

의료영상의 JPEG 압축을 위한 양자화 테이블과 허프만 테이블 설계

速報論文
53D-6-10

Design of Quantization Tables and Huffman Tables for JPEG Compression of Medical Images

梁時寧* · 鄭濟昌** · 朴尙奎***
(Siyoung Yang · Jechang Jeong · Sang Kyu Park)

Abstract - Due to the bandwidth and storage limitations medical images are needed to be compressed before transmission and storage. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) specification, which is the medical images standard, provides a mechanism for supporting the use of JPEG still image compression standard. In this paper, we explain a method for compressing medical images by JPEG standard and propose two methods for JPEG compression. First, because medical images differ from natural images in optical feature, we propose a method to design adaptively the quantization table using spectrum analysis. Second, because medical images have higher pixel depth than natural images do, we propose a method to design Huffman table which considers the probability distribution feature of symbols. Simulation results show the improved performance compared to the quantization table and the adjusted Huffman table of JPEG standard.

Key Words : Medical image compression, JPEG, Quantization table, Huffman table, DICOM

1. 서론

PACS의 개발로 1980년대부터 의료영상의 디지털화가 필요해짐에 따라, 의료 영상 장치들 사이에서 의료영상과 정보를 저장하고 전송하기 위해서 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 표준이 만들어졌다 [1-2]. DICOM 제정 당시 의료영상 데이터를 표현하는 방법으로 RLE (Run Length Encoding), JPEG-LS, 가역(lossless) JPEG, 비가역(lossy) JPEG을 사용했다 [3].

DICOM이 제정되면서 의료영상 압축 방법들이 소개되기 시작했으며, 의료영상 압축은 가역 압축 방식과 비가역 압축 방식으로 나누어 진행되고 있다. 가역 압축 방식인 경우, Barlas 논문은 LOCO-I에 기반한 JPEG-LS와 CALIC과 성능 비교하고 있고, [4]. 비가역 압축방식의 경우, Ahn 논문은 JPEG과 성능을 비교하고 있다 [5].

JPEG에서 사용되는 양자화 테이블과 허프만 테이블은 규정치로 정해진 것은 없다. 표준에는 단지 자연영상의 통계적 특성을 고려한 양자화 테이블과 픽셀당 8비트를 갖는 영상의 허프만 코드를 제시해 놓았을 뿐이다. 의료영상은 자연영상과는 다르게 영상이 크고 대부분이 흑백이며 픽셀당 비트수가 높기 때문에, 의료영상을 위한 양자화 테이블과 허프만 테이블을 설계해서 압축률을 증가시킨다. 본 논문에서는 픽셀당 8비트 이상을 갖는 의료영상들에 대해서 허프만

테이블을 설계하는 방법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 의료영상을 위한 적응적 양자화 테이블 설계방법과 높은 픽셀당 비트수를 갖는 의료영상을 위한 허프만 테이블을 설계하는 방법을 제안하며, 3장에서 원영상과 제안된 방법으로 적용해서 부호화한 JPEG 영상의 압축률을 비교하고 결론을 맺는다.

2. 제안한 알고리즘

이 장에서는 JPEG 부호화 과정에 사용되는 양자화 테이블과 허프만 테이블을 설계하는 방법을 제안한다. 전체 블록도는 그림 1과 같고, 데이터는 실선 박스로 표현하고 연산 과정은 이중선으로 표현한다. JPEG은 8×8 블록단위 DCT 및 양자화한 후에 지그재그 스캔을 통해서 심벌로 구성하고 엔트로피 부호화한다 [6].

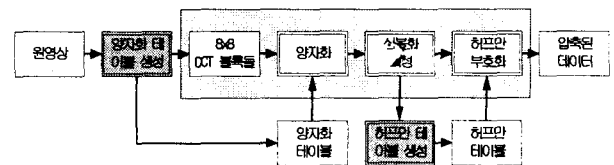


그림 1 제안한 알고리즘의 블록도
Fig. 1 Block diagram of proposed algorithm

2.1 제안한 양자화 테이블 설계 방법

양자화 테이블을 구성하기 위해 8×8 블록단위 DCT 후의 블록의 계수를 모은 스펙트럼을 이용한다. 양자화 테이블 생성 부분은 그림 2에 나타낸다.

* 正 會 員 : 漢陽大 大學院 電子通信電波工學科 博士課程
** 正 會 員 : 漢陽大 大學院 電子電氣컴퓨터工學部 正教授 · 工博
*** 正 會 員 : 漢陽大 大學院 電子電氣컴퓨터工學部 正教授 · 工博
接受日字 : 2004年 3月 18日
最終完了 : 2004年 5月 24日

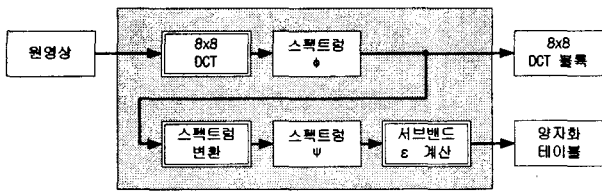


그림 2 제안한 알고리즘에서 적응적 양자화 테이블 설계
 Fig. 2 Design of adaptive quantization tables in proposed algorithm

8×8 블록단위 DCT후의 스펙트럼 Φ 을 식 (1)과 같이 스펙트럼 변환을 통해서 각 주파수 대역별로 모아서 스펙트럼 Ψ 을 구성하며, 이때 각 주파수 대역을 서브밴드(subband)라고 한다. 식 (1)에서 $\Psi^{i,j}$ 는 (i, j)번째 서브밴드를 나타낸다. 식(1)에서 m과 n은 영상에서의 8×8 DCT 블록의 인덱스이고, i와 j는 DCT 블록내에서의 주파수 인덱스이면서 서브밴드의 인덱스이기도 하다.

$$\Psi_{m,n}^{i,j} = \Phi_{m,n}^{i,j}$$

where, $\Psi_{m,n}^{i,j} \triangleq \Phi_{i,M/b-m,j,N/b-n}$
 $\Phi_{m,n}^{i,j} \triangleq \Phi_{m,b+1,n-b-j}$ (1)
 $\forall i, j \quad 0 \leq i, j \leq (b-1)$ frequency index
 $\forall m \quad 0 \leq m \leq (M/b-1)$ spectrum index
 $\forall n \quad 0 \leq n \leq (N/b-1)$

JPEG은 DCT후의 양자화된 데이터를 심볼화 하는 과정에서, 각 데이터의 절대값을 이용해 카테고리로 구분하고 심볼로 구성하기 때문에 절대값을 사용한다. 양자화 테이블을 구성하기 위해서 식 (2)와 같이 각 서브밴드의 절대값들의 합으로 ϵ 을 구한다. 식 (2)에서 $\epsilon_{i,j}$ 는 (i, j)번째 서브밴드의 MAV (Mean Absolute Value)이다. 식(2)에서 i와 j는 서브밴드의 인덱스이고, m과 n은 서브밴드내의 계수들의 인덱스이다.

$$\epsilon_{i,j} = \frac{1}{(M/b)(N/b)} \sum_{m=0}^{M/b-1} \sum_{n=0}^{N/b-1} |\Psi_{m,n}^{i,j}|$$
 (2)

Parseval의 이론에 따르면, 식 (3)과 같이 공간영역의 에너지와 주파수 영역의 에너지는 같다. 영상의 경우 DCT 변환 후에는 저주파 대역에 대부분의 에너지가 집중된다. 에너지가 모인다는 것은 영상의 정보의 대부분이 저주파 대역에 있다는 것이다. 각 서브밴드의 에너지는 식 (4)와 같이 구한다.

$$\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |X_{i,j}|^2 = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |\Phi_{i,j}|^2 = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |\Psi_{i,j}|^2$$
 (3)

$$Energy_{i,j} = \sum_{m=0}^{M/b-1} \sum_{n=0}^{N/b-1} |\Psi_{m,n}^{i,j}|^2$$
 (4)

양자화 테이블에서 저주파 부분은 대부분의 정보를 담고 있으므로 양자화를 적게 하고, 고주파 부분은 상대적으로 덜 중요한 정보를 담고 있으므로 양자화를 크게 한다. 따라서 양자화 테이블은 식 (5)와 같이 에 비례하고 $Energy$ 에는 반비례하도록 구성한다. 식 (5)를 살펴보면 Q^{int} 는 에 반비례하는 것으로 표현 가능하므로, 결국엔 식 (6)과 같이 표현 가능하다.

$$Q_{i,j}^{int} = \frac{\epsilon^{i,j}}{Energy_{i,j}}$$
 (5)

$$Q_{i,j}^{int} \propto \frac{1}{\epsilon_{i,j}}$$
 (6)

2.2 제안한 허프만 테이블 설계 방법

본 논문에서는 제한된 길이를 가지는 허프만 코드를 발생시키는 방법으로 AD-HOC 설계방법을 응용하며 [7], 그림 3에 설계 방법을 나타낸다.

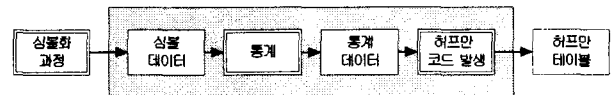


그림 3 제안한 알고리즘에서 적응적 허프만 테이블 설계
 Fig. 3 Design of adaptive Huffman tables in proposed algorithm

N개의 심볼 알파벳을 S_1, S_2, \dots, S_N 이라고 하며, 이 알파벳의 집합을 S라 한다. i번째 심볼 S_i 의 발생확률은 p_i 로 표기한다.

Step 1 : 최대 코드워드(codeword)의 길이가 L비트이면, 임계값(T)은 $T=2^{-L}$ 로 정의한다. 이 경우 L은 16이 된다.

Step 2 : 모든 i에 대해서 $p_i \geq p_{i+1}$ 이 되도록 S_i 을 정렬한다.

Step 3 : p_i 값을 이용해서 각 심볼의 코드 길이 l_i 를 식 (7)과 같이 설정한다.

$$l_i = \begin{cases} 0 & \text{if } p_i = 0 \\ L & \text{else if } p_i \leq T \\ C(p_i) & \text{otherwise} \end{cases} \text{ where, } C(x) = \left\lceil \log_2 \frac{1}{x} \right\rceil$$
 (7)

Step 4 : l_i 를 이용해서 수정된 확률분포 값인 $p_i^{correction}$ 를 식 (8)과 같이 설정한다.

$$p_i^{correction} = 2^{-l_i}$$
 (8)

Step 5 : 심볼의 코드 길이 l_i 를 검증한다. 수정된 확률분포의 합은 1을 넘으면 안 된다. p' 는 식 (9)와 같이 구하며, 식 (9)에서 임계값 T는 앞에서 언급한 JPEG 마커 코드인 16진수 FFFF 코드를 위해 남겨둔 확률 값으로 사용한다. p' 이 0보다 크고 T보다 작으면 종료하고, 그렇지 않으면 6단계의 보정 작업을 거친다.

$$p^{sum} = \sum_{i=1}^N p_i^{correction} + T$$

$$p' = 1 - p^{sum}$$
 (9)

Step 6 : 5단계에서 종료작업을 만족하지 못하면 식 (10)과 같이 보정 작업을 거친다. p' 이 0보다 작으면 코드워드의 길이를 늘여서 허프만 부호화를 가능하게 하고, T보다 크면 코드워드의 길이를 줄여서 압축률을 높인다.

$$\text{if } (p'_i < 0) \text{ for } i = N \text{ to } 1$$

$$\text{if } (p_i^{correction} > T \ \&\& \ p_i^{correction} \leq p')$$

$$l_i = l_i + 1$$

$$p'_i = p'_i + p_i^{correction}$$
 (10)
$$\text{else if } (p'_i > T) \text{ for } i = N \text{ to } 1$$

$$\text{if } (p_i^{correction} > T \ \&\& \ l_i \geq c(p'_i))$$

$$l_i = l_i - 1$$

$$p'_i = p'_i - p_i^{correction}$$

3. 실험결과 및 결론

의료영상 표준인 DICOM을 제정한 ACR과 NEMA에서는 실험용 의료영상을 제공하지 않아서, 본 논문에서는 ISO/IEC JTC1/SC 29/WG 1에서 제공하는 실험용 의료영상 [8]과 필립스사에서 제공하는 CT 영상 [9]을 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 의료영상은 그림 4부터 그림 7까지 나타냈고, 그 정보는 표 1에 나타났다.



그림 4 X-ray 영상
Fig. 4 X-ray image



그림 5 CR 영상
Fig. 5 CR image



그림 6 CT 영상
Fig. 6 CT image



그림 7 MRI 영상
Fig. 7 MRI image

표 1 의료영상 정보

Table 1 Information of medical images

Medical Images	Pixels per line	Lines per image	Pixel resolution	Pixel levels
X-ray	2048	1680	12 bpp	4096
CR	1744	2048	12 bpp	4096
CT	512	512	12 bpp	4096
MRI	256	256	11 bpp	2048

본 논문에서 제안한 방법의 객관적인 성능 평가를 위해서 식 (11)에 있는 PSNR (Peak Signal Noise Ratio)과 식 (12)에 있는 MAE (Mean Absolute Error)를 사용하였고, 마지막으로 식 (13)과 같이 최대 차이 값을 정규화 한 NMD (Normalized Maximum Difference)를 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{x_{peak}^2}{MSE} \text{ dB} \tag{11}$$

where, $MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,j} - y_{i,j})^2$

$$MAE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x_{i,j} - y_{i,j}| \tag{12}$$

$$NMD = \frac{\max(\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x_{i,j} - y_{i,j}|)}{x_{peak}} \times 100 \% \tag{13}$$

본 논문에서 제안한 방법으로 구한 양자화테이블의 성능 평가를 하기 위해서 JPEG 표준에 있는 양자화 테이블과 Entropy에 따른 PSNR를 표 2에서 비교했으며, Entropy는 정보를 표현하는 평균정보량을 의미한다. 표 2에서 제안한 방법이 동일 Entropy에서 PSNR이 높음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법으로 구한 허프만 테이블의 성능 평가 실험 결과로 PSNR, MAE와 NMD를 압축률이 40:1, 20:1과 10:인 경우를 표 3에 명시했으며, 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 표 3에서 제안한 방법(Proposed Algorithm, PA)은 PA으로 표기하고, 12비트 영상까지 처리 되도록 기존의 JPEG 알고리즘을 수정한 것은 JPEG으로 표기한다.

또한 PSNR에 따른 압축률을 표 4에서 나타냈다. JPEG으로 압축했을 때의 bpp(bit per pixel)를 P1으로 표기하고, PA으로 압축했을 때의 bpp를 P2로 표기한다. JPEG보다 본 논문에서 제안한 적응적 허프만 테이블 설계 방법을 이용하는 경우가 압축률이 더 우수함을 볼 수 있다.

본 논문에서는 의료영상의 JPEG 압축하기 위한 적응적 양자화 테이블과 적응적 허프만 테이블을 적응적으로 설계하는 방법을 제안했다. 영상의 크기가 큰 X-ray 영상이나 CR 영상의 경우 의료영상에 적응적 양자화 테이블을 이용하는 것이 효과적이며, 또한 실험을 통해서 제안한 적응적 허프만 테이블 방법을 JPEG에 적용하는 것이 압축률이 우수함을 보였다. 본 논문에서 제안한 방법은 JPEG 부호화에 적용되는 것으로 메모리 소비가 적고 연산속도가 빠르다. JPEG은 DICOM 표준에 포함되므로 추가적인 비용없이 PACS에 적용 가능하다.

표 2 JPEG 양자화 테이블과 제안한 방법으로 구한 양자화 테이블의 성능 비교

Table 2 Performance comparisons of JPEG quantization tables and Proposed Algorithm quantization tables

Medical Images	Entropy	PSNR	
		JPEG	Proposed Algorithm
X-ray	0.3	46.3867	48.5635
	0.6	48.3446	50.5063
CR	0.3	52.3542	54.5068
	0.6	53.6668	55.8026
CT	0.3	52.5049	52.5197
	0.6	56.5946	57.2332
MRI	0.25	37.5574	38.4385
	0.5	42.5178	43.1851

표 3 JPEG과 제안한 알고리즘의 성능 비교

Table 3 Performance comparisons of JPEG and Proposed Algorithm

Medical Images	Compression Ratio	PSNR		MAE		NMD	
		JPEG	PA	JPEG	PA	JPEG	PA
X-ray	40:1	32.29	43.85	33.98	15.20	66.00	32.47
	20:1	46.80	48.45	13.32	11.49	22.44	10.52
	10:1	49.75	50.95	10.01	8.78	5.73	4.20
CR	40:1	42.29	53.23	12.46	6.87	19.31	6.64
	20:1	53.66	54.60	6.59	5.95	4.98	2.78
	10:1	55.45	56.46	5.41	4.82	1.90	1.41
CT	40:1	37.87	48.63	23.04	8.11	20.39	14.43
	20:1	49.98	52.98	7.17	5.34	12.16	10.01
	10:1	54.99	57.52	4.36	3.42	8.25	5.22
MRI	40:1	24.66	35.22	52.22	22.78	42.25	32.63
	20:1	38.82	39.71	13.49	14.60	15.92	11.13
	10:1	41.84	44.13	11.10	8.93	9.57	8.74

표 4 의료영상의 동일 PSNR에 따른 압축률 비교

Table 4 Comparison of compression rate by the same PSNR of medical images

Medical Images	PSNR (dB)	JPEG : P1 (bpp)	PA : P2 (bpp)	Compression ($\frac{P1-P2}{P1} \times 100\%$)
X-ray	48	0.7710	0.5322	30.98
	54	2.6434	2.0812	21.27
	60	4.6121	3.6020	25.15
CR	48	0.3310	0.1129	65.87
	54	0.6862	0.4537	33.87
	60	2.9277	2.2772	22.22
CT	48	0.5266	0.2860	45.68
	54	1.0381	0.7078	31.82
	60	2.2087	1.5616	29.30
MRI	48	2.5194	1.8729	25.66
	54	4.6377	3.3294	28.21
	60	7.2770	4.8531	33.31

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-11627-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] H. K. Huang, "Picture archiving and communication systems (pacs) for medical applications", The Seventh Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care Proceedings, Oct. 23-26, 1983.

[2] PS 3.1-2001, DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) Part 1: Introduction and Overview, National Electrical Manufacturers Association,

2001.

[3] PS 3.5-2001, DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) Part 5: Data Structures and Encoding, National Electrical Manufacturers Association, 2001.

[4] G. Barlas, S. Kostomanolakis, and S.C. Orphanoudakis, "DICOM image compression using a hierarchy of predictors", 2001 Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 3, pp. 2445-2448, 25-28 Oct 2001.

[5] C.B. Ahn, I.Y. Kim and S.W. Han, "Medical Image Compression Using JPEG Progressive Coding", IEEE Conference Record Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, pp. 1336-1339, 31 Oct-6 Nov 1993.

[6] ITU-T Recommendation T.81, "Information Technology-Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images-requirements and Guidelines", ITU-T, Feb 1992.

[7] Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley & Sons, pp. 24-36, 1991.

[8] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N505, "Call for contributions for JPEG2000", ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, Mar 1997.

[9] Philips, "Overview of CT-Aura and CT-Cecura DICOM Reference Image", Philips, Jan 2000.