
블록 유사도를 이용한 의료영상 스테가노그래피

문일남* · 이신주** · 이광만***

A Steganography for the Medical Images using Block Similarity

Il-Nam Moon* · Sin-Joo Lee** · Kwang-Man Lee***

요 약

최근에 디지털 의료영상 정보에 대한 불법 복제, 소유권 및 데이터 인증 문제가 야기되고 있어 이에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 고해상도의 디지털 의료영상의 정보 은닉 방법으로 스테가노그래피를 제안한다. 제안된 알고리즘은 고해상도 의료영상의 특성상 중요 부분인 ROI 영역을 보호하면서 비밀 정보를 삽입하는 방법이다. 결과로 제안한 방법은 의료영상에 적용하여 삽입 용량에 따른 비가시성과 화질 열화에 크게 영향을 주지 않음을 확인하였고 전체적으로 화질 면에서 PSNR이 약 평균 33.33dB 정도를 볼 수가 있었다.

ABSTRACT

Recently, due to problems in terms of illegal copying of medical image and the right ownership and authentication of data, it is necessary for us to study about those problems. In this study, we propose steganography with a method of the hiding information of high-resolution in digital medical image. The proposed algorithm is one of the way that inserts secret information by protecting ROI area which is regarded as and important feature of high-resolution digital medical image. As a result, the proposed method made it possible to insert secret information of massive storage and didn't affect the imperceptibility in medical image quality based on capacity and PSNR showed the all image quality of about 33.33dB.

키워드

의료영상, 정보 은닉, 스테가노그래피, ROI, PSNR

* 제주대학교 대학원 의공학협동과정
** 국방과학연구소
*** 제주대학교 전자공학과(교신저자)

접수일자 2009. 02. 20
심사완료일자 2009. 03. 10

I. 서 론

최근 정보 통신 기술 및 컴퓨터의 발달로 정보의 디지털화와 멀티미디어 기술이 대중화가 되었다. 특히, 의료 장비의 디지털화와 의료 진단 시스템이 가능하게 되어 디지털 의료 정보 분야에 다양한 활용이 이루어지고 있다. 이러한 디지털 의료영상은 환자의 신체 부위를 촬영하여 분석함으로써 환자의 이상 유무를 판별하는 중요한 자료가 된다. DICOM(Digital Image and Communication in Medicine) 표준에 따른 PACS(Picture Archive and Communication System)의 구축으로 의료영상 정보의 저장, 데이터베이스 검색 및 네트워크를 통한 원격 진료가 가능하게 됨으로써 의료영상 정보에 대한 불법 복제, 소유권 및 데이터 인증 문제가 야기되고 있어 많은 연구가 필요하다[1].

따라서 디지털 의료영상의 저작권 보호(Copyright) 및 정보 은닉을 위한 방법으로 스테가노그래피(Steganography) 기술을 적용한다. 일반적으로 스테가노그래피는 특별한 의미를 갖지 않는 임의의 영상(Cover) 안에 전달하고자 하는 비밀 정보를 삽입하는 정보 은닉(Information Hiding) 기술이다[2]. 스테가노그래피의 가장 중요한 전제 조건은 비가시성(Imperceptibility)이라 할 수 있으며 삽입되는 비밀 정보량이 크게 좌우되므로 삽입 용량이 증가할수록 화질에 대한 변형도 증가된다[3].

스테가노그래피 기술은 공간 영역에 삽입하는 LSB(Least Significant Bit)[4]에 대부분 정보를 삽입하고 있다. 이 방법은 인간 시각 시스템(Human Visual System)을 기반으로 영상의 변화를 쉽게 인지하지 못하는 특성을 이용한 방법이다[5]. 이 방법은 삽입하기 쉽고 빠르게 구현될 수 있지만, 변형같은 신호처리에 약한 단점이 있다. 주파수 영역에 삽입하는 방법은 영상의 데이터를 DCT(Discrete Cosine Transform)[6]로 변환하여 주파수 성분내 비밀정보를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 영상 변환 처리에는 강인하지만 처리 속도가 느리고 삽입 정보 용량이 매우 적다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 의미없는 커버 영상이 아닌 중요한 정보가 존재하는 의료영상에 정보 은닉 방법을 제안한다. 의료 영상은 환자의 병변에 따라 다양하게 변하는 영상으로 중요한 정보가 있는 관심영역(ROI:Region of Interest)만이 매우 중요하며 관심이 있다. 따라서 이러한 ROI 영역을 보호하면서 ROI 영역을 제외한 나머지

커버 의료영상에 정보를 은닉하기 위하여 블록 유사도를 측정하여 가장 유사한 블록에 정보를 삽입하는 방법이다. 따라서 제안한 방법은 화질 열화를 줄이기 위하여 B 채널을 정보를 삽입하여 삽입량 증가 및 화질의 열화가 없음을 알 수 있었다.

II. 공간 영역 스테가노그래피

1. 의료영상의 비트플레인

비트플레인 기반의 삽입 방법은 각 화소 값에서 동일한 이진 비트 위치에 있는 비트들을 모아놓고 비트플레인을 만든 다음 복잡도가 높은 하위 비트플레인을 이용하여 정보를 삽입한다.

그림 1은 Brain CT-30015인 의료영상을 각 비트플레인으로 분할한 것이다. 최상위 비트플레인(MSB:Most Significant Bit)으로 갈수록 형태 정보를 가지며, 최하위 비트플레인(LSB)으로 갈수록 잡음과 같은 정보를 갖는다.

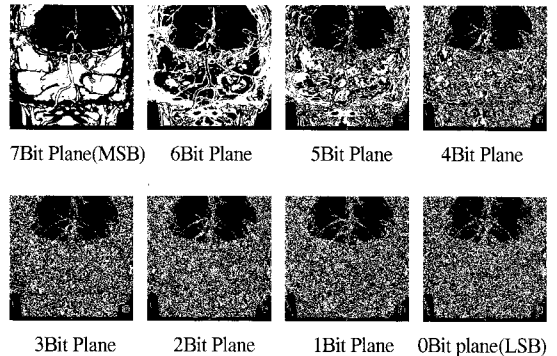


그림 1. Brain CT-30015에 대한 비트플레인
Fig. 1 Bit plane of the Brain CT-30015

2. 의료영상의 복잡도(Complexity)

본 연구에서는 비밀 정보를 삽입할 블록을 선택하기 위해 Kawaguchi 등[6,7]의 블록 복잡도를 이용한다. Kawaguchi의 블록 복잡도는 이진화된 비트블록에 해당하는 모든 픽셀 값을 구하고 흑백 경계 길이(Border length)를 이용하는 방법이다.

흑백 경계 길이 산출은 8×8 픽셀 크기의 블록으로 나눈다. 각 블록에서 255(백)와 0(흑) 픽셀이 교차되는 변화 수를 가지고 측정한다. 즉, 비트플레인으로 변환된 커

버 영상의 픽셀은 255(백), 0(흑) 픽셀 값을 가지고, 이때 255에서 0으로 변환된 픽셀수와 0에서 255로 변환된 픽셀수의 합이 비트플레인의 블록 복잡도가 된다.

그림 2는 Brain CT-30015인 의료영상에 대해 각 비트플레인 복잡도를 계산한 히스토그램이다. LSB로 갈수록 복잡도가 0.5를 중심으로 집중된 형태를 나타내며, MSB로 갈수록 상대적으로 낮은 복잡도를 가지며, 전체적으로 퍼져 있음을 알 수 있다.

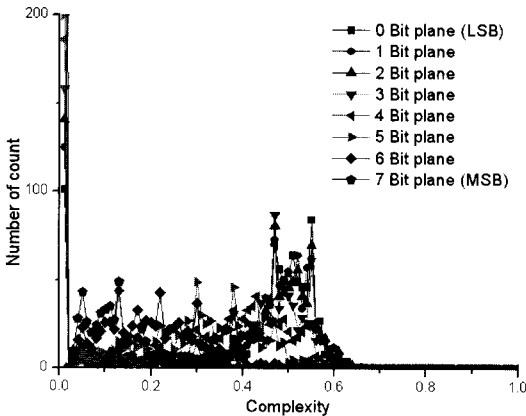


그림 2. Brain CT-30015의 각 비트플레인에 대한 복잡도 히스토그램

Fig. 2 Complexity of Histogram for each bit plane of the Brain CT-30015

Kawaguchi 등은 비트플레인의 복잡도를 구한 다음 복잡도가 특정 임계값보다 큰 블록에 대해서 비밀 정보를 삽입한다. 하지만 이 방법은 복잡도와 비교하는 임계값이 고정 임계값으로 주어지기 때문에 이 고정 임계값을 낮추면 화질 열화가 발생하고 반대로 높이면 삽입 용량이 줄어드는 문제점이 발생한다. 따라서 기존 방법은 다양한 커버 영상에 따라 고정 임계값을 어떻게 설정하는지가 중요한 요소가 된다.

그림 3은 Brain CT-30015인 의료영상을 비트플레인으로 분리하여 LSB와 MSB에 이진화된 Lena 영상을 동일한 용량(64kByte)으로 삽입하고 비트플레인의 위치에 따른 화질의 변화를 보여준다. 그림 3(a)의 LSB에 삽입한 결과, PSNR이 51dB로 화질이 변화가 거의 없었다. 그림 3(b)의 경우는 MSB에 삽입한 결과, PSNR은 8.9dB로 화질의 열화가 심하였다.

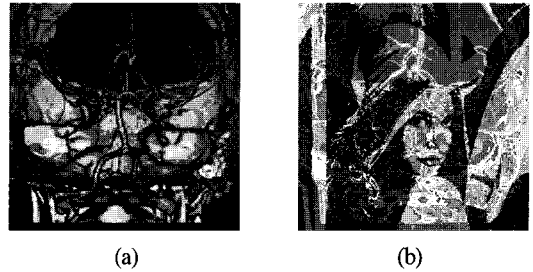


그림 3. 동일한 용량을 적용한 비트플레인 삽입 결과
(a) 최하위 플레인(LSB)에 삽입한 경우(51dB)
(b) 최상위 플레인(MSB)에 삽입한 경우(8.9dB)
Fig. 3 The insertion result images by applying same insertion capacity
(a) Insertion result image applied to LSB(51dB)
(b) Insertion result image applied to MSB(8.9dB)

그림 4는 각 비트플레인에 동일한 용량을 삽입한 결과이다. 그 결과 비트플레인에 따라 화질의 변화를 알 수 있다.

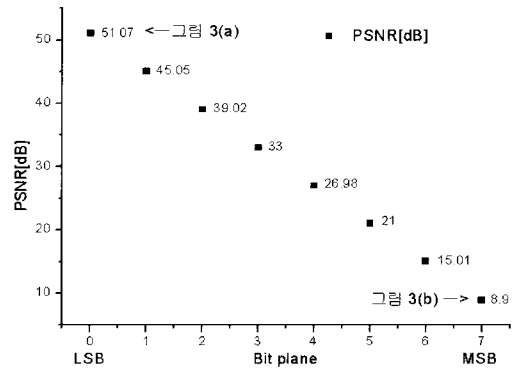


그림 4. 동일한 용량을 삽입한 후의 화질 비교
Fig. 4 Comparison of PSNR between each bit planes after embedding the same amount of information

III. 제안한 스테가노그래피 알고리즘

본 연구에서는 컬러 의료영상을 이용하여 블록 유사도를 측정하고 정보 삽입을 위한 최적의 위치를 산출하기 위한 방법을 제안한다.

1. 의료영상의 유사도(Similarity)

삽입할 비트플레인의 블록과 비밀 정보의 블록을 서

로 블록 정합(Block Matching)시켜 두 블록 간의 값의 차이가 얼마나 큰지를 계산하고 그 값에 따라 블록별 유사도를 측정한다. 이때 삽입 위치를 결정하기 위한 측정 방법은 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하여 유사도를 측정한다. RMSE 값은 작은 값일수록 유사도가 크다고 할 수 있으며, 반면에 값이 크면 유사도가 적다고 할 수 있다. 다음 수식 (1)은 두 영상을 $w \times w$ 블록 크기로 나누고 후 두 블록간 RMSE 값을 구하는 수식을 보여주고 있다.

$$M(i, j) = \sqrt{\frac{1}{w^2} \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{w-1} [B(i, j) - S(i, j)]^2} \quad (1)$$

여기서 $M(i, j)$ 는 RMSE 값을 나타내고 $B(i, j)$ 는 커버 영상의 비트플레인 $w \times w$ 크기로 나눈 블록 영상이며 $S(i, j)$ 는 비밀 메시지를 역시 $w \times w$ 크기로 나눈 블록 영상이다. 블록간 RMSE를 이용한 유사도의 상관 관계를 계산하면 오차 값에 따라 삽입 용량이 선형적으로 증가 또는 감소한다.

2. 삽입과 추출 알고리즘

그림 5은 본 연구에서 제안한 삽입과 추출 알고리즘의 구성도이다.

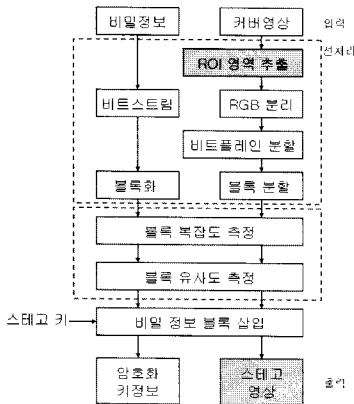


그림 5. 삽입 알고리즘의 구성도

Fig. 5 A block diagram of insertion and extraction algorithm

전처리 과정으로 먼저 의료영상에서 중요한 진단 정보를 가지고 있는 부분인 중앙의 1/4 영역을 ROI로 영역으로 설정하여 추출한다.

그리고 그림 6처럼 R, G, B 채널로 분리하며, 정보 삽

입을 위해 B 채널을 이용한다. 분리된 B 채널을 비트플레인으로 분리하여 복잡도가 높은 하위 4개의 비트플레인을 선정하고 비밀 정보 삽입을 위한 각 비트플레인을 8×8 픽셀 크기로 블록화 한다.

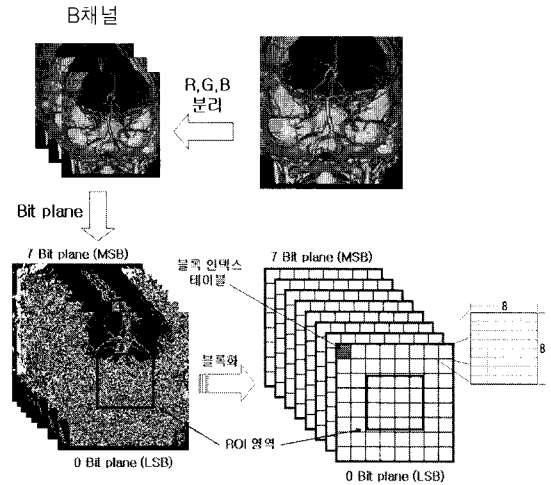


그림 6. 의료영상의 전처리

Fig. 6 Preprocess of Medical image

이처럼 블록화한 후 수식(2)를 이용하여 각 블록별 유사도를 측정한다. 이때 블록 정합 순서는 ROI 영역과 첫 번째 블록을 제외한 바깥 영역에서부터 커버 영상의 블록에 비밀 정보 블록을 매칭시키면서 계산하며 이에 따른 블록 매칭 계수(Block Matching Counter)는 원본 커버 영상 크기에 따라 달라지며 수식(2)처럼 나타낸다.

$$BC(x, y) = (x/8) \times (y/8) \quad (2)$$

수식 (2)에서 $BC(x, y)$ 는 커버 영상의 가로가 x 이고 세로가 y 인 경우의 블록 매칭 계수를 나타내고 있다. 즉, 512×512 의 해상도를 갖는 영상인 경우의 블록 매칭 계수는 $4096(64 \times 64)$ 이 된다.

커버 영상과 비밀 정보의 두 블록 간을 블록 정합시키고, 비밀 정보를 매칭된 블록에 삽입한 후에는 비밀 정보 추출시 스테고 영상에서 삽입된 비밀 정보를 올바르게 추출해 낼 수 있도록 하기 위해 삽입된 블록순서를 기록해 두어야 한다. 그림 6처럼 비트플레인 영상에서 첫 번째 블록을 블록 인덱스 테이블로 지정하고 이 테이블에 삽입된 비밀 정보 블록의 순서를 기록해 두게 된다. 마지

막으로 비트플레인과 R, G, B 채널을 병합하면 정보가 삽입된 스테고 영상이 생성된다. 이렇게 생성된 스테고 영상에서 비밀 정보를 추출시 사용되는 키 정보에는 비밀 정보 블록의 삽입 여부를 기록해 두는 블록 인덱스 테이블 정보와 ROI 영역에 대한 정보는 무손실 압축 방식으로 압축한 뒤 암호화하여 전송한다.

다음 그림 7은 추출 과정이다.

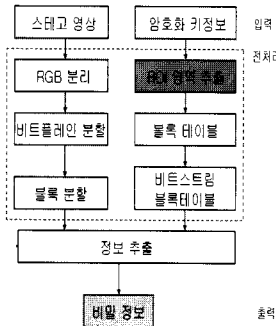


그림 7. 추출 알고리즘

Fig. 7 A block diagram of extraction algorithm

정보 삽입시 사용한 암호화된 키 정보를 이용한다. 블록 테이블 인덱스 정보와 ROI 영역 정보를 복호화를 한다. 비밀 정보의 추출을 위한 전처리 과정으로 스테고 영상을 R, G, B 채널별 비트플레인으로 분할하고 각 비트플레인에 대한 8×8 블록화를 한다. 암호화 된 키 정보를 복호화하면 비트스트림 형태의 블록 테이블 인덱스 값을 얻어 해당 블록에서 정보 블록으로 추출한다.

IV. 모의 실험 및 성능 분석

본 연구에서 성능 평가의 기준은 비가시성과 삽입 용량이다. 이를 위해 DICOM에서 지원하는 형식으로 저장된 파일을 일반적인 비압축 영상 파일 포맷으로 만들어 실험을 하였다.

스테고 영상의 객관적인 화질 평가를 하기 위한 척도로 영상의 신호 대 잡음비인 PSNR(Peak to Signal Noise Ratio)과 평균 절대 차인 MAD(Mean Absolute Difference)을 사용하였다. 수식(3)의 PSNR과 수식(4)의 MAD은 커버 영상에 대한 스테고 영상의 화질 차이를 평가한 것이다. 여기서 $f(x,y)$ 는 커버 영상, $\hat{f}(x,y)$ 는 스테고 영

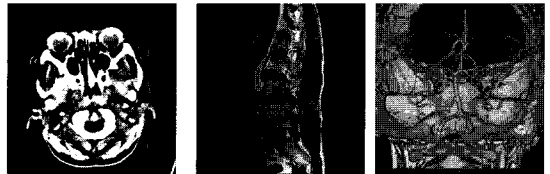
상, MN 은 영상의 전체 화소 수를 나타낸다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2} \quad (3)$$

$$MSD = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x,y) - \hat{f}(x,y)| \quad (4)$$

따라서 PSNR 값은 화질의 열화가 적은 영상일수록 큰 값을 가지며, MAD 오차는 영상 간의 차이를 나타내므로 작은 값을 갖는다.

그림 8과 같이 의료영상인 512×512 크기의 Brain CT-10001, Brain CT-30015와 384×384 크기의 MR-1001 실험을 위한 커버 영상으로 사용하였다.



(a) (b) (c)

그림 8. 실험용 커버 영상

(a) Brain CT-10001 (b) MR-10010 (c) Brain CT-30015

Fig. 8 Cover images for the experiment

(a) Brain CT-10001 (b) MR-10010 (c) Brain CT-30015

표 1은 제안한 알고리즘을 이용하여 비밀 정보의 삽입 용량은 실험을 위하여 Lena 영상을 기준으로 약 3%로 씩 선형적으로 감소와 증가를 하였으며 삽입한 후 영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해 커버 영상과의 PSNR과 MAD 값을 가지고 비가시성을 수치적으로 분석하여 화질을 평가하였다.

표 1. 비밀 정보 용량에 따른 PSNR(dB) 값

Table 1. PSNR(dB) with secret information capacity

	Brain CT-10001		MR-10010		Brain CT-30015	
	삽입용량 (Byte)	PSNR (dB)	삽입용량 (Byte)	PSNR (dB)	삽입용량 (Byte)	PSNR (dB)
Mandrill	131,072	30.86	73,728	31.14	131,072	31.36
MIRRI3	127,019	31.24	71,447	31.92	127,019	32.46
Lena	123,208	32.46	69,304	32.84	123,208	33.50
Citrus	119,512	33.24	67,225	33.32	119,512	34.82
Airplane	115,816	33.91	65,146	34.61	115,816	35.23
Flower	112,458	34.98	63,067	35.80	112,458	36.42
평균	121,514	32.78	68,319	33.27	121,514	33.96

그림 9에서 보는 바와 같이 제안한 방법으로 비밀 메시지의 삽입 용량의 변화에 따라 선형적인 화질 변화를 보여주고 있다.

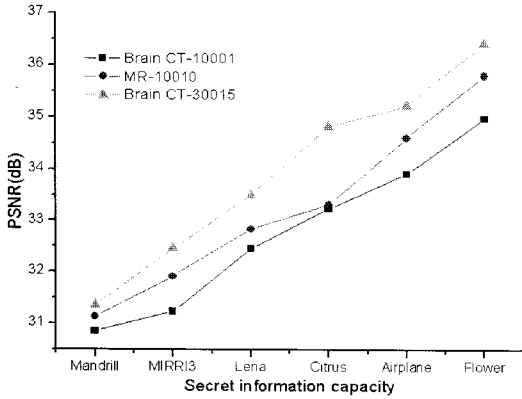


그림 9. 비밀 정보 용량에 따른 화질 변화
Fig. 9 Image quality variations according to the capacity of secret information

실험한 결과 의료영상 화질의 대체적으로 평탄한 Brain CT-10001 영상에서는 평균 약 32.78dB, MR-10010 영상에서는 평균 약 33.27dB, 복잡하고 평탄한 Brain CT-30015에서는 평균 약 33.96dB을 보여 주었다.

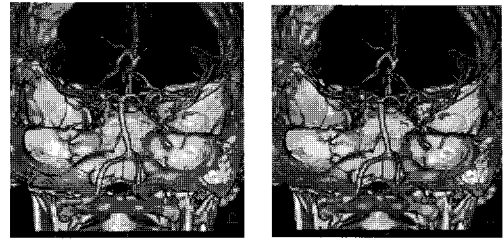
표 2는 커버 영상과 스테고 영상간의 유사성을 MAD를 이용하여 삽입 용량 변화에 따른 절대차를 측정하여 유사성이 높음을 알 수 있었다. 실험 결과 전체적으로 PSNR 값은 평균 약 33.33dB 정도와 MAD는 3.971로 나타났다. 일반적으로 화질의 PSNR 값이 30dB 이상이면 인간의 시각으로 판별을 하기가 어렵다고 할 수 있다.

표 2. 커버와 스테고 영상의 MAD
Table 2. MAD of Cover and stego image

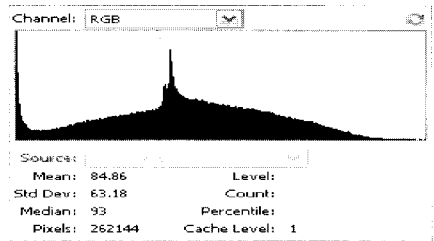
	Brain CT-10001		MR-10010		Brain CT-30015	
	삽입용량 (Byte)	MAD	삽입용량 (Byte)	MAD	삽입용량 (Byte)	MAD
Mandrill	131,072	4.253	73,728	4.221	131,072	4.197
MIRRI3	127,019	4.210	71,447	4.133	127,019	4.072
Lena	123,208	4.072	69,304	4.029	123,208	3.954
Citrus	119,512	3.983	67,225	3.963	119,512	3.804
Airplane	115,816	3.907	65,146	3.828	115,816	3.758
Flower	112,458	3.786	63,067	3.693	112,458	3.623
평균	121,514	4.035	68,319	3.978	121,514	3.901

그림 10는 제안한 방법을 이용하여 커버 영상인 그림 8의 (c)Brain CT-30015 영상에 123,208 Byte의 용량을 삽입 전과 후에 대한 영상과 밝기 변화에 대한 히스토그램 (RGB)을 보여준다.

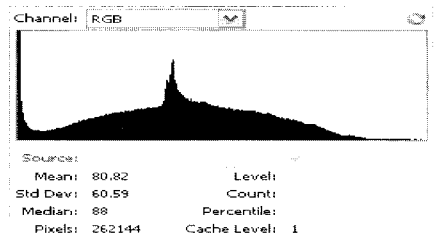
그림 10(a)는 정보가 삽입되지 않은 커버 영상과 그림 10(c)는 히스토그램 분석 결과, 그림 10(b)는 제안한 방법을 이용한 스테고 영상과 그림 10(d)는 히스토그램 분석 결과이다.



(a) (b)



(c)



(d)

그림 10. 실험 결과 영상과 히스토그램
(a) 커버 영상 (b) 스테고 영상
(c) 커버 영상의 히스토그램(RGB)
(d) 커버 영상의 히스토그램(RGB)

Fig. 10 Result images and histograms
(a) Cover image (b) Stego image
(c) Histogram of cover image(RGB)
(d) Histogram of stego image(RGB)

그림 10(a)와 (b)의 영상을 비교하면 육안으로 평가가 어렵고, 표 3과 같이 히스토그램(RGB)의 계수를 비교 분석하면 값과 밝기 분포가 유사함을 보여주고 있다. 결과적으로 실험에서 보듯이 시각적으로 비밀 메시지의 삽입 여부를 감지할 수 없었으며 화질에 대한 영향을 미치지 않았다.

표 3. 커버와 스테고 영상의 계수 분석
Table 3. Coefficient analysis of cover and stego image

	평균값 (Mean)	표준 편차 (Std Dev)	평균값 (Median)	전체 픽셀수 (Pixels)
커버영상	84.86	63.18	93	262,144
스테고 영상	80.82	60.59	88	262,144

IV. 결 론

본 연구는 의료영상이 가지고 있는 고유한 특징을 파악하여 중요한 관심영역인 정보 영역을 손실없이 보존하면서 정보를 삽입하는 스테가노그래피 알고리즘을 제안하였다. 일반적으로 정보 삽입 용량과 화질 관계는 서로 반비례한다. 따라서 본 연구에서는 비트플레인의 복잡도와 블록별 RMSE를 이용하여 유사도를 산출하고, 컬러 의료영상의 B 채널에 정보를 삽입하여 삽입용량과 화질을 증가시키는 방법을 제안하였다. 그 결과로 제안한 방법은 의료영상에 적용하여 삽입 용량에 따른 비가시성이 증가되었다. 또한 화질 측정 결과 PSNR이 약 평균 33.33dB 정도를 볼 수가 있었다. 차후 의료영상에 적용하였을 때 임상적으로 유용성이 있다고 할 수 있다.

참고문헌

[1] C. Coatrieux, H. Maitre, B. Sankur, Y. Rolland, and R. Collorrec, "Relevance of Watermarking in Medical Imaging," IEEE EMBS200 Conf. On Information Technology Applications in Biomedicine, pp250-255, Nov. 2000.
[2] D.Kahn, "The History of Steganography," Springer Lecture Note in Computer Science, vol. 1174, pp. 1-4,

1996.

[3] Sin-Joo Lee, Jae-Min Bae, Sung-Hwan Jung, " High Capacity Image Steganography Using Complexity Measure," Proc. of EALPIIT 2002, pp 349-352, 2002.
[4] H.C. Wu, N.I. Wu, C.S. Tasi, and M.s. Hwang, "Image Steganographic Scheme Based on Pixel-value Differencing and LSB Replacement Methods," IEE Proc. of Vision, Image, and Signal Processing, vol. 152, no. 5, pp. 611-615, Oct. 2005
[5] 이신주, 적응 임계값을 이용한 비트플레인 기반의 대용량 스테가노그래피, 창원대학교 박사학위논문, 2005.
[6] H. Noda, M. Niimi, and E. Kawaguchi, "High-performance JPEG Steganography Using Quantization Index Modulation in DCT Domain," Patten Recognit. Lett., vol. 27, no. 5, pp. 455-461, April 2006.
[7] H. Noda, J. Spaulding, M.N. Shirazi, M. Niimi, and E. Kawaguchi, "BPCS Steganography Combined with JPEG2000 Compression," Proc. of Pacific Rim Workshop on Digital Steganography, STEG 2002, pp. 98-107, 2002.

저자소개

문일남(II-Nam Moon)

한국해양정보통신학회 논문지
제13권 4호 참조

이신주(Sin-Joo Lee)

한국해양정보통신학회 논문지
제13권 4호 참조
2006년~현재 국방과학연구소 7기술평부 3부

이광만(Kwang-Man Lee)

한국해양정보통신학회 논문지
제13권 4호 참조
1987년~현재 제주대학교 전자공학과 교수