B-Spline Curve Model and Its 2D Mesh Spectral Transform," 한국정보처리학회 논문지, Vol.15-B(4), pp.307-314, 2008.
- [9] 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.

[10] 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, pp.323-332, 2006.

[11] 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.

[12] 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, Aug. 2003.

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

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

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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, 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, 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, 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, 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] C.W. Honsinger, P. Jones, M. Rabbani and J.C. Stoffel, "Lossless recovery of an original image containing embedded data," US Patent application, Docket No: 77102/E-D, 1999.

[25] "JBIG-KIT lossless image compression library," (online), Available: (<http://www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/jbigkit/>).

[26] "USC-SIPI Image Database - Miscellaneous," Available: (<http://sipi.usc.edu/database/database.cgi?volume=misc>).



이 해 연

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

1997년 성균관대학교 정보공학과(학사)

1999년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

2006년 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공(공학박사)

2001년~2006년 (주)썬트레이아 선임연구원

2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원

2008년~현 재 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털워터마킹 등



김 경 수

e-mail : kyungsu.kim@kt.com

2005년 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)

2007년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

2010년 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공(공학박사)

2010년~현 재 KT 네트워크연구소 재직
관심분야 : 멀티미디어, 워터마킹, 디지털

포렌식, 네트워크 보안 등