

# Quadtree 알고리즘과 F-변환을 이용한 무손실 영상압축

## Lossless Image Compression using Quadtree algorithm and F-transform

김능식\*, 최병진\*\*, 오주환\*\*, 윤정오\*\*

(Neung-Shik Kim, Byung-Jin Choi, Ju-Hwan Oh, Jeong-Oh Yoon)

**요약** 정보기술의 발달로 인해 컴퓨터 통신이 원활해지면서 방대한 양의 영상자료 처리 기술이 한 층 더 요구되고 있다. 본 논문에서는 영상 자료들의 효율적으로 전송과 저장을 위해 쿼드트리 알고리즘과 F-변환을 이용한 무손실 영상압축 방법을 제안하였다. 제안된 무손실 영상압축 방법은 컴퓨터 모의 실험을 통하여 기존의 L-JPEG, LOCO-I, CALIC 압축방법 보다 압축성능이 현저히 향상됨을 확인하였다.

**Abstract** As the computer communication becomes generalized thanks to the advancement in information technology, the technology to process a large amount of images is much more required. This paper proposed lossless image compression method using quadtree algorithm and F-transform, which efficiency transmission and storage. The computer simulation shows that Compression ratio to make use of proposed method turned out to be improved more significantly compared with the established L-JPEG, LOCO-I, CALIC.

### 1. 서 론

최근 컴퓨터를 이용한 인터넷의 보편화와 각종 통신 기술의 발달로 엄청난 양의 영상자료 전송과 저장이 현저히 증가하고 있는 가운데 영상자료들의 효율적인 저장과 전송을 위한 영상처리 기술들이 활발히 연구되고 있다. 특히, 정밀성과 보안을 필요로 하는 영상 자료들을 안전하게 저장하거나 전송할 경우에 무손실(lossless)

영상압축이 필요하다.

압축 성능을 향상시키기 위한 무손실 영상 압축[1-8]은 예측에 기반한 예측오차를 구해서 엔트로피 부호화(entropy coding) 하는 과정으로 처리하고 있으며 화소들 사이에 존재하는 공간적 중복성을 줄이는 예측 모델링에 따라 압축 성능이 결정된다. 기존의 무손실 영상 압축 방법들에서 사용된 예측 모델링을 분석해보면, 무손실 JPEG 예측자들인 경우 고정된 예측계수를 사용하여 선형적인 예측이 이루어지므로 복잡성을 갖는 영상자료들에서는 가장 적합한 예측 방법이 될 수 없다. 또한, 비선형

예측자인 MED(median edge detector)와 GAP(gradient adaptive prediction) 경우는 영상의 특성에 따른 내용 기반의 예측과 화소들의 기울기를 추정하여 가중치를 부과하는 형태로 예측이 이루어지기 때문에 선형 예측자들 보다 견고한 예측성능을 가지게 되지만 문자가 포함된 영상, 동질영역(homogeneous region) 분포가 많은 영상들에 대해서는 최고의 적합한 예측 방법이 되지 못한다.

점진적 부호화의 장점을 갖는 다중 분해 모델에서의 예측은 필요에 따라 계속적인 대역 분할이 되기도 하지만 주로 인간의 시각체계와 유사한 저주파 대역에서 주파수 분해능을 높이는 대역분할이 이루어진다. 분할된 대역들은 원 영상에 비해 엔트로피가 낮아져 상관성이 줄어들게 되므로 대역 분할 필터 특성에 따라 압축성능에 영향을 미치게 된다[3-8]. 그러므로 무손실 영상 압축은 화소간의 상관성을 줄이는 예측 과정에 대해 효과적인 모델링만 이루어진다면 다양한 영상자료들에 대해서도 압축성능을 더욱 향상시킬 수 있게 된다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 Quadtree 알고리즘

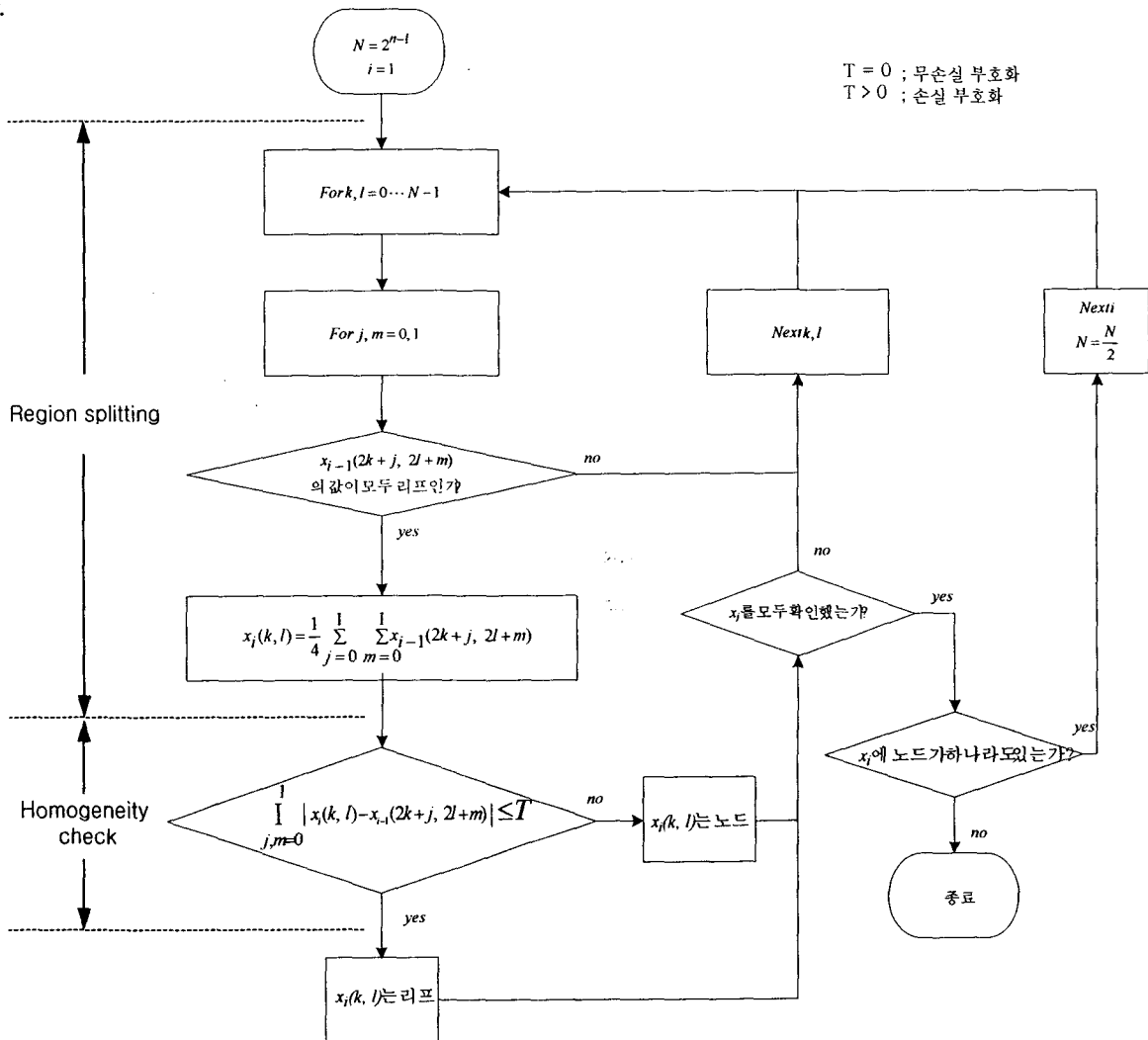
영상을 4개의 쿼드런트(quadrant)로 분리하는 영역 분할 과정과 분할된 영역의 동질성(homogeneity)을 검사하는 과정으로 쿼드트리 생성을 크게 두 과정으로 나눌 수가 있다. 영역 분할의 진행 방향은 하향식(top-down procedure)과 상향식(bottom-up procedure)이 있으며[14] 하향식은 전체의 영역이 하나의 값

으로 표현될 수 있는지 먼저 판단하고, 그렇지 않으면 영역을 같은 크기가 되도록 네 개의 부분블록(sub-block)으로 나눈다. 나누어진 각 부분블록들이 다시 하나의 값으로 표현될 수 있는지 판별하는 과정을 거쳐 더 작은 부분블록으로 나누어 가는 과정을 반복한다. 상향식은 최소 블록 크기(1x1 블록)인 화소에 대해 이웃하는 화소들과 병합할 것인지를 판별해 나가는 방식으로 유효한 부분블록이 동질 영역으로 판별되면, 다시 상위 영역의 블록으로 병합될 수 있는지를 판단하는 반복 과정이며 일반적으로 상향식 진행 절차가 쿼드트리 압축과정에서 효과적인 방법으로 알려져 있다.

(그림1)은 상향식 진행 절차로 영역분할 과정과 동질성 검사과정이 수행되는 쿼드트리 알고리즘을 흐름도로 표현하였다. 영상의 크기는  $2^n \times 2^n$ 으로 가정할 때  $n$ 은 레벨 수이며,  $N$ 은 영상크기인  $2^n$ 이다. 또한,  $X_i(k, 1)$ 은  $(k, 1)$  위치에서의 레벨  $i$ 에 대한 쿼드트리 노드를 나타내고 있으며 레벨  $i$ 의 노드에 대한 지식 노드들은 좌측상단→우측상단→좌측하단→우측하단의 순서로 각각  $X_{i-1}(2j, 2k)$ ,  $X_{i-1}(2j-1, 2k)$ ,  $X_{i-1}(2j+1, 2k+1)$ ,  $X_{i-1}(2j, 2k+1)$ 이 된다. 이와 같이 정의된 (그림1)의 알고리즘은 임계값  $T$ 에 따라 손실 혹은 무손실 분해가 가능하다.

영상을 쿼드트리 알고리즘으로 분해하면 각 레벨에서 분리되는 정보를 갖는 쿼드트리 구조와 영상의 화소 값들인 쿼드트리 데이터가 만들어진다. 쿼드트리 구조는 0과 1의 값들로 구성되며 0은 리프(leaf)노드이고 1은 내부(internal)노드를 나타낸다. 리프노드는 현재의 레벨에서 분해가 종료되며 내부노드는 다음 레벨에서 4개의 쿼드런트로 분해가 이루어지는 것을 의미한다. 쿼드트리 데이터는 각 레벨의 리프노드에 대응되는 영상의 화소 값들이다.

(그림2)은  $2^3 \times 2^3$ 크기와 트리 깊이(depth) 3을 갖는 간단한 이진영상을 무손실 쿼드트리 알고리즘에 적용할 때 쿼드트리 구조와 쿼드트리 데이터 값이 생성되는 과정을 나타낸 것이다. 분해된 영상에 표시된 숫자는 쿼드트리 데이터가 저장되는 순서를 나타낸다. (그림2)의 쿼드트리 표현에서 원형의 노드는 4개의 부분블록(sub-block)으로 분해가 더 이루어지는 것을 의미하는 내부노드이며 사각형의 노드는 더 이상의 분해가 이루어지지 않는 리프노드이다.



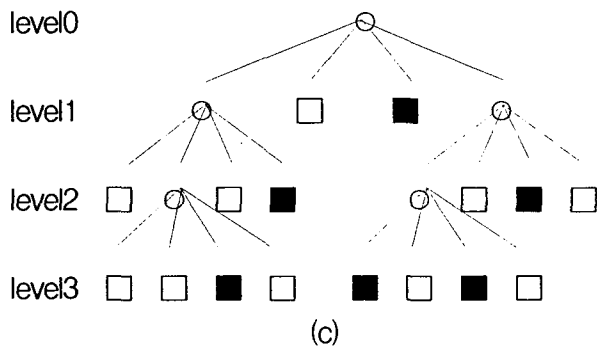
(그림 1) QuadTree 알고리즘 흐름도

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0

1	2	3	
	4	5	
6	7		8
		10	11
		12	13
9		14	15
		16	

영상에 쿼드트리 알고리즘을 적용하여 분해된 영상의 쿼드트리 구조를 나타내었다. 분해된 쿼드트리 구조는 원 영상의 윤곽(ouline)을 나타내는 에지 성분들이며 동질영역의 위치와 크기 정보를 포함하는 중요한 부분이다.

(a) (b)



(a) 이진 Lena 영상

Quadtree	code
structure	1 1001 0100 1000
data	0001001011010010

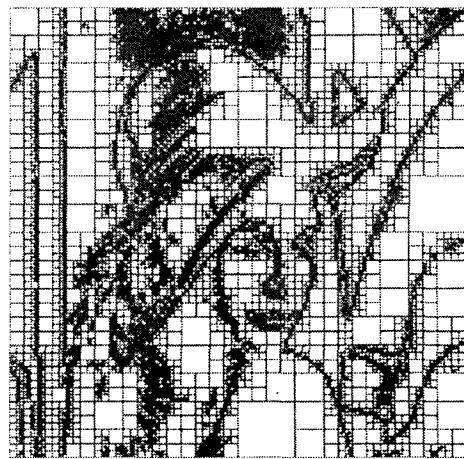
(d)

- (a) 이진영상 예      (b) 분해된 영상  
(d) 쿼드트리 표현    (d) 쿼드트리 부호화

(그림2) 이진영상의 쿼드트리 부호화

(그림2)의 쿼드트리 부호화(Quadtree coding)는 쿼드트리 구조의 부호화와 쿼드트리 데이터의 부호화로 이루어지며 구조는 쿼드트리 표현에서 상위 레벨부터 순서대로 0과 1로 표현되고 쿼드트리 데이터는 저장되는 순서에 따라 리프노드에 대응되는 이진영상의 화소값들로 이루어진다.

(그림3)은 영상 크기가  $2^9 \times 2^9$ 인 이진 lena



(b) Lena 영상의 쿼드트리 구조  
(그림3) 이진 Lena 영상의 쿼드트리 구조

## 2.2 F-변환

F-변환은 영상의 비트평면 분해시에 MSB 영역의 비트 평면들에 대해 더욱 많은 동질영역이 생성되게 한다. 따라서 가역의 F-변환은 식(1), 식(2)와 같다.  $d'(i, j)$ 는 예측 오차값이고  $q$ 는 화소를 표현하는 비트 수이다.

$$d_1(i, j) = F[d'(i, j)] = \begin{cases} 0 & \text{if } d'(i, j) = 0 \\ d'(i, j) - 1 & \text{if } d'(i, j) \leq 2^q - m \\ 2(2^q - d'(i, j)) & \text{if } d'(i, j) > n \end{cases} \quad (1)$$

단,  $m = 1 \dots 2^{q-1}, n = 1 \dots 2^{q-1}$

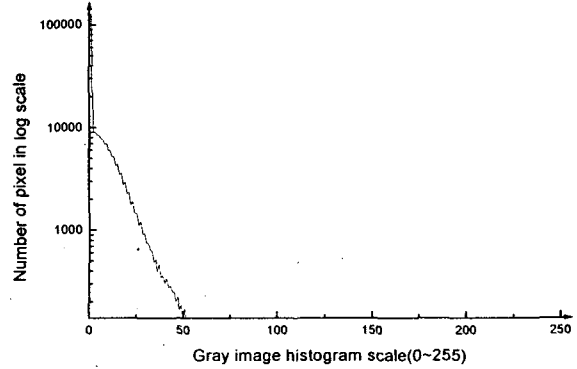
$$d'(i, j) = F^{-1}[d_1(i, j)] = \begin{cases} 0 & \text{if } d_1(i, j) = 0 \\ 2^q - m & \text{if } d_1(i, j) = 2m \\ n & \text{if } d_1(i, j) = 2n - 1 \end{cases} \quad (2)$$

단,  $m = 1 \dots 2^{q-1}, n = 1 \dots 2^{q-1}$

(그림 4)는 CT 영상에 대해 F-변환한 결과 영상과 화소값의 분포를 히스토그램으로 조사한 결과이다.



(a)



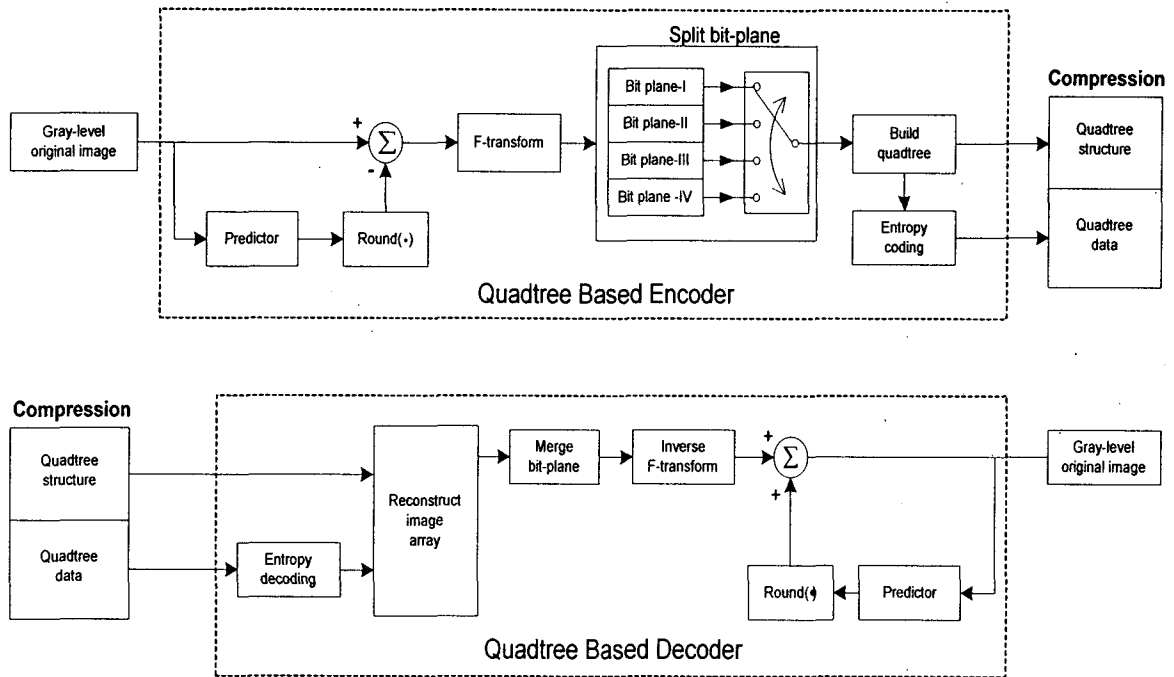
(b)

(그림 4) CT 영상의 F-변환  
(a) F-변환 영상 (b) 히스토그램

## 3. 제안한 무손실 영상압축 방법

본 장에서는 쿼드트리 알고리즘과 F-변환을 이용한 무손실 영상압축 방법을 제안한다.

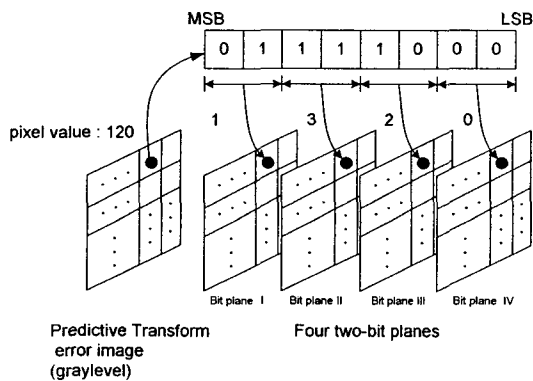
(그림 5)에서 무손실 쿼드트리 알고리즘은 동질영역을 분해(decomposition)하여 쿼드트리 구조를 만들고 동질영역의 대표값들로 쿼드트리 데이터를 구성하여 공간적인 중복성을 제거하는 압축방법이다. 그러나 쿼드트리 알고리즘을 그레이 영상에 직접 적용하면 동질영역들이 거의 존재하지 않는 복잡성을 가지고 있어 압축 성능의 개선을 기대할 수 없다. 따라서 압축 성능을 개선하기 위해 전처리 과정을 거쳐 무상관성과 동질영역이 형성되도록 하였다. 영상내 화소들의 상관성을 제거하기 위해 예측자로 예측오차를 구하였으며, F-변환[10]을 수행하여 분산된 예측오차들의 분포를 최



(그림 5) 제안한 무손실 영상압축 방법

대값 주위에 집중되도록 재구성 하였다.

F-변환된 영상에 대한 비트평면 구성은 (그림 6)과 같이 구성하였다.



(그림 6) 비트평면 구성 방법

즉, 그레이 레벨을 갖는 변환 예측오차 영상에 대해 각 화소들을 비트 단위로 표현하고 상위 비트부터 차례로 2비트씩 묶어 4진 영상

을 갖도록 하였으며, 이와같이 구성된 비트 평면은 F-변환으로 동질영역이 최적으로 형성되며 비트 평면간 상관성 제거[13]도 가장 효율적으로 이루어 지게 된다.

#### 4. 실험 결과

본 장에서는 무손실 영상 압축의 성능 평가를 위하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 영상은 크기가 512×512이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 CT, MRI, US, Lena, Sailboat, Peppers 영상이다. 압축성능 분석에 있어서는 PC펜티엄 III(CPU clock 800MHz) 환경에서 압축율과 수행시간을 분석하였다.

영상의 압축성능을 평가하는 압축율은 식(3)

$$bpp = \frac{8 \times \text{compressed file size}}{\text{original file size}} \quad (3)$$

과 같이 각 화소를 표현하는데 필요한 평균 비트수를 bpp(bit per pixel)로 구하였다. 그리고 처리속도는 압축 방법들에 대한 처리과정의 효율성과 간결성을 나타내는 척도로써 각 루틴별로 수행시간을 측정하였다.

쿼드트리를 이용하여 제안된 GAP+F+QT 방법의 압축성능 분석은 기존의 무손실 영상 압축의 표준안인 L-JPEG(모드 "6"), LOCO-I(low complexity, image coding) 그리고 CALIC(context based, lossless, image coding) 압축방법을 비교 대상으로 하였다. 분석 결과 제안한 방법들이 기존의 방법들보다 동질영역의 분포가 많은 의료 영상(CT, MRI, US)에서 일반적으로 압축율이 높게 분포하고 있으며, 복잡성을 갖는 Lena, Sailboat, Peppers 영상에서는 유사한 압축율 분포를 하고 있다. 이는 제안한 방법들이 동질 영역 생성 여부에 따른 쿼드트리 분해에 기반하기 때문이다.

표 1. 여러 실험 영상들에 대한 압축율 비교

Test image	Conventional method (bpp)			Proposed method (bpp)
	L-JPEG (mod 6)	LOCO-I	CALIC	
CT	3.419	3.321	3.336	2.917
MRI	3.396	3.231	3.324	2.996
US	3.442	3.131	3.259	2.842
Lena	4.564	4.554	4.401	4.496
Sailboat	5.500	5.382	5.251	5.413
Peppers	5.064	4.955	4.745	4.939
Average	4.232	4.095	4.053	3.933

표 1은 실험 영상들에 대해 기존의 방법과 제안한 방법의 압축율을 구한 것이다. 표 1에 의하면 GAP+F+QT 방법은 평균적으로 기존의 압축방법보다 약 0.12 ~ 0.27bpp 정도 압

축성능이 개선되었다. 이는 기존의 방법에 비해 파일 크기가 약 27Kbyte ~ 70Kbyte 정도 감소되는 것을 의미한다. 특히, 동질 영역들을 많이 포함하고 있는 CT, MRI, US 영상은 전체적으로 기존의 방법보다 약 0.29 ~ 0.60bpp 정도 개선되었다. 즉, 제안한 방법들이 쿼드트리 분해에 기반하고 있어 동질영역 생성 여부에 따라 압축성능이 결정되기 때문이다.

표 2는 256Kbyte의 파일 크기를 가지는 실험영상들에 대해 제안한 방법의 압축과 복원 부분에 대한 처리 시간을 각 루틴별로 측정하여 분석한 것이다.

표 2. 실험 영상들에 대한 압축/복원 수행시간

Processing time	Test image	Conventional method (sec)			Proposed method (sec)
		L-JPEG (mod 6)	LOCO-I	CALIC	
Compre- -ssion	CT	0.62	0.73	0.88	1.44
	MRI	0.63	0.76	0.89	1.45
	US	0.62	0.79	0.88	1.31
	Lena	0.63	0.77	0.89	1.59
	Sailboat	0.63	0.95	0.89	1.81
	Peppers	0.62	0.78	0.89	1.63
	Average	0.62	0.79	0.88	1.53
Decompre- -ssion	CT	0.52	0.64	0.80	1.41
	MRI	0.53	0.72	0.82	1.43
	US	0.52	0.73	0.81	1.30
	Lena	0.53	0.72	0.82	1.57
	Sailboat	0.53	0.85	0.82	1.76
	Peppers	0.52	0.71	0.81	1.49
	Average	0.52	0.72	0.81	1.49

표 2에서 알 수 있듯이 GAP+F+QT 방법은 압축시 L-JPEG(mode 6) 보다 0.91초, LOCO-I 보다 0.74초 그리고 CALIC 보다 0.65초 증가하였다. 압축된 영상의 복원에서는 L-JPEG(mode 6) 보다 0.97초, LOCO-I 보다 0.77초 그리고 CALIC 보다 0.68초 증가하였다.

그 이유는 제안한 방법들이 F 변환, 비트평면 분해 후 퀴드트리 적용 등의 과정 추가로 인한 오버헤드 시간이 부과되기 때문이며, 압축 성능과는 상반되는 결과를 보이고 있다.

## 5. 결론

본 논문은 퀴드트리 알고리즘을 그레이 레벨 영상에 적용하여 무손실 압축성능을 개선하는 방법을 제안하였다.

압축성능 향상을 위해 제안된 GAP+F+QT 방법은 압축성능에 있어서 기존의 무손실 JPEG 표준안, LOCO-I 그리고 CALIC 방법보다 0.12 ~ 0.27bpp정도 향상되는 것을 확인하였다. 특히, 동질영역들을 많이 포함하는 CT, MRI, US 영상에 대해서는 전체적으로 기존의 방법보다 약 0.29 ~ 0.60bpp정도 향상되었다. 그러나 처리 시간은 기존의 무손실 JPEG 표준안, LOCO-I 그리고 CALIC 방법보다 약 0.65초 ~ 0.91초 정도 증가되어 압축성능과는 상반되는 결과를 보였다.

향후 연구과제는 F-변환, 비트평면 분해 후 퀴드트리 적용 등의 계산량 추가로 인한 오버헤드 시간이 부과되어 증가된 처리 시간을 단축시킬 수 있는 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- [1] M. J. Wenberger, G. Seroussi, and G. saioiro, "LOCO-I : a lowcomplexity, context based, lossless image compression algorithm," *IEEE Computer Society Press*, pp. 140-149, Mar. 1996.
- [2] X. Wu, "Lossless compression of continuous-tone images via context selection, quantization, and modeling," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 656-664, May 1997.
- [3] A. Said and W. A. Pearlman, "A New, Fast, and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees," *IEEE Trans. on Circuit and System for Viedo Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 243-250, June 1996.
- [4] K. Komatsu, K. Sezaki, and Y. Yasuda, "Reversible Subband Coding Images," *Trans. IEICE Vol. J78-D-II*, no. 3, pp. 429-436, Mar. 1995.
- [5] E. L. Schwartz, A. Zandi, and M. Boliek, "Implementation of compression with reversible embedded Wavelets," *RICOH Technical report*, no. 22, pp. 61-70, Jul. 1996.
- [6] M. Burrows and D. J. Wheeler, "A Block-sorting Losless Data Compression Algorithm," *SRC Research Report 124, Digital Systems Research Center, Palo, Alto*, May 1994.
- [7] K. s. Ng and L. M. cheng, "Sub-block interchange for lossless image compression," *IEEE Trans. on consumer Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 236-242, Feb. 1999.
- [8] 윤정오, 고승권, 성우석, 황찬식, "대역분할과 GAP를 이용한 BWT 기반의 무손실 영상압축," 한국통신학회논문지 제9권, 제 26호, pp.1259-1266, 2001년 9월.
- [9] Xiaobo Li, Jason Knipe, and Howard Cheng, "Image compression and



encryption using tree structure," *Pattern Recognition Letter* vol. 18, pp. 1253-1259, 1997.

[10] 윤정오, 성우석, 황찬식, "실시간 처리를 위한 쿼드트리 기반 무손실 영상압축 및 암호화," 한국정보처리학회논문지 제8-C 권, 제5호, pp. 525-534, 2001년 10월.

[11] E. Shusterman and M. Feder, "Image Compression via Improved Quadtree Decomposition Algorithms," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 3, no. 2, pp. 207-215, Mar. 1994.