

DCT를 이용한 영상압축 알고리즘에 관한 연구

한동호 · 이준노 · 정석현 · 이명호

= Abstract =

A Study of Image Compression Algorithm using DCT

Dong-Ho Han, Jun-No Lee, Suk-Hyun Jung, Myoung-Ho Lee

This paper describes the system that implement a JPEG(Joint Photographic Experts Group) algorithm based on DCT(Discrete Cosine Transform) using CCD Camera, Image Grabber, and IBM PC. After cosine transforms the acquired image, this algorithm quantize and entropy encode the coefficients by JPEG code table. The coefficients are reconstructed by the Huffman decoding, dequantized procedure, and inverse cosine transform. The results obtained from the implemented system are as follows.

- (1) For efficient storage and easy implementation, this system save image as a PCX format.
- (2) This system get 7:1 compression ratio(3.8 RMSE value) without large distortion.
- (3) With a low pass filtering, this system eliminate high frequency components and get 20% enhanced compression ratio.
- (4) This system enhance the reconstructed image using histogram modeling.

Key Words : DCT, JPEG, Image Compression, histogram modeling

1. 서 론

최근 10여년 동안의 디지털 분야에서의 눈부신 기술 발전은 디지털 영상의 응용 분야를 확대시켰다. 그러나 이러한 응용 기술들은 높은 비용 때문에 응용 범위가 제약될 수 밖에 없었다. 많은 분야에서 디지털화된 영상을 사용하는데 제약이 되는 것은 영상을 디지털로 표현하는데 필요한 막대한 데이터량 때문이다. 텔레비전의 해상도를 갖는 칼라 정지 화면을 디지털화 하는데에 1,000,000 Byte

정도의 용량이 필요하고, 35mm 필름의 해상도에 대해서는 그 10배의 데이터량이 요구된다[1]. 따라서 영상획득이나 표시장치를 경제적으로 설치할 수 있어도 영상저장이나 송수신시의 높은 비용때문에 디지털 영상의 응용은 쉽지가 않다. 그래서 많은 사람들이 영상 압축 기법을 연구해 왔지만, 디지털 영상의 응용이 활발해지기 위해서는 영상 압축기법만 제공되면 되는 것이 아니다. 영상 압축을 위한 국제 표준이 제정되어, 이를 만족시키는 영상 장치들이 제작되어야만 영상장치들 사이에 호환성을 유지할 수 있다. 이렇게 함으로써 보급을 대중화할 수 있고 대량생산을 통해 생산비용을 낮춤으로써 또한 새로운 응용을 창출할 수 있다.

<접수 : 1993년 1월 12일>

연세대학교 전기공학과

Yonsei Univ Dept of Electrical Engineering

이러한 새로운 응용분야의 창출을 가능하게 한 디지털 영상기술은 신호처리기술과 VLSI기술이 혼합된 영상압축기술이 그 핵을 이루고 있다. 일반 데이터와는 달리 영상 신호에는 상당량의 중복성 정보가 포함되어 있어 이들을 제거하여도 원래 영상의 화질에 영향을 미치지 않는다는 특성을 이용하는 영상압축기술은 전송에 필요한 통신선로의 대역폭 감소문제 및 정보저장에 필요한 기억용량의 감축 문제를 동시에 해결하기 때문에 디지털 영상을 사용할 때 발생하는 대부분의 경제성 문제를 해결하는 핵심기술이 된다.

최근까지 수년간 표준화작업이 JPEG(Joint Photographic Experts Group)에 의해서 진행되어왔다. JPEG은 국제 표준화 기구인 CCITT와 ISO에 의해 정의된 정지영상압축에 관한 국제표준으로, 이진영상(binary image)을 제외한 그레이레벨 영상이나 컬러 영상 등 거의 모든 2차원 정지영상을 압축하기 위해 필요한 사항을 명시하고 있다. 그래서 통상적으로 이 표준화안을 JPEG이라고 부른다. JPEG 위원회는 제안된 여러가지 영상 압축기법들 중에서 최종적으로 이산여현변환(Discrete Cosine Transform: DCT)를 기반으로 하는 영상압축기법을 선정하였다[2]. 그래서 본 논문에서는 JPEG에서 표준화안으로 결정한 DCT를 기반으로 하는 영상압축알고리즘을 사용하여 CCD 카메라로 얻은 영상을 획득한 후 압축, 복원하고자 한다.

2. 이산여현변환

2.1 이산여현변환의 압축성능

DCT는 영상압축의 성능을 떨어뜨리는 고주파 성분의 발생을 억제하는 특징을 가지고 있다. 입력 신호 $x(n)$ 이 $0 \leq n \leq N-1$ 의 범주에서는 0의 값을 갖는 N 개의 시퀀스(N -point sequence)라 하자. N 이 4일 때의 $x(n)$, $y(n)$ 과 주기 시퀀스(periodic sequence) $\bar{x}(n)$, $\bar{y}(n)$ 의 보기가 그림 1에 있다. DFT의 불연속점들은 변환의 능률을 많이 저하시키는 고주파 성분들을 만든다. 이것은 대부분의 영상신호들은 저주파수 성분을 가지고 있기 때문이다. 불연속점들을 제거한 DCT는 쓸데없는 고주파 성분들의 발생이 없기 때문에 높은 압축율을 가진다[3,4]. 변환의 성능은 압축되는 에너지 비율로 표현되는데, 최적변환인 KLT변환 다음으로 DCT변환의 성능이

우수하다. 하지만 KLT변환은 구현하는데 어려움이 많기 때문에 영상부호화에는 DCT변환이 가장 적합한 변환이다.

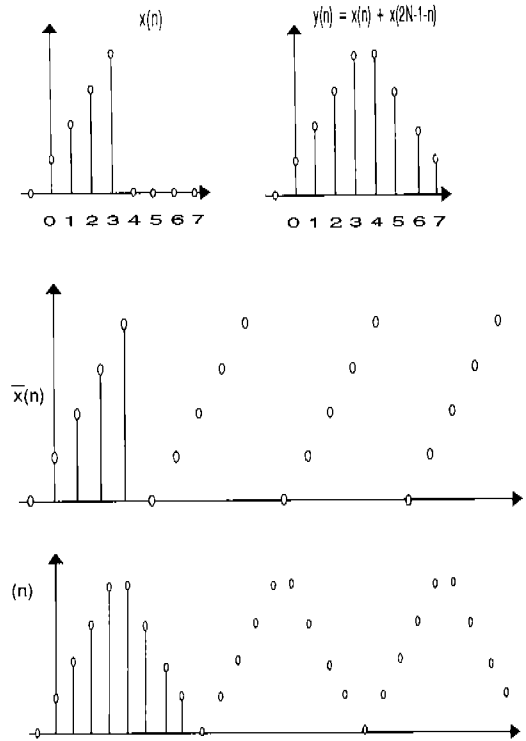


그림 1 $N=4$ 일 때의 $x(n)$, $y(n)$, $\bar{x}(n)$, $\bar{y}(n)$
 Fig. 1 $x(n)$, $y(n)$, $\bar{x}(n)$, and $\bar{y}(n)$ when $N=4$

2.2 이산여현 변환의 계산

$x(n)$ 의 여현변환(cosine transform)은 $x(n)$ 의 푸리에변환(Fourier transform) $X(\omega)$ 의 실수부로 생각할 수 있다[5]. 이것은 $x(n)$ 의 even part인 $x_e(n) = \frac{x(n) + x(-n)}{2}$ 의 푸리에 변환과 같다. 그러므로 $x(n)$ 의 여현 변환은 $x(n)$ 을 우함수 전개(even extension)한 후 푸리에변환을 통하여 얻어질 수 있다. 그래서 $x(n)$ 의 우함수 전개인 $2N$ 개의 시퀀스($2N$ -point sequence) $y(n)$ 을 이끌어내어 $x(n)$ 의 N -point DCT $C_x(K)$ 를 얻는다[3-5].

DCT 계수를 구하는 과정을 아래에 도식적으로 나타내었다.

$$N\text{-point } x(n) \rightarrow 2N\text{-point } y(n) \rightarrow \text{DFT} \rightarrow 2N\text{-point } Y(k) \rightarrow N\text{-point } C_x(k)$$

3. DCT압축 알고리즘의 구현

그림 2는 그레이 스케일(gray scale)의 DCT압축 알고리즘의 인코더(encoder)와 디코더(decoder)를 나타낸다. 기본적으로 DCT 영상압축기법은 8×8 영상데이터 블록들을 생성해서 처리한다.

인코더는 입력영상을 8×8크기의 블록으로 나누어주는 세그멘테이션과정을 거친후 DCT변환, 양자화, 허프만 부호화의 단계를 거치고 디코더에서는 허프만 디코딩, 역양자화, IDCT변환을 수행하여 영상을 복원한다.

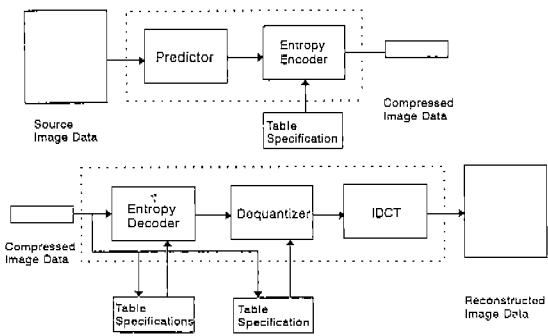


그림 2 DCT를 기반으로 하는 인코더와 디코더
Fig. 2 DCT based encoder and decoder

3.1 8×8 FDCT와 IDCT

압축 부호화기의 입력으로서 8×8의 64화소 샘플들이 하나의 블록으로 모아지고 얻어진 8×8 화소블록들은 정방향 DCT에 의해 변환된다. 반면에 복호화기에서는 8×8 재현 영상블록을 얻기 위해 IDCT가 계산된다.

DCT와 IDCT의 계산식은 아래와 같다.

DCT :

$$S_{uv} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 s_{yx} \frac{\cos(2x+1)u\pi}{16} \frac{\cos(2y+1)v\pi}{16}$$

IDCT :

$$s_{yx} = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C_u C_v S_{uv} \frac{\cos(2x+1)u\pi}{16} \frac{\cos(2y+1)v\pi}{16}$$

where :

$$\begin{cases} C_u C_v = \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for } u, v = 0 \\ C_u C_v = 1 & \text{for otherwise} \end{cases}$$

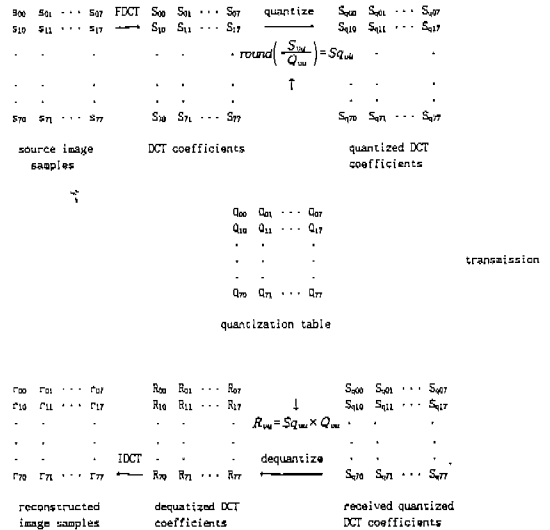


그림 3 8×8샘플 블록과 DCT계수들과의 관계
Fig. 3 Relationship between 8×8 block samples and DCT coefficients

각 8×8 영상블록은 2개의 공간차원의 함수인 64화소 이산신호이다. DCT는 이러한 이산신호를 입력으로 취하여 64개의 신호로 분리하여 출력한다. DCT계수는 입력신호의 주파수 성분을 64개의 2차원 공간 주파수 성분으로 나타낸다. 따라서 DCT계수들은 64화소 입력영상에 따라 결정되는 독특한 주파수 성분의 표현이라고 볼 수 있다. x=0, y=0일 때의 DCT계수는 양차원으로 0주파수를 나타내기 때문에 “DC계수”라하고 나머지 63개이 계수들은 “AC계수”라 불리운다. 그런데 영상신호들은 보통 급격히 변화하지 않으므로 대부분의 에너지가 저주파수 성분에 모이게된다. 이것이 변환 부호화를 영상압축에 이용하는 이유이다. 그러나 DCT 자체로서는 영상압축효과를 얻는 것이 아니고 단지 원영상블록의 표현방법을 공간 영역에서 주파수 영역으로 바꾸었고, 결과적으로 신호에너지를 제한된 몇 개의 DCT계수에 집중시키게 되었다는 것이다. 한편, 복호화기에서 IDCT는 지금까지의 처리를 역으로 한다. 즉, 64개의 DCT계수를 취하여 역변환함으로써 64개의 공간영역 화소들을 재현한다.

3.2 양자화

DCT의 출력인 64개의 계수들은 64개의 값을 갖는 양자화 테이블에 의해서 각각 동일한 양자화를 거치게 된다. 구체적으로 테이블의 값들은 정수로서 범위는 1에서 255까지인데 각각의 DCT계수들에 대한 양자화 스텝크기를 나타낸다. 양자화과정을 거치는 목적은 실질적인 압축효과를 얻고자 함인데 구현하려고 하는 영상품질에 알맞는 정확도의 DCT계수를 결과로서 갖게 된다. DCT 압축알고리즘의 주요 손실 원인은 양자화 과정에 있다. 이것은 DCT계수의 양자화가 양자화 스텝 크기로 나눈후에 결과를 가장 가까운 정수로 치환함으로써 이루어지기 때문이다. DCT계수 $F(u,v)$ 와 양자화된 $F^Q(u,v)$ 와의 관계는 다음과 같다.

$$F^Q(u,v) = \text{Integer Round} \frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \quad (3-2)$$

여기에서 $Q(u,v)$ 는 양자화 스텝 크기로서 테이블로부터 얻어진다. 역양자화는 지금까지의 과정의 역이므로 다음과 같이 보여진다.

$$F(u,v) = F^Q(u,v) \times Q(u,v) \quad (3-3)$$

$Q(u,v)$ 의 값이 크면 클수록 0으로 되어지는 양자화된 DCT계수들이 많아지므로 압축율은 증가함을 쉽게 알 수가 있는데 문제는 시각적으로 영상화질의 저하를 느끼지 않는 범위에서 압축율을 결정해야 하는 것이다. 참고로 아래에 양자화 테이블을 보였다. 고주파 영역인 오른쪽 아래로 갈수록 더 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 필요한 정보가 대부분 저주파수 영역에 집중되어 있기 때문이다. 즉 저주파 영역을 더욱 강조하기 위해서이다.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

그림 4 Luminance 양자화 테이블

Fig. 4 Luminance quantization table

3.3 ZigZag 재배열

양자화한 후에 DC계수는 63개의 AC계수와 분리되어 독립적으로 처리된다. DC계수는 한 블록 내의 64개 화소들의 평균값이므로 일반적으로 인접블럭의 DC값들과 큰 상관관계가 있어서 서로간의 차이를 부호화하는 것이 더 효율적이다. 또한 나머지 63개의 AC계수들은 그림 4에서와 같이 ZigZag 재배열된다. 이렇게 함으로써 저주파수 영역에 분포하는 0이 아닌 AC계수들을 주파수 크기대로 함께 모이게 하여 엔트로피 부호화를 통해 압축율을 증가시킨다.

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

그림 5 양자화된 DCT계수들의 ZigZag 재배열

Fig. 5 ZigZag Scan of quantization DCT coefficients

3.4 엔트로피 부호화

DCT 압축 알고리즘에서 부호화과정의 마지막은 엔트로피 부호화인데, 이 과정을 통해서 추가로 압축효과를 얻는다. 양자화된 DCT계수들의 통계적인 특성을 부호화에 이용하여 자주 나타나는 계수값들에 대해서는 짧은 코드워드를 부여하고, 흔치 않은 경우에는 긴 코드워드를 mapping함으로써 계수들을 표현하는데 필요한 평균 데이터량을 감축하는 것이다. JPEG에서 사용하는 엔트로피 부호화는 개선된 허프만 부호화(Modified Huffman Coding)와 Run-Length 부호화를 결합한 형태이다. 이 과정은 두단계인데 우선 Zigzag 순서로 배열된 DCT양자화 계수들로부터 심벌 시퀀스를 구성한 다음, 그 심벌들을 데이터 열로 바꾸는 것이다.

4. 실험 및 결과고찰

4.1 실험

본 연구에서는 JPEG 압축기법을 CCD 카메라와 DT2851 이미지 그래픽을 IBM-PC와 연결하여 그

림 6에서와 같이 구성하였다. 영상 데이터를 효율적으로 저장, 관리하기 위해 PCX형태로 변환한 후, JPEG 압축기법을 적용하여 영상을 압축, 복원하였다. 압축알고리즘의 전체 흐름도는 그림 7과 같다.

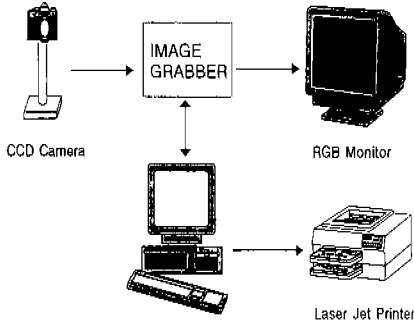


그림 4-1 실험 시스템의 구성

그림 6 실험 시스템의 구성

Fig. 6 Construction of experiment system

실험에 사용된 영상 데이터 LENA 영상에서 8 × 8 sample 블록의 픽셀값은 아래와 같다.

139	144	149	153	155	155	155	155
144	151	153	156	159	156	156	156
150	155	160	163	158	156	156	156
159	161	162	160	160	159	159	159
159	160	161	162	162	155	155	155
161	161	161	161	160	157	157	157
162	162	161	163	162	157	157	157
162	162	161	161	163	158	158	158

식(3-1)을 사용하여 DCT변환을 한 블록은 다음과 같이 주어진다.

1260	-1	-12	-5	2	-2	-3	1
-23	-17	-6	-3	-3	0	0	-1
-11	-9	-2	2	0	-1	-1	0
-7	-2	0	1	1	0	0	0
-1	-1	1	2	0	-1	1	1
2	0	2	0	-1	1	1	-1
-1	0	0	-1	0	2	1	-1
-3	2	-4	-2	2	1	-1	0

위의 DCT계수 중에서 제일 위의 왼쪽 계수는 이 블록의 평균의 8배정도에 해당한다. 즉, 블록 에너지의 대부분이 몇 개의 저주파수 계수에 집중

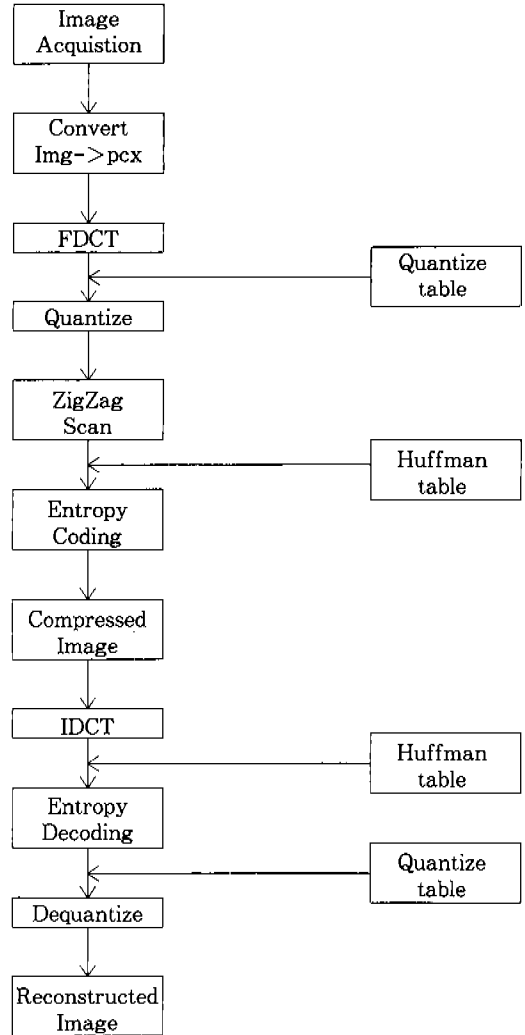


그림 7 실험 시스템의 전체 흐름도

Fig. 7 Flow chart of experiment system

되어있다. 이 DCT계수들은 양자화 표에 의해 양자화되는데 부호화된 영상의 bit rate는 이 양자화 표의 값을 변화시킴으로써 조절할 수 있게된다.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

결과적으로 양자화된 계수, $F^q(u,v)$ 는 식(4-1)에

의해 주어진다.

$$F^Q(u,v) = Integer\ Round\left(\frac{F(u,v)}{Q(u,v)}\right) = \frac{F(u,v) + \frac{Q(u,v)}{2}}{G(u,v)} \quad (4-1)$$

양자화된 계수들은 다음과 같다.

79	0	-1	0	0	0	0	0
-2	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

여기서 보면 양자화과정에서 많은 0계수가 만들어진 것을 볼 수 있다. DCT계수들은 Zig Zag scan에 의해 주파수 크기 순으로 아래와 같이 정렬된다.

[79 0 -2 -1 -1 -1 0 0 -1 EOB]

DC값과 AC계수들은 허프만 부호화한다. 앞에서 말했듯이 DC값은 직접 부호화되지 않고 앞 블록 DC값과의 차를 부호화된다. 우리가 얻은 데이터에서 첫번째 0이 아닌 값을 갖는 AC계수는 -2이다. 아래 표를 참조하면 -2는 category에 해당한다. 이것은 허프만 표를 참조하면 6 bit의 허프만 코드워드 111001에 해당한다. 이 코드 뒤에는 sign bit가 첨가되고(음수는 0) 또 k-1 bit가 category에서 이 계수의 크기를 표시하기 위해 첨가된다. 이런 방법으로 얻은 코드워드는 다음과 같다.

[DC difference Huffman codeword/11100101/000/

표 1 AC계수 코드표

Table 1 AC coefficients code table

Category	AC Coefficient Range
1	-1, 1
2	-3,-2,2,3
3	-7,...,-4,4,...,7
4	-15,...,-8,8,...,15
5	-31,...,-16,16,...,31
6	-63,...,-32,32,...,63
7	-127,...,-64,64,...,127
8	-255,...,-128,128,...,255
9	-511,...,-256,256,...,511
10	-1023,...,-512,512,...,1023

000/000/110110/1010]

DC difference Huffman codeword에 8bit가 쓰이면 8×8 블록을 부호화하기 위해 총 35 bit가 쓰였다. 그러면 bit rate는 35 bits/64 pixels=0.55(Bit per Pixel)이다.

Zero Run	Category	Code length	Codeword
0	1	2	00
0	2	2	01
0	3	3	100
0	4	4	1011
0	5	5	11010
0	6	6	111000
0	7	7	1111000
.	.	.	.
1	1	4	1100
1	2	6	111001
1	3	7	1111001
1	4	9	111110110
.	.	.	.
2	1	5	11011
2	2	8	11111000
.	.	.	.
3	1	6	111010
3	2	9	111110111
.	.	.	.
4	1	6	111011
5	1	7	1111010
6	1	7	1111011
7	1	8	11111001
8	1	8	11111010
9	1	9	111111000
10	1	9	111111001
11	1	9	111111010
.	.	.	.
End of Block	EOB	4	1010

역양자화는 지금까지 과정의 역이다. 즉 $F(u,v) = F^Q(u,v) \times Q(u,v)$

역양자화과정을 거친 계수들은 IDCT를 거쳐 복원된다. 복원된 블록은 아래와 같다.

144	146	149	152	154	156	156	156
148	150	152	154	156	156	156	156
155	156	157	158	158	157	156	155
160	161	161	162	161	159	157	155
163	163	164	163	162	160	158	156
160	161	162	162	162	161	159	158
158	159	161	161	162	161	159	158

원영상과 복원 영상의 압축에 의해 생긴 에러는 $e(j,k) = f(j,k) - \hat{f}(j,k)$ 로 계산되고, 오차블럭은 다음과 같다.

-5	-2	0	1	1	-1	-1	-1
-4	1	1	2	3	0	0	0
-5	-1	3	5	0	-1	0	1
-1	0	1	-2	-1	0	2	4
-4	-3	-3	-1	0	-5	-3	-1
-2	-2	-3	-3	-2	-3	-1	0
4	3	0	0	1	-3	-1	0

4.2 결과고찰

사진 1, 2는 CCD Camera를 이용하여 획득한 실험영상을 본 논문의 압축알고리즘에 의해 압축, 복원한 영상들이다.

사진 1과 사진 2에서 각각의 파일크기, 압축비, RMSE값을 표 2에 보였다.

JPEG 압축기법을 적용하기 전에 저역통과 필터링을 통하여 미리 고주파 성분을 제거한 결과 필터링을 거치지 않을때의 압축비보다 약 20% 향상된 압축성능을 얻었다. 이 결과를 표 3에 보였다.

최근에는 기존의 영상압축 시스템에 벡터양자화 기법을 적용하여 보다 성능이 우수한 결과를 얻고 있다. 본 논문에서 구현한 JPEG압축 알고리즘에 벡터양자화기법(vector quantization)을 도입하면, 보다 좋은 결과를 기대할 수 있을 것이다.

표 2 복원된 영상의 비교

Table 2 Comparison of reconstructed images

화 일	크기(byte)	압축비	RMSE
HDH1. IMG	7270	9:1	4.23
HDH2. IMG	11138	6:1	3.98
HDH3. IMG	15488	4:1	2.47
LENA1. IMG	2487	6:1	3.80
LENA2. IMG	3887	4:1	2.26
LENA3. IMG	6441	2:1	2.15



사진 1 복원된 영상(1)

Photo. 1 Reconstructed images(1)



사진 2 복원된 영상(2)

Photo. 2 Reconstructed images(2)

표 3 저역통과 필터링한 영상의 비교

Table 3 Comparison of low pass filtering images

화 일	크기(byte)	압축비	비 고
HDH3. IMG	15488	4:1	필터링전 영상
HDH3. LOW	12390	5:1	필터링후 영상

5. 결 론

본 논문에서 JPEG에서 영상압축 표준안으로 제안한 DCT를 기반으로 하는 알고리즘을 CCD 카메라와 DT2851 이미지 그래픽으로 획득하여 IBM PC로 처리하는 시스템을 구현하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 효율적인 영상의 저장과 관리를 위해 CCD Camera와 이미지 그래픽으로 획득한 영상을 PCX 형태로 구축하였다.
2. DCT를 기반으로하는 압축 알고리즘을 적용한 결과 7:1의 압축비를 큰 왜곡없이 얻었고 그때의 평균자승오차(RMSE)값은 3.8이었다.
3. 저역통과 필터링을 통해 고주파 성분을 미리 제거하여 20% 향상된 압축비를 얻었다.
4. 압축한 후 복원된 영상은 히스토그램 모델링기법을 사용하여 개선할 수 있었다.

참고문헌

- 1) Discrete Cosine Transform, Rao Yip. 1987.
- 2) International Standards for Digital Compression and Coding of Still Images and Motion Videos,

- ISL-GR-9101, Nov. 1991.
- 3) J.S.Lim: Two-dimensional Signal and Image Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990.
- 4) Majid Rabbani, Paul W. Jones: Digital Image Compression Techniques. 1990.
- 5) R.C.Gonzalez and P. Wintz: Digital Image Processing. Addison Wesley, Reading, MA. 1992
- 6) Craig A. Lindley: Practical Image Processing John Wiley & Sons, INC 1991.
- 8) M.J.Narasimha and A.M.Peterson, "On the computation of the discrete cosine transform", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-26, pp.934-946, June 1978.
- 9) Martin Vetterli, "Simple FFT and DCT algorithms with reduced number of operations", Signal Processing Vol. 6. 1984
- 10) Natarajan Ahmed: Discrete-Time signals and systems Reston Publishing Company, INC. 1983
- 11) C language algorithms for digital signal processing, Emblee Kimble, Prentice-Hall. 1989
- 12) The fast Fourier Transform and its applications, Brigham, Prentice-Hall. 1988
- 13) 의료영상 정보 시스템의 구축, 김형근, 국내외 한국과학 기술자 회의 추계 Workshop. 1992
- 14) 장국현, 김용만, 김상진, 박래홍, 김은기, 이명호, "흉부 방사선 영상의 흉부영역 자동검출에 관한 연구" 의공학회지, Vol. 10, No. 3, pp.331-341, 1989.