

Reversible Watermarking based on Predicted Error Histogram for Medical Imagery

Gi-Tae Oh[†] · Han-Byul Jang[†] · Um-Ji Do^{**} · Hae-yeoun Lee^{***}

ABSTRACT

Medical imagery require to protect the privacy with preserving the quality of the original contents. Therefore, reversible watermarking is a solution for this purpose. Previous researches have focused on general imagery and achieved high capacity and high quality. However, they raise a distortion over entire image and hence are not applicable to medical imagery which require to preserve the quality of the objects. In this paper, we propose a novel reversible watermarking for medical imagery, which preserve the quality of the objects and achieves high capacity. First, object and background region is segmented and then predicted error histogram-based reversible watermarking is applied for each region. For the efficient watermark embedding with small distortion in the object region, the embedding level at object region is set as low while the embedding level at background region is set as high. In experiments, the proposed algorithm is compared with the previous predicted error histogram-based algorithm in aspects of embedding capacity and perceptual quality. Results support that the proposed algorithm performs well over the previous algorithm.

Keywords : Medical Imagery, Reversible Watermarking, Predicted Error Histogram, Object and Background Segmentation

의료 영상을 위한 추정오차 히스토그램 기반 가역 워터마킹 알고리즘

오 기 태[†] · 장 한 별[†] · 도 임 지^{**} · 이 해 연^{***}

요 약

의료 영상은 원본 콘텐츠의 품질을 유지하는 것이 중요한 동시에 사생활 보호의 요구가 증가함에 따라서 가역 워터마킹 기술에 대한 필요성이 증가하고 있다. 기존의 가역 워터마킹 알고리즘은 의료 영상이 아닌 일반 영상에서는 고용량 고품질을 유지할 수 있으나 영상 전체에 왜곡을 야기한다. 따라서 촬영 대상물의 품질 유지가 중요한 의료 영상에 직접적으로 적용하기에는 부적합하다는 단점을 가진다. 본 논문에서는 의료 영상의 촬영 대상물 영역의 영상 품질을 유지하며, 워터마크를 효율적으로 삽입할 수 있는 가역 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 먼저 대상물과 배경 영역을 분할하기 위한 알고리즘을 설계하고, 그 후에 분할된 대상물과 배경에 대해 추정오차 히스토그램에 기반하여 가역 워터마킹 기법을 적용한다. 대상물 영역에는 삽입 레벨을 낮게 설정하고, 배경 영역에 삽입 레벨을 높게 설정함으로써 대상물의 화질은 최소한으로 변형을 하며 효율적인 삽입이 가능하도록 하였다. 실험에서 다양한 의료 영상에 대하여 제안한 알고리즘을 기존 추정오차 히스토그램 기반 가역 워터마킹 기술과 삽입 용량 및 영상 품질에 대한 비교를 수행하였고, 그 결과 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 높은 영상 품질을 유지하면서 우수한 삽입 용량을 얻을 수 있었다.

키워드 : 의료 영상, 가역 워터마킹, 추정오차 히스토그램, 대상물 및 배경 분할

1. 서 론

인터넷의 보급이 확산되고 디지털화 된 콘텐츠를 유통하

는 상업적인 모델이 자리를 잡아감에 따라 디지털 콘텐츠의 저작권 보호 기술에 대한 필요성이 대두되고 있다. 디지털 워터마킹은 인터넷으로 주고받는 텍스트·그림·동영상·음악과 일 등 멀티미디어 저작물의 불법 복제를 막고 위조나 변조 여부를 확인할 수 있는 디지털 콘텐츠 저작권 보호기술로서 인터넷을 통한 콘텐츠의 유통에 필요한 저작권 보호의 효율적 방안이 될 수 있다.

디지털 워터마킹은 다양한 기술이 개발된 상태이다. 워터마킹 기술은 이미 서비스 완성 단계에 있으며 인터넷에서

* This research project was supported by the 2014 Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2010-0007789)
[†] 비 회 원 : 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 학부생
^{**} 준 회 원 : 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 학부생
^{***} 정 회 원 : 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
Manuscript Received : November 19, 2014
First Revision : January 19, 2015
Accepted : January 20, 2015
* Corresponding Author : Hae-yeoun Lee(haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr)

발급되는 티켓이나 상품권을 판매하는 업체들의 경우 워터마크를 삽입해 파일의 불법 유통과 위조를 막을 수 있는 기술을 구현하고 있다. 디지털 워터마킹 기법에는 강인한 워터마킹, 연성 워터마킹, 반연성 워터마킹 등의 기법들이 있는데 이들 워터마킹 기술은 원본 콘텐츠의 품질을 저하시키고 워터마크를 삽입한다. 특히, 원본 콘텐츠의 복원이 불가능하다. 그러나 최근 의료 영상, 군사 영상 및 원격탐사 영상 등의 경우 저작권 보호 요구가 증가하고 있는 콘텐츠이며, 원본 콘텐츠의 품질을 중요하게 생각한다. 가역 워터마킹 기술의 경우 원본 복원이 가능한 기술로서 다양한 연구들이 이루어지고 있으며, 이들 콘텐츠의 보호를 위하여 유용한 기술이다.

의료 영상은 원본 콘텐츠의 품질이 중요하며, 콘텐츠의 왜곡은 의사가 영상을 관독할 때 또는 자동화된 영상처리 알고리즘으로 영상을 분석할 때 영향을 미칠 수 있고, 이는 환자의 생명과 직결되는 진단의 오류를 범할 수 있어서 영상의 화질을 매우 중요하게 생각한다. 가역 워터마킹이 원본 콘텐츠를 복원할 수 있지만, 복원된 콘텐츠는 보호가 되지 않기 때문에 무조건적인 복원은 부적절하며, 이에 워터마크 삽입 후의 화질도 매우 중요하게 생각한다.

기존 가역 워터마킹 알고리즘을 의료 영상에 적용할 경우 영상 콘텐츠의 의미를 무시하고 균일하게 알고리즘을 적용 시킴으로써 의사가 의료 영상을 관독할 때 중요한 촬영 대상물 영역에도 워터마크가 삽입되어 원본과는 달라지는 문제가 있고 진단 시 오류를 범할 수 있다. 본 논문에서는 의료 영상에 대하여 원본 복원이 가능하며, 워터마크 삽입 후에도 영상의 품질을 효율적으로 유지할 수 있는 의료 영상에 특화된 가역 워터마킹 기술을 제안한다. 먼저 의료 영상에 대한 특성을 분석하고, 대상물과 배경을 자동으로 분리하기 위한 알고리즘을 설명한다. 이를 통하여 대상물 영역에는 워터마크 삽입 강도를 약하게 하고, 배경에 삽입 강도를 높임으로써 의료 영상에 포함된 의미 있는 정보의 훼손을 최소화하였다. 또한 기존의 추정오차 확장 및 오류 예측 보정 가역 워터마킹 알고리즘을 의료 영상에 적합하도록 변형함으로써 고품질 고품질의 가역 워터마킹 방법을 설계하였다. 제안한 알고리즘을 다양한 의료 영상의 삽입 용량과 영상화질 분석을 통하여 효율성을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 가역 워터마킹 기술에 대해 간략히 요약하고, 대표적인 추정오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 가역 워터마킹 기술에 대하여 설명한다. 3절에서는 의료 영상에 특화된 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하고, 4절에서는 기존 알고리즘과 비교 분석을 통하여 성능을 검증한다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존에 연구된 가역 워터마킹 기술들은 콘텐츠에 독립적으로 적용이 가능하다. 그러나 이들의 경우 영상 콘텐츠의 특성을 올바르게 활용하지 못하며, 의료 분야 등 일부 응용에 있어서는 워터마크에 삽입된 콘텐츠의 화질 저하가 문제

가 된다. 본 절에서는 기존 가역 워터마킹 연구들에 대해서 요약하고, 대표적인 방법이며 본 연구에서 비교의 대상인 추정오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 고품질 가역 워터마킹 기술 및 문제점에 대하여 설명한다.

2.1 가역 워터마킹 기술

가역 워터마킹 기술은 메시지를 삽입하는 방법이나 도메인에 따라 특정영역 압축방법, 변환 도메인 삽입방법, 차이값 확장방법, 히스토그램 변환방법으로 분류할 수 있다.

특정영역 압축방법은 영상의 일부분을 압축하여 워터마크를 삽입할 공간을 확보하고, 압축한 공간에 워터마크를 삽입한다. Fridrich et al.은 공간 도메인 상에서 비트 평면을 JBIG 무손실 압축 기법을 이용해 압축하고, 빈 공간에 메시지를 삽입하였다[1]. Celik et al.은 최하위비트에 워터마크를 삽입하는 일반화된 알고리즘을 제안하였고, 압축 효율을 향상하여 삽입 용량을 증대시키기 위하여 CALIC 무손실 압축 알고리즘을 적용하였다[2]. 그러나 이들 방법은 영상의 특성과 압축 알고리즘의 성능에 따라 결과가 다르며, 삽입할 수 있는 워터마크 양이 적다.

변환도메인을 활용한 기술은 삽입된 워터마크를 인지하지 못하도록 할 때 많이 사용된다[3]. Lee et al.은 영상의 블록에 정수 대 정수 웨이블릿 변환을 적용하여 각 블록의 고주파 웨이블릿 계수에 메시지 비트를 삽입했다[4]. 이런 변환도메인 방법들은 변환 영역에서 이루어지기 때문에 계산 복잡도가 높고 자원이나 계산 성능이 높아야 한다는 단점이 있다.

차이값 확장을 통한 방법은 픽셀 사이의 지역적 유사성이 있는 값들에 대해 차이값을 확장하고, 이를 통해 생긴 공간에 워터마크를 삽입한다[5]. 하지만 확장성, 변경성 등 부가 정보가 필요하고, 이로 인하여 삽입 용량에 제한이 있다. Thodi and Rodriguez는 인접한 픽셀들 사이의 차이값 확장이 아닌 공간적 유사도를 활용한 추정오차를 확장하는 방법을 제안하였다[6]. 일반적으로 차이값 확장 방법들의 경우 비트 시프팅을 통해서 이루어지는데, 이는 각 픽셀값의 차이를 2배 확장하는 것과 유사한 형태로서, 워터마크 삽입 후 영상의 품질이 저하가 된다.

히스토그램 변환을 이용한 방법은 공간 영역에서 영상 히스토그램을 구하고, 이에 대한 변환을 통해 공간을 만들어 워터마크를 삽입한다. Ni et al.은 픽셀값 히스토그램의 최소점과 최대점을 이용하는데 삽입 용량은 최대점에 해당하는 픽셀의 빈도수에 의해 정해진다[7]. Hwang et al.과 Kuo et al.은 Ni의 방법을 확장하여 최소점과 최대점에 대한 정보를 저장하는 위치정보맵을 이용하였다[8, 9]. 해당 알고리즘은 워터마크에 부가정보를 포함시켜 전송해서 유효 삽입 용량이 줄어들거나 많은 삽입 용량을 위해 높은 삽입 레벨을 적용할 경우 지역성이 낮아져 화질이 급격히 저하되는 문제점이 있다.

2.2 추정오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 가역 워터마킹

히스토그램에 기반한 가역 워터마킹에서 높은 삽입 용량을

달성하기 위해서는 생성한 히스토그램의 최댓값(Peak)이 높아야 한다. Lee and Kim[10]에서는 보간 방법을 사용하여 픽셀값을 추정한 후 원본 픽셀과 추정 픽셀과의 차이값에 대한 히스토그램을 계산함으로써 단순한 밝기값 히스토그램에 비하여 높은 최댓값을 생성하였고, 이를 통하여 고품질 워터마킹 기술을 달성하였다. 이 기법에서는 워터마크의 삽입 및 검출 과정에서 추정치를 계산하기 위하여 고정된 픽셀의 위치를 지정한다. 다양한 고정 픽셀 위치를 지정하는 방법이 있을 수 있으며, Fig. 1(b)에 나타난 것과 같이 홀수 번째의 열과 행에 해당하는 픽셀을 고정하고, 고정되지 않은 픽셀은 주변의 고정 픽셀들의 값으로부터 보간을 통하여 추정값을 계산한 후에 원본 값과의 비교를 통해 히스토그램을 계산하는 것이 유용한 것으로 나타났다. 이렇게 생성된 히스토그램에 워터마크를 삽입하기 위해서 최댓값을 찾고 그 값보다 큰 히스토그램의 값을 시프트한 후에 삽입 공간을 생성하고, 삽입하고자 하는 워터마크 메시지의 값이 0인 경우 추정오차값을 유지하고 워터마크의 값이 1인 경우 추정오차값 1을 증가시키는 방식으로 워터마크를 삽입한다[10].

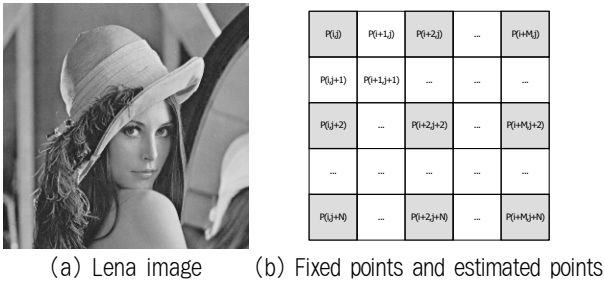


Fig. 1. Fixed and Estimated Points for Predicted Error Histogram-based Reversible Watermarking

이와 같은 범용 가역 워터마킹 알고리즘은 일반 영상에 적용할 경우 높은 삽입 용량과 낮은 왜곡을 유지할 수 있다. 하지만 의료 영상과 같이 품질이 중요한 영상에 적용할 경우 영상의 품질이 저하되고 왜곡이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 다음 절에서 의료 영상과 같이 품질이 중요한 영상에 적용할 수 있는 가역 워터마킹 알고리즘을 제안한다.

3. 제안하는 가역 워터마킹 알고리즘

본 절에서는 의료 영상에 적합한 가역 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 촬영 대상물과 배경을 분리하는 방법을 제안하고, 이를 통하여 대상물과 배경을 분리한 후에, 추정오차 확장 및 오류 예측 보정에 기반하는 워터마킹 방법을 변형하여 각 대상물과 배경에 구분하여 대상물에는 삽입 용량을 감소시키고, 배경에는 삽입 용량을 증가할 수 있도록 적용함으로써 효율적인 워터마크 삽입과 검출이 가능하도록 하였다. 다음 절에는 대상물과 배경을 분리하기 위한 방법에 대해서 설명하고 의료 영상에 맞도록 변형된 워터마크 삽입 및 검출 알고리즘에 대하여 기술한다.

3.1 대상물 및 배경 분리 알고리즘

대상물 및 배경 분리 알고리즘에서는 의료 영상에서 실제로 중요한 대상물 영역과 의미가 적은 배경 영역을 분할한다. 이를 통하여 배경 영역에는 워터마크 삽입 용량을 증가시키고, 대상물 영역에는 삽입 용량을 감소시킴으로써 의료 영상에 대해 효율적인 워터마크 삽입이 가능하다.

가역 워터마킹을 통하여 워터마크를 삽입하면 원본 영상의 왜곡이 발생한다. 원본 영상과 워터마크 삽입된 영상에 대하여 영상 분할 알고리즘을 적용할 경우 영상의 왜곡 때문에 동일한 분할 결과를 얻는 것은 불가능하다. 가역 워터마킹 알고리즘이 올바르게 동작하기 위해서는 삽입 과정에서 사용된 히스토그램을 검출 과정에서도 동일하게 얻을 수 있어야 한다. 그러나 대상물과 배경의 분할 결과가 일정하지 않다면 워터마크 알고리즘의 올바른 동작을 보장할 수 없다. 즉 원본 영상에서 배경과 대상물을 분리한 영상과, 워터마크가 삽입된 영상에서 배경과 대상물을 분리한 영상이 항상 동일해야 한다는 필수조건이 있다.

히스토그램에 기반하는 가역 워터마킹 기술들의 경우 히스토그램 최댓값을 달성하기 위하여 추정오차를 효율적으로 계산한다. 이 과정에서 고정 픽셀값을 이용하고, 삽입 및 검출 과정에서 항상 같은 값을 가지고 있다[5]. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 이 고정 픽셀의 값을 활용하여 대상물과 배경을 분리함으로써 워터마크 삽입 여부와 상관없이 일관성 있고 안정성 있는 분할 결과를 달성하였다.

CT, MRI, X-Ray 등 다양한 의료 영상 기술을 통하여 촬영한 영상은 대상물과 배경을 포함하고 있다. 일반적으로 배경의 경우 어두운 값을 갖고 있으며, 대상물의 경우 밝은 값을 갖는다. 이와 같은 특성을 활용하여 Fig. 2와 같이 대상물과 배경을 분리하는 알고리즘을 설계하였다. 먼저 영상에 대하여 히스토그램을 생성하고, 대상물과 배경의 경계가 되는 임계치를 자동으로 선정한 후에 임계치 필터링을 적용하고, 분할된 결과에 대한 모폴로지, 레이블링 기술 등을 통한 후 처리를 적용함으로써 대상물과 배경을 분리하였다.

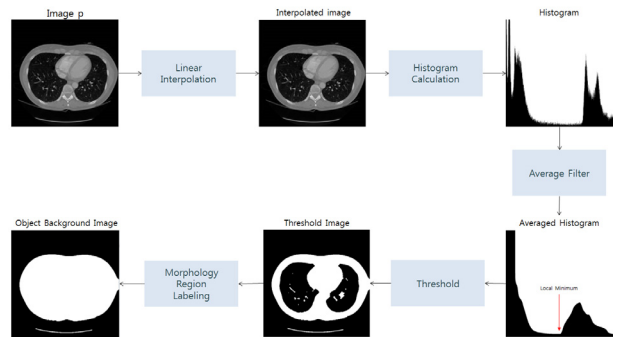


Fig. 2. Object and Background Region Segmentation Process

3.1.1 임계치 선정

임계치 선정을 위하여 원본 영상에 대하여 Fig. 1(b)와 같이 고정 픽셀과 선형 보간법을 통하여 계산한 추정 픽셀

을 이용하여 생성한 영상에서 Fig. 2의 Histogram과 같이 히스토그램을 계산한다. 이 히스토그램에서 좌측은 어두운 배경 영역에 해당하고, 우측은 대상물 영역에 해당한다. 두 영역 사이에 위치한 골짜기 영역의 최소값이 대상물과 배경 영역을 분할하는 최적 임계치에 해당한다. 그러나 생성된 히스토그램이 부드럽지 못하기 때문에 극소점을 찾아 임계치를 결정하기 어렵다. 따라서 히스토그램에 평균값 필터링을 적용하면 Fig. 3의 Averaged Histogram과 같은 결과를 얻을 수 있고, 이를 통하여 두 개의 피크점 사이의 감소 후 증가하는 극소점을 검출함으로써 임계치를 쉽게 구할 수 있다.

3.1.2 Morphology 및 Region Labeling을 통한 배경 및 대상물 분리

3.1.1절의 방법을 통하여 선정된 임계치로 필터링을 수행하면 대상물과 배경을 간단히 분리할 수 있다. 그러나 Fig. 3과 대상물이 배경에 해당되는 값을 포함할 수 있기 때문에 분할된 결과가 대상물과 배경을 100% 분할하지 못하고 대상물의 내부 영역에 배경으로 분할된 영역을 포함할 수도 있다.

따라서 가역 워터마킹을 위한 대상물과 배경을 분할하기 위해서 모폴로지 연산과 레이블링 기법을 도입함으로써 배경에 인접하지 않는 영역, 즉 대상물 안에서 배경으로 분할된 영역을 대상물 영역으로 분할할 수 있다. 이 과정을 수행하면 Fig. 3과 같이 효율적인 분할 결과를 달성할 수 있다.

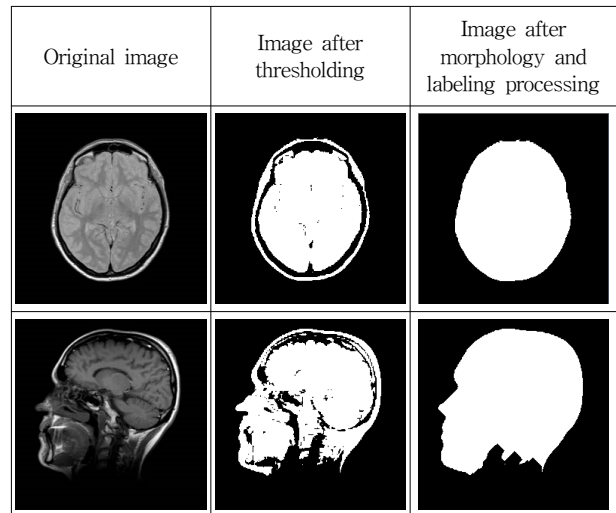


Fig. 3. Images During Object and Background Region Segmentation

3.2 워터마크 삽입 알고리즘

기존의 가역 워터마킹에서는 영상 콘텐츠의 의미에 대한 고려 없이 대상물과 배경에 대한 구분 없이 워터마크 삽입을 수행한다. 그러나 제안한 알고리즘에서는 3.1절에 제시한 대상물 및 배경 분할 알고리즘을 수행한 후에 대상물의 화질의 저하를 최소화하는 방법으로 워터마크를 삽입한다. 먼저 의료

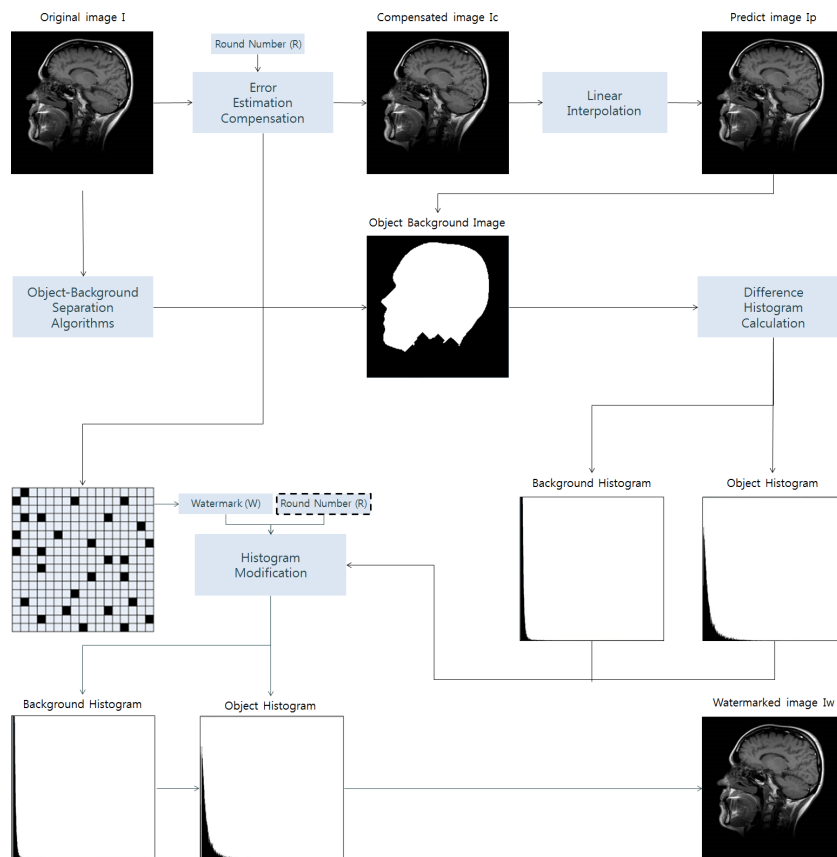


Fig. 4. Watermark Insertion through Object and Background Segmentation

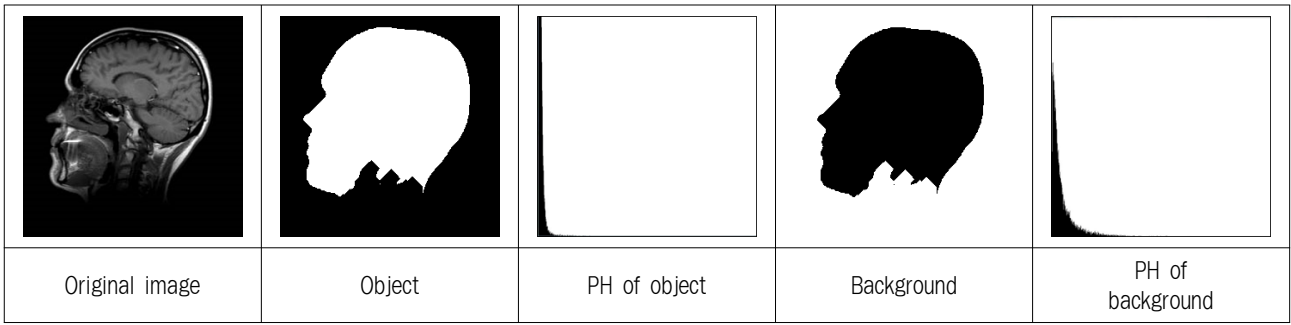


Fig. 5. Predicted Error Histogram(PH) from Object and Background Region

영상에 대하여 대상물과 배경을 분리한 후에 각 영역별로 추정오차를 계산하여 히스토그램을 생성한다. 대상물 영역에서 생성한 히스토그램에는 삽입 레벨을 낮게 설정하고, 배경 영역에서 생성한 히스토그램에는 삽입 레벨을 증가시킴으로써 효율적인 화질을 유지하며 높은 삽입 용량을 달성하였다. 의료 영상에 특화된 워터마크 삽입 과정은 메시지 삽입 과정은 5단계로 구분할 수 있고 Fig. 4에 도시하였다.

• **단계 1) 위치 정보맵 생성** : 원본 영상 I가 입력되면 3.1절에서 제시한 대상물 및 배경 분할 알고리즘을 수행하고 배경은 0, 대상물은 1로 지정한 물체배경맵 P(i, j)를 생성한다.

• **단계 2) 오류 예측 보정** : 원본 영상 I가 입력되면, 배경 영역에 삽입 과정을 반복하는 횟수 Rb와 대상물 영역에 삽입 과정을 반복하는 횟수 Ro에 따라서 발생 가능한 오버플로우 및 언더플로우 문제를 해결하기 위하여 예측 보정을 수행한다.

오버플로우 및 언더플로우 예측 보정에서는 단계1)에서 얻은 위치 정보맵을 이용하여 해당 픽셀이 배경일 때 픽셀의 밝기값이 65536-Rb보다 큰 경우 해당 픽셀의 밝기값에서 Rb를 차감하고, 밝기값이 Rb보다 작은 경우 해당 픽셀의 밝기값에 Rb를 가감한 후, 오류 위치 정보맵에 보정 여부를 표시한다. 그리고 해당 픽셀이 대상물일 때 픽셀의 밝기값이 65536-Ro보다 큰 경우 해당 픽셀의 밝기값에서 Ro만큼 차감하고, 밝기값이 Ro보다 작은 경우 해당 픽셀의 밝기값에 Ro를 가감한 후 오류위치 정보맵에 보정 여부를 표시한다.

$$I_c(i, j) = \begin{cases} I(i, j) - Rb, & \text{if } P(i, j) = 0 \text{ and } I(i, j) > 65536 - Rb \\ I(i, j) + Rb, & \text{if } P(i, j) = 0 \text{ and } I(i, j) < Rb \\ I(i, j) - Ro, & \text{if } P(i, j) = 1 \text{ and } I(i, j) > 65536 - Ro \\ I(i, j) + Ro, & \text{if } P(i, j) = 1 \text{ and } I(i, j) < Ro \\ I(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}$$

기존 연구와 마찬가지로 오류 예측 보정을 수행하면 보정된 영상 Ic와 오류위치 정보맵 Om이 생성된다. 효율적인 워터마킹 시스템의 구축을 위하여 오류위치 정보맵은 JBIG 압축을 수행하여 워터마크의 일부로 영상에 삽입된다.

• **단계 3) 추정오차 히스토그램 계산** : 기존 추정오차

확장 및 오류 예측 보정을 통한 고용량 가역 워터마킹 기법에서는 배경과 대상물에 대한 구분 없이 하나의 추정오차 히스토그램으로 워터마크값을 삽입하였지만, 제안하는 방법에서는 배경과 대상물을 분리함에 따라 추정오차 히스토그램도 대상물과 배경으로 나누어 구성된다(Fig. 5 참조).

오류 예측 보정이 수행된 영상 Ic에 대하여 추정오차 계산에 의하여 원본 픽셀값과 추정 픽셀값 사이의 오차를 계산한다. 여기에 추정 픽셀값을 갖는 영상을 Ip라고 하고, 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이의 절대치를 나타내는 $D(i, j) = |Ic(i, j) - Ip(i, j)|$ 라고 하자. 이렇게 얻어진 추정오차값 영상 D(i, j)를 단계1)에서 얻은 위치 정보맵을 이용하여 대상물과 배경 두 개의 히스토그램으로 나눈다.

• **단계 4) 히스토그램 시프팅 및 워터마크 삽입** : 두 개의 히스토그램에 워터마크를 삽입하기 위해서는 각각 최댓값에 해당하는 위치 MAXb, MAXo를 검색하고, 각각의 히스토그램에서 최댓값보다 큰 히스토그램 위치값을 갖는 픽셀을 다음과 같이 시프트한다.

$$D_s(i, j) = \begin{cases} D(i, j) + 1, & \text{if } P(i, j) = 1 \text{ and } D(i, j) > MAX_o \\ D(i, j) + 1, & \text{if } P(i, j) = 0 \text{ and } D(i, j) > MAX_b \\ D(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}$$

먼저 대상물에 대하여 추정오차 히스토그램 시프팅을 통하여 워터마크 삽입공간을 생성한 후에 워터마크의 삽입을 위하여 추정오차 히스토그램의 최댓값 MAXo에 해당하는 픽셀을 검색하여 워터마크의 값이 0인 경우 추정오차값을 유지하고, 워터마크값이 1인 경우 추정오차값을 1만큼 증가시킨다. 이와 같은 과정을 반복횟수 Ro만큼 수행한다. 배경에 대해서도 대상물에 대한 방법과 동일하게 추정오차 히스토그램을 시프팅을 통하여 워터마크 삽입공간을 생성한 후에 워터마크의 삽입을 반복횟수 Rb만큼 수행한다.

$$D_w(i, j) = \begin{cases} D_s(i, j) + 1, & \text{if } P(i, j) = 1, D_s(i, j) = MAX_o \text{ and } W(n) = 1 \\ D_s(i, j), & \text{if } P(i, j) = 1, D_s(i, j) = MAX_o \text{ and } W(n) = 0 \\ D_s(i, j) + 1, & \text{if } P(i, j) = 0, D_s(i, j) = MAX_b \text{ and } W(n) = 1 \\ D_s(i, j), & \text{if } P(i, j) = 0, D_s(i, j) = MAX_b \text{ and } W(n) = 0 \\ D_s(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}$$

• **단계 5) 워터마크 영상 생성** : 상기의 추정오차 히스토그램 시프팅 과정을 통하여 메시지가 삽입된 차이값 영상 $D_w(i, j)$ 를 계산한 후에 워터마크가 삽입된 영상 I_w 을 생성하기 위하여 차이값에 따라서 영상의 픽셀값을 수정해야 한다. 추정오차 영상을 계산할 때 절댓값 연산을 통하여 계산하였으므로, 차이값을 확장할 때 방향성을 고려해야 한다. 이와 같은 과정은 다음과 같이 모델링된다.

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

여기서 오류 예측 보정이 수행된 영상 I_c 이 아닌 추정 픽셀값을 갖는 영상 I_p 를 사용한다.

3.3 워터마크 검출 및 복원 알고리즘

3.1절에 제시한 대상물 및 배경 분할 알고리즘을 수행하고, 위치 정보맵을 생성한 후에 배경과 대상물의 추정오차 히스토그램을 생성한다. 각 히스토그램으로부터 대상물 영역에는 삽입레벨 R_o , 배경 영역에는 삽입레벨 R_b 를 적용한 것을 고려하여 삽입된 워터마크를 검출하고, 원본 영상을 복원한다. 이와 같은 워터마크 검출 및 복원의 과정을 Fig. 6에 도시하였다.

• **단계 1) 위치 정보맵 생성** : 워터마크가 삽입된 영상 I_w 가 입력되면, 3.1절에서 제시한 대상물 및 배경 분할 알고리즘을 수행하고 배경은 0, 대상물은 1로 지정한 위치 정보맵 $P(i, j)$ 를 생성한다. 이는 고정된 픽셀을 이용하였으므로 삽입 과정의 결과와 동일하다.

• **단계 2) 추정오차 히스토그램 계산** : 삽입과정과 유사하게 워터마크가 삽입된 영상 I_w 을 이용하여 대상물과 배경에 대하여 각각 추정오차를 계산하고 히스토그램을 생성한다. 그리고 추정 픽셀값을 갖는 영상을 I_p 라고 하면, 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 차이값 절댓치를 나타내는 영상 $D(i, j) = |I_w(i, j) - I_p(i, j)|$ 를 구할 수 있다.

• **단계 3) 워터마크 추출** : 삽입과정에서 계산한 히스토그램 최댓값 위치에 대한 정보 MAX_o 와 MAX_b 를 활용하여 삽입된 워터마크를 추출한다. 추출 과정은 다음과 같다.

$$W(n) = \begin{cases} 0, & \text{if } P(i, j) = 0 \text{ and } D(i, j) = MAX_o \\ 1, & \text{if } P(i, j) = 0 \text{ and } D(i, j) = MAX_o + 1 \\ 0, & \text{if } P(i, j) = 1 \text{ and } D(i, j) = MAX_o \\ 1, & \text{if } P(i, j) = 1 \text{ and } D(i, j) = MAX_o + 1 \end{cases}$$

여기서 $0 \leq i < M, 0 \leq j < N$ 이고 M 과 N 은 영상의 크기를 나타낸다. $P(i, j)$ 는 물체배경 정보맵에 해당한다.

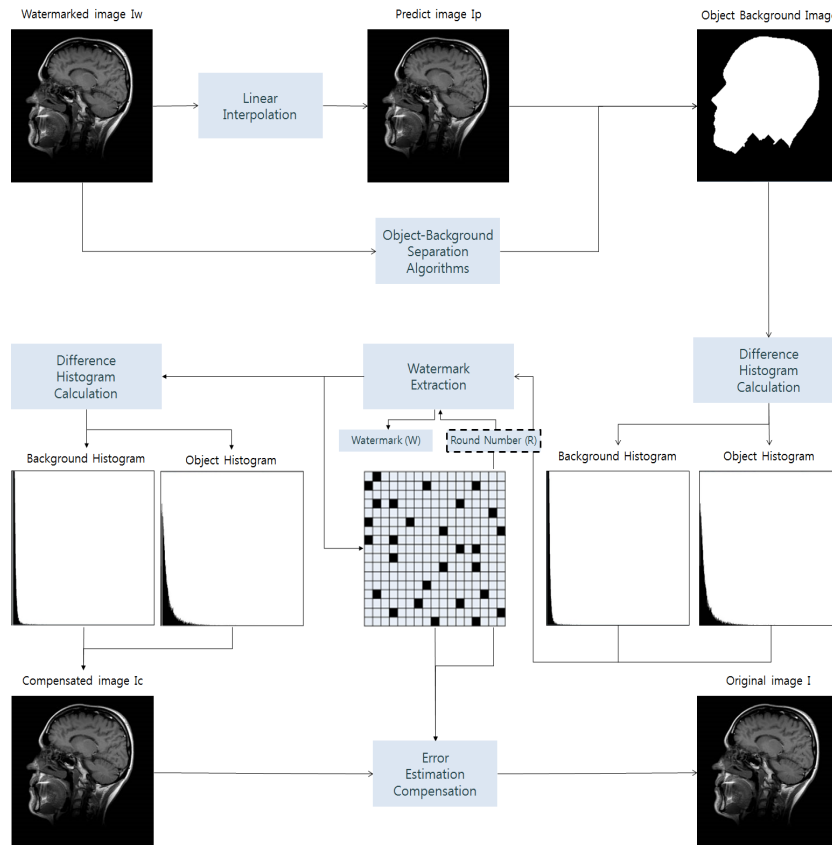


Fig. 6. Watermark extraction and original image reconstruction

• **단계 4) 히스토그램 시프팅 및 영상 복원** : 워터마크 추출이 끝나면, 다음과 같이 히스토그램 시프팅 과정을 통하여 추정오차 히스토그램을 워터마크 삽입 전의 상태로 복원한다. 이와 같은 히스토그램 시프팅 과정은 다음과 같이 원본 픽셀의 밝기값과 추정된 밝기값 사이의 오차값을 조정하는 것과 동일한 의미를 갖는다.

$$D_s(i, j) = \begin{cases} D(i, j), & \text{if } P(i, j) = 0, \text{ and } D(i, j) \leq MAX_b \\ D(i, j) - 1, & \text{if } P(i, j) = 0, \text{ and } D(i, j) > MAX_b \\ D(i, j), & \text{if } P(i, j) = 1, \text{ and } D(i, j) \leq MAX_o \\ D(i, j) - 1, & \text{if } P(i, j) = 1, \text{ and } D(i, j) > MAX_o \end{cases}$$

여기서 $D_s(i, j)$ 는 삽입된 워터마크가 제거된 차이값 영상에 해당된다. 이와 같은 단계3)과 단계4)의 과정을 대상물에 대해 반복횟수 R_o , 배경에 대해 반복횟수 R_b 만큼 수행한다.

$D_s(i, j)$ 가 복원되면 다음과 같이 워터마크가 삽입되지 않은 영상 I_c 의 복원이 가능하다.

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

• **단계 5) 오류 예측 보정** : 상기 과정을 통해 복원된 영상은 원본 영상이 아닌 오류 예측이 보정된 영상 I_c 이다. 워터마크 삽입 및 오류 예측 보정 이전의 영상 I 를 계산하기 위해서 반복횟수 R_o 및 R_b 와 오류위치 정보맵 O_m 이 필요하다. 오류위치 정보맵은 워터마크의 일부분으로 삽입되어 전송되었고, 대상물 및 배경에 대한 반복횟수 R_o 및 R_b 는 부가적 정보로 전송되었으므로, 원본 영상은 다음과 같이 보정했던 값을 복원함으로써 원본 영상 I 의 복원이 가능하다.

$$I(i, j) = \begin{cases} I_c(i, j) + R_b, & \text{if } O_m(i, j) = 1 \text{ and } P(i, j) = 0, I_c(i, j) \geq 32767 \\ I_c(i, j) - R_b, & \text{if } O_m(i, j) = 1 \text{ and } P(i, j) = 0, I_c(i, j) < 32767 \\ I_c(i, j) + R_o, & \text{if } O_m(i, j) = 1 \text{ and } P(i, j) = 1, I_c(i, j) \geq 32767 \\ I_c(i, j) - R_o, & \text{if } O_m(i, j) = 1 \text{ and } P(i, j) = 1, I_c(i, j) < 32767 \\ I_c(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}$$

4. 실험 결과

본 논문에서는 Brain, Head, Stomach를 촬영한 16bits의 의료 영상을 사용하여 실험을 수행하였다. 반복횟수 R_b 와 R_o 를 증가시켜가며 제안하는 알고리즘에 대한 삽입 용량 및 영상 품질의 분석을 수행하였고, 동일한 삽입 용량 조건에서 2.2절에서 제시한 범용 영상을 대상으로 한 기존 알고리즘과 성능을 비교하였다.

삽입 워터마크는 0과 1이 균등하게 분포하도록 생성하였고, 암호화 및 압축은 수행하지 않았다. 정확한 삽입 용량과 영상 품질 계산을 위해서 삽입 용량은 위치정보맵 등 오버헤드 정보를 차감한 용량을 활용하였으며, 영상 품질은 SNR값을 통하여 측정하였다.

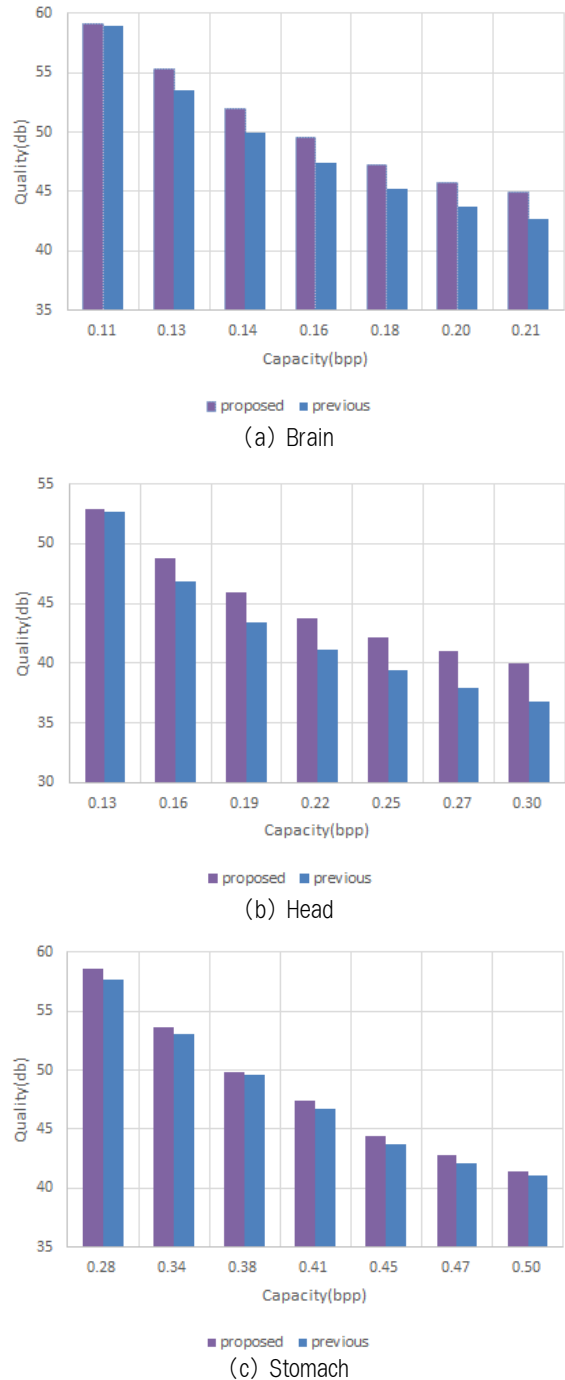


Fig. 7. Capacity and Quality Comparison

4.1 삽입 용량과 영상 품질의 정량적 분석

제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 2.2절에서 설명한 추정오차 확장 및 오류 예측 보정을 통한 가역 워터마킹 알고리즘과 반복횟수를 증가시키면서 삽입 용량 및 영상 품질의 측면에서 비교하였고, 그 결과는 Fig. 7과 같다. 삽입 용량은 1픽셀당 가능한 비트 용량(bpp)으로 계산하였다.

전체적으로 제안한 알고리즘의 방법의 영상의 품질에 따

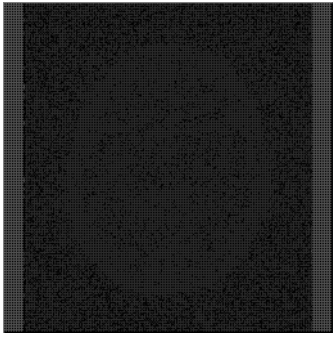
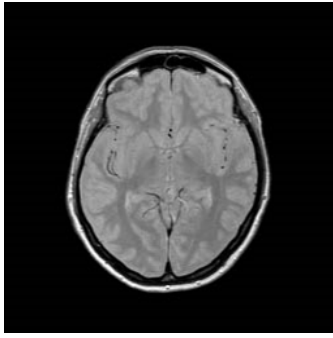
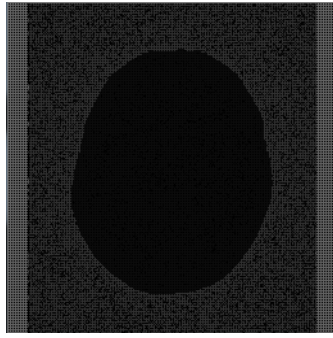
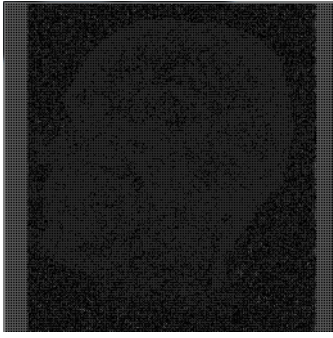
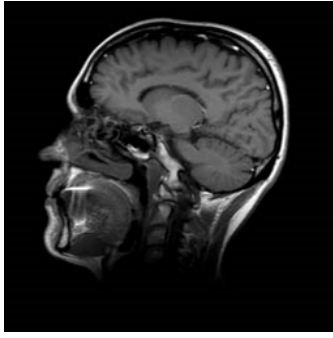
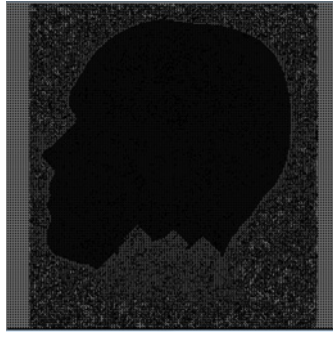
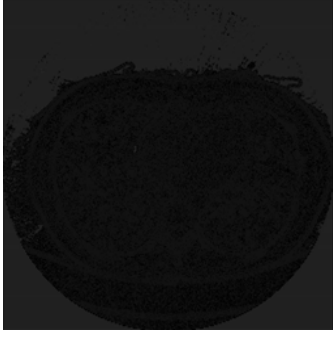

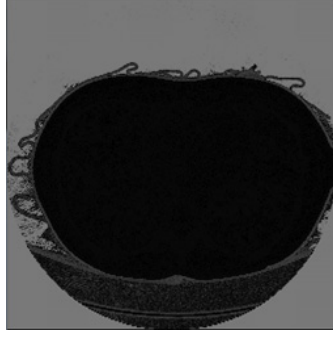
Previous algorithm	Original image	Proposed algorithm
		
R = 7	(a) Brain	Ro = 2, Rb = 8
		
R = 7	(b) Head	Ro = 2, Rb = 9
		
R = 7	(c) Stomach	Ro = 2, Rb = 13

Fig. 8. Difference Images between Original Image and Watermarked Image

른 삽입 용량이 기존 알고리즘의 방법에 비해 상대적으로 높게 나타났음을 알 수 있다. 각 영상의 삽입 용량이 차이가 나는 이유는 영상에 포함된 내용과 관련되어있어서 영상의 밝기값 변화가 크지 않고, 영상 밝기값 변화의 지역성이 높을수록 동일한 화질에서 높은 삽입 용량을 달성할 수 있기 때문이다. 제안하는 알고리즘은 밝기값 변화가 크지 않은 배경에 더 많은 데이터를 삽입하고, 밝기값 변화가 큰 대상물 영역에 삽입 용량을 낮춤으로써, 기존 알고리즘에 비하여 동일한 화질에서 더 높은 삽입 용량을 달성하였다.

4.2 삽입 용량과 영상 품질의 정성적 분석

동일한 원본 영상에 대하여 기존 알고리즘을 통한 워터마크 영상 및 제안 알고리즘을 통한 워터마크 영상과의 차이값 영상을 Fig. 8에 도시하였다. 두 알고리즘의 삽입 용량은 동일하게 맞추어서 워터마크를 삽입한 후에 차이값 영상을 구하였다. 실제 차이값 영상의 값이 크기 않아서 육안으로 구별하기 힘들기 때문에 밝기값을 조정하였다.

원본 영상과 워터마크 영상의 차이값이 작을수록 어두운 색을, 차이값이 클수록 밝은 색을 띄게 된다. 의료 영상에서

중요한 대상물 영역을 보면 제안 알고리즘의 경우 대상물 영역은 검정색에 가깝다. 반면에 기존 알고리즘의 경우 상대적으로 영상이 밝은 색을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 동일한 삽입 용량에 대하여 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 대상물 영역이 현저히 높은 영상 품질을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

워터마킹 기술 자체가 원본 영상에 대해 많은 훼손을 가지지 않기 때문에 육안으로는 구분이 힘들다. 하지만 Fig. 9와 같이 영상을 확대하여 보았을 경우 좌측의 기존 알고리즘을 적용한 영상에 비해 우측의 특성 알고리즘을 적용한 영상이 원본과 가까운 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 대상물 영역에서 낮은 왜곡을 보이고 있음을 알 수 있다.

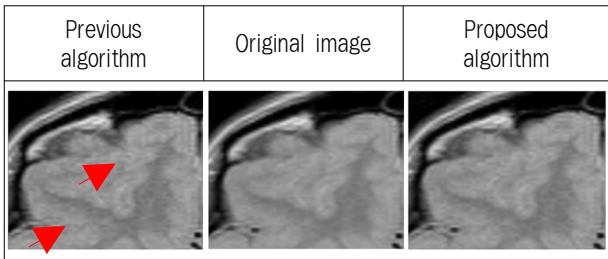


Fig. 9. Qualitative Analysis after Watermark Insertion

5. 결 론

인터넷이 널리 보급됨에 따라 디지털 콘텐츠가 증가하였고 이에 따라 디지털 콘텐츠의 보호가 사회적으로 중요한 문제로 나타나고 있다. 의료기기의 디지털화로 고품질의 의료 영상 콘텐츠가 생성되고 있으나 이에 대한 보호는 부족한 실정이다.

워터마킹 기술의 경우 의료 영상 콘텐츠를 보호하기 위하여 효과적으로 적용될 수 있으나 기존의 다양한 워터마킹 기술들은 원본 영상의 품질을 훼손하여 의료 영상에 부적합한 실정이며, 가역 워터마킹 기술이 원본 복원이 가능하여 의료 영상에 유용한 기술이다.

그동안 가역 워터마킹 기술에 대한 연구는 일반적인 영상들을 대상으로 이루어졌고, 영상의 내용과 무관하도록 적용되었다. 그러나 의료 영상의 경우 워터마크가 삽입된 후의 영상 품질도 높을 것이 요구되고 있어서, 본 논문에서는 의료 영상에 적합한 가역 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 의료 영상에서 중요한 대상물 영역에 대한 훼손을 최소화하기 위하여 대상물 및 배경을 분리하는 기술을 설계하였고, 기존 추정오차 확장 및 오류 예측 보정 알고리즘을 변형하여, 대상물의 삽입률은 낮추고, 배경의 삽입률을 높임으로써 높은 화질과 삽입 용량을 갖는 알고리즘을 개발하였다. 또한 제안한 알고리즘을 기존 알고리즘과 정량적인 비교 및 정성적인 비교를 수행함으로써 제안한 방법이 영상의 대상물 영역에

서 원본과 유사한 것을 보였으며, 기존 알고리즘에 비하여 유사한 삽입 용량에서 높은 화질을 갖고 있음을 보였다.

제안한 알고리즘의 경우 대상물과 배경을 분리한 후에 배경 영역에 삽입 용량을 높이고, 대상물 영역에 삽입 용량을 낮추는 것으로 인하여, 반복 횟수를 극단적으로 높여서 수행할 경우 기존 알고리즘보다 삽입 용량의 한계에 일찍 도달하게 된다. 차후에는 이와 같은 상황을 개선하기 위한 연구가 필요하며, 의료 영상뿐만 아니라 군사, 위성, 예술 분야 등 다른 분야에 대해서도 특성화된 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

References

- [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] 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.
- [3] 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," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.15-B, No.4, pp.307-314, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] D. M. Thodi, J. J. Rodriguez, "Expansion embedding techniques for reversible watermarking," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.16, No.3, pp.721-730, 2007.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] H.-Y. Lee, K.-S. Kim, "High-Capacity Reversible Watermarking through Predicted Error Expansion and Error Estimation Compensation," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.17-B, No.4, pp.275-286, 2010.



오 기 태

e-mail : bps1024@naver.com
현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어
공학과 학부생
관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털위터
마킹 등



도 엄 지

e-mail : umjido@hanmail.net
현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어
공학과 학부생
관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털위터
마킹 등



장 한 별

e-mail : han-quf@hanmail.net
현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어
공학과 학부생
관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털위터
마킹 등



이 해 연

e-mail : haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr
1997년 성균관대학교 정보공학과(학사)
1999년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
2006년 한국과학기술원 전자전산학과 전
산학전공(공학박사)
2001년~2006년 (주)세트랙아이 선임연구원
2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원
2008년~현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털위터마킹