

대역분할과 GAP를 이용한 BWT기반의 무손실 영상 압축

정회원 윤 정 오*, 준회원 고 승 권**, 성 우 석**, 정회원 황 찬 식**

Burrows-Wheeler Transform based Lossless Image Compression using Subband Decomposition and Gradient Adjusted Prediction

Jeong-oh Yoon* *Regular Member*, Seung-kwon Ko**, Woo-seok Sung** *Senior Members*,
Chan-sik Hwang** *Regular Member*

요 약

최근에 텍스트 압축에 뛰어난 성능을 가지는 블록 정렬 알고리즘인 BW변환(Burrows-Wheeler Transform)이 소개되었다. 그러나 영상 압축에 BW변환을 직접 적용하면 영상과 텍스트가 갖는 상관성이 서로 다르기 때문에 만족할 만한 압축효과를 기대할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 가역의 L-SSKF(Lossless Symmetric Short Kernel Filter)를 사용한 계층적 대역분할로 영상화소 사이의 상관성을 줄인 후 BW변환을 하는 방법과 GAP(Gradient Adjusted Prediction)를 사용하여 LL 대역에 많이 분포된 상관성을 줄인 후 BW변환 하는 방법을 제안한다. 실험결과 제안한 방법이 기존의 무손실 JPEG 표준안과 LZ 기반의 압축방법(PKZIP)등에 비해 압축성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, it has been shown that block-sorting algorithm which is called Burrows and Wheeler Transform(BWT) gives a good performance in text compression techniques. However, if we directly apply it to image compression, the performance is not good because the correlative property of image is different from that of text. So, we propose a new lossless image compression algorithm where we use BWT in hierachically decomposited domain by using reversible Lossless Symmetric Short Kernel Filter(L-SSKF). To obtain more compression ratio, we use Gradient Adjusted Prediction(GAP) in decomposited LL-band. Experimental results show that the proposed method has better performance than lossless JPEG and LZ-based compression method(PKZIP)

I. 서 론

무손실 압축은 의료 영상, 위성 영상, 고정밀 영상 해석, 예술작품의 보존 등에 적용하기 위해서는 필수적으로 요구되고 있다. 그러나 방대한 영상 데이터를 제한된 전송채널의 대역폭이나 저장 용량에 효과적으로 처리하는 데에는 어려움이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 무손실 압축에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 무손실 압축은 무상관성(Decorrelation)과 엔트로피 부호화(Entropy coding)

라는 두 개의 중요한 처리 단계를 포함하고 있으며 무상관성은 일반적으로 예측(Prediction)에 기반을 두고 있다. 예측에는 순차적(Sequential) 모델과 다중 분해(Multiresolution) 모델 형태로 이루어진다. 순차적 모델에는 선형 예측자(Predictor)를 사용하는 무손실 JPEG(L-JPEG)^[1] 표준안이 소개되어 있지만 고정된 계수들의 사용으로 인하여 다양한 특성을 갖는 영상들에는 적용적이지 못하다. 이를 개선하기 위하여 LOCO-I 알고리즘^[2]에서는 비선형 예측자인 MED (Median Edge Detector)를 개발하여 적용하였으며,

* 경운대학교 정보통신공학과 (joyun@kyungwoon.ac.kr),
논문번호 : 010069-0417, 접수일자 : 2001년 4월 17일

** 경북대학교 전자공학과 데이터 통신 시스템 연구실

Input : (nmbaaa, 4) Output : banana

Reorder the received sequence and form the link				Recover process of the original sequence		
index	Received sequence	lexicographical sort	Link	index	lexicographical sort	Link
1	n	a	4	1	a	4
2	n	a	5	2	a	5
3	b	a	6	3	a	6
4	a	b	3	4	b	3
5	a	n	1	5	n	1
6	a	n	2	6	n	2

그림 2. 수신된 문자열 "nmbaaa, 4"의 역방향 BWT

1에서 각 문자열의 마지막 문자들로 이루어진 문자열 "nmbaa"와 원 데이터 문자열을 표시하는 인덱스(index)인 4이다. BW변환의 역방향 변환은 그림 2와 같이 수신된 문자열에 대한 사전적 순서에 의한 재 정렬 및 연결(link)하는 과정과 재 정렬된 문자열에 대해 수신된 인덱스를 이용한 원 문자열을 복원하는 과정으로 구성된다. 원 문자열 "banana"를 완전히 복원하기 위해 그림 2에서 보듯이 인덱스 4에서 시작하여 "b"를 찾고 "b"와 연결된 3번째 문자인 "a"를 찾고 "a"와 연결된 6번째 문자인 "n"를 찾게 되는 방법을 반복하여 원 문자열을 복원한다.

2. L-SSKF

대역 분할에는 입력 신호를 분해(Analysis) 하는 필터들이 요구되며 구현이 복잡하고 소수값의 필터 계수를 가지는 QMF(Quadrature mirror filter)와 비 직교성(Non-orthogonal)의 특성과 분해한 결과에 대해 완벽한 복원이 이루어지는 L-SSKF가 있다^[6,10]. L-SSKF 필터는 많은 연구에서 쓰이는 S-P 변환의 필터^[4]보다 저주파 영역에서의 주파수 응답이 이상적인 필터응답에 더 근접한다. 따라서 인간의 시각 체계와 유사하게 저주파 성분이 많은 일반 영상 분석에 많이 적용되고 있다. 또한 이 필터는 정수값의 필터 계수를 가지면서 간단한 산술연산으로 쉽게 구현할 수 있으며 분리된 부대역들의 평균 엔트로피를 효과적으로 감소시킬 수 있는 장점이 있다^[6]. 특히, 본 연구에서 사용한 L-SSKF(5×3) 필터는 다른 L-SSKF 필터에 비해 분할된 대역들간에 상관성

이 적으며 쉽게 구현된다. 이 필터는 LPF(Low pass filter)의 탭 길이가 5이고 필터 계수는 {-1/8, 1/4, 3/4, 1/4, -1/8}을 가지며 HPF(High pass filter)의 탭 길이는 3이고 필터 계수는 {1/2, -1, 1/2}를 갖는다.

3. GAP

GAP은 예측된 화소 근처의 기울기 강도를 적응적으로 처리하는 비선형 예측자이다^[3]. 예측자는 기울기 조정이 가능하여 무손실 JPEG 표준안 등에서 사용하는 예측자보다 예측 성능이 우수하다. 그림 3은 현 위치의 화소 P[i,j]와 인접하는 화소들간의 관계를 표시하였다.

GAP은 이들 화소 값들을 이용하여 그림 4에서 화소간의 수평, 수직방향의 기울기 강도를 추정하는 연산자 d_h 와 d_v 를 구한다. d_h 는 수평방향으로의 기울기 강도를 추정하는 연산자이고 d_v 는 수직 방향으로의 기울기 강도를 추정하는 연산자이다. 두 연산

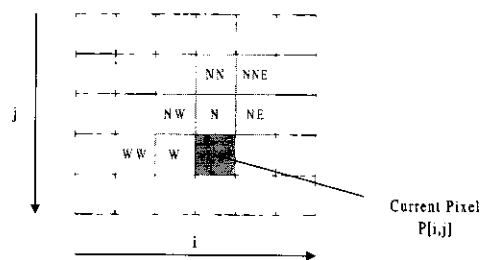


그림 3. 화소 P[i, j]에 대한 특정지어진 이웃 위치 화소들의 표기

자는 입력 영상의 가장자리의 크기와 방향을 검출하는 데 사용되고 국부적 가장자리의 보존에서 향상된 성능을 얻기 위해 예측자를 조정한다. 예측오차 $P^*[i,j]$ 는 아래의 알고리즘 순서에 따라 구해진다. 그리고 이 알고리즘에서 사용된 기준점(threshold)들은 8비트 영상 데이터에 대한 것으로 데이터의 특성에 따라 사용자가 다르게 정할 수 있다.

III. 제안한 무손실 영상 압축

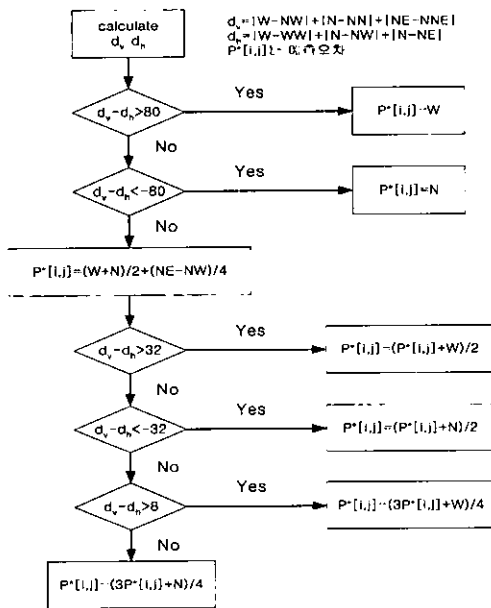


그림 4. 예측 오차 $P^*[i,j]$ 를 얻기 위한 알고리즘

본 논문에서는 상관관계가 거의 없는 문자 압축에 뛰어난 성능을 가지는 BW변환을 영상에 적용하여 압축 성능을 개선시키는 방법에 대해 제안한다.

제안된 방법은 영상 데이터의 상관 관계를 줄이기 위해 L-SSKF로 계층적 대역 분할을 수행하고 전체 영상을 하나의 블록 단위로 BW변환을 하여 적응적 산술 부호화를 하였다. 또한 압축성능을 더욱 개선시키는 방법으로 대역 분리된 최저주파 영역에 대해 예측자 GAP를 사용하였다.

1. 계층적 대역분할과 BWT의 결합

제안한 무손실 영상 압축 방법은 그림 5와 같은 단계로 나누어진다. 대역 분할을 위하여 본 논문에서는 식 (1)과 식 (2)와 같이 LPF(low pass filter)의 필터 길이가 5탭이고 HPF(high pass filter)의 필터 길이가 3탭인 L-SSKF(5×3)를 사용하였다. 여기서 $L(t)$ 와 $H(t)$ 는 각각 LPF와 HPF의 출력이며 $X(2t)$ 와 $X(2t-1)$ 은 입력신호이다. Floor(x)는 x를 넘지 않는 최대 정수값으로 표현된다.

$$L(t) = X(2t) + \text{Floor}\left(\frac{H(t) + H(t+1)}{4}\right) \quad (1)$$

$$H(t) = X(2t-1) - \text{Floor}\left(\frac{X(2t) + X(2t-2)}{2}\right) \quad (2)$$

단계 1의 무손실 대역 분할 방법은 공간적 중복성(redundancy)이 많은 최저주파 영역에 대해 L-SSKF(5×3)를 3회 반복하여 적용한 다음 영상을 10개의 영역으로 계층적 대역을 분할하였다. 이런 대역 분할은 전체 영상 화소들 사이에 퍼져 있는 중복성을 저주파 대역으로 집중되게 한다. 그림 6은 크기가 512×512 이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 의료영상인 CT 영상을 계층적 대역분할한 것이다.

이때 대역 분할이 적절하게 되었는지에 대한 평가척도는 엔트로피 계산이 일반적으로 사용되며 식 (3)과 같다. 이때 k는 레벨 수이며 p는 i 레벨에서의 발생확률이다. 그림 7은 분할된 CT 영상의 대역

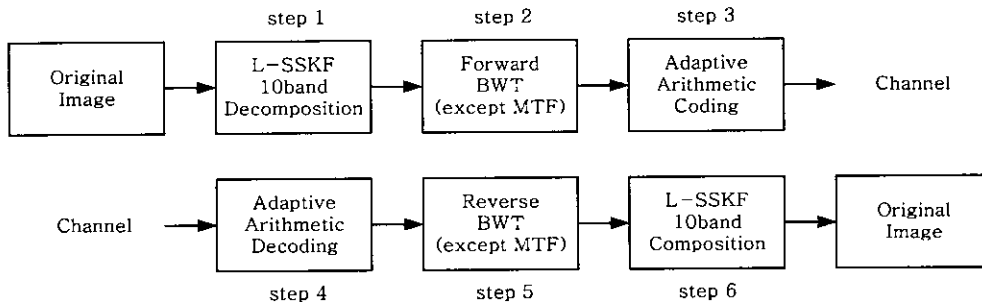


그림 5. 제안된 무손실 영상 압축/복원 블록 다이어그램

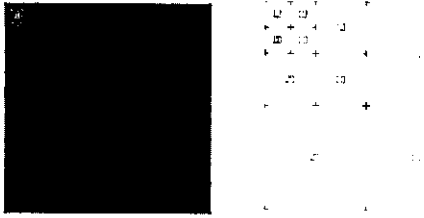


그림 6. CT영상의 계층적 대역분할

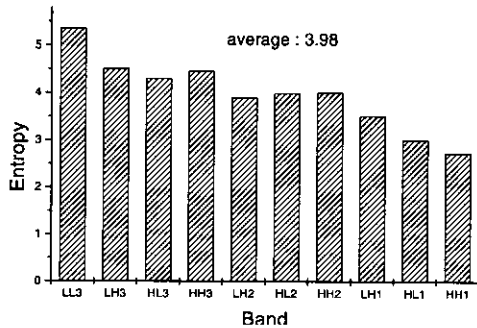


그림 7. CT 영상의 대역별 엔트로피

별 엔트로피이며 엔트로피가 작을수록 화소들간의 상관성이 적게 되어 엔트로피 부호화 할 때 압축률의 개선을 기대할 수 있게 된다.

$$H = - \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i \quad \text{bits} \quad (3)$$

이와 같이 무상관성 과정을 거친 후 대역 분할된 전체 영상을 한 블록으로 하여 BW 변환을 수행하였다. 그림 8은 10개의 영역으로 계층적 대역을 분할한 CT 영상에 대해 원 영상크기인 256k 바이트를 한 블록으로 처리하여 BW변환한 결과 영상이고 적응적 산술부호화를 하였을 때 무손실 JPEG 표준안에 비해 압축 성능이 향상됨을 표 1 에서 알 수 있다. 이는 BW변환을 이용하여 영상의 무손실 압

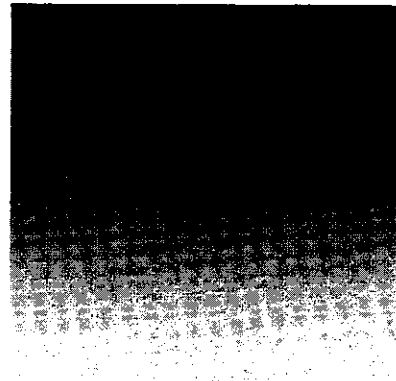


그림 8. 계층적 대역 분할된 CT영상의 BW 변환

축성능을 개선하고자 할 때는 영상의 특성을 고려한 적용이 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 또한 제한된 방법의 처리속도 측면을 고려해 보면 대역 분할 과정을 포함하는 대신 MTF 처리 과정을 사용하지 않았기 때문에 기존의 블록 정렬 압축 구조와 처리 속도는 거의 같다고 할 수 있다.

2. 최저주파 대역의 GAP 적용과 BW 변환의 결합

본 연구에서는 압축 성능을 더욱 개선하기 위하여 L-SSKF(5×3) 분해 필터인 식 (1)과 식 (2)로 4개의 대역을 분할하였다. 그러나 최저주파 대역인 LL 밴드에는 여전히 화소간의 상관성이 많이 남아 있게 된다. 따라서 LL 밴드에 대해 상관성을 줄이는 방법으로 영상에 적응성을 갖는 화소예측 방법인 GAP를 적용하여 예측오차를 생성하였다. 그리고 생성된 예측 오차값과 대역 분할된 HL, LH, HH 대역값들의 전체를 한 블록으로 하여 순방향 BW변환을 한 후, 적응적 산술 부호화를 하였다. 그림 9은 결합 방법의 전체 처리과정을 나타내었다.

실험결과 LZ계열의 PKZIP, 블록 정렬 알고리즘 (Original BWT), 무손실 JPEG표준안, GAP 그리고

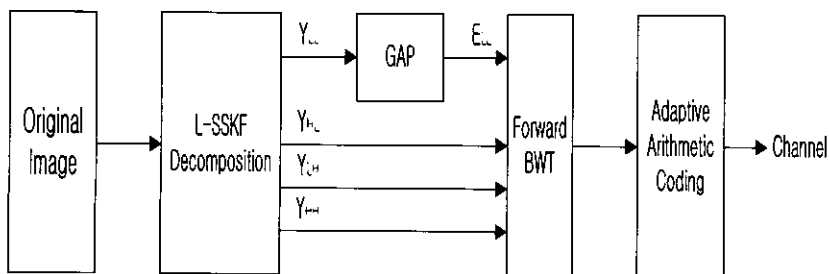


그림 9. 제안된 무손실 영상 압축 블록 다이어그램

표 1. 여러 실험 영상들에 대한 압축성능 비교

실험 영상	기존의 방법				제안한 방법		
	PKZIP	Original BWT	L-JPEG (mod 6)	GAP	L-SSKF (10band)	L-SSKF +BWT	L-SSKF +GAP +BWT
Babara	7.582	6.504	5.417	5.251	5.220	5.069	5.025
CT	3.785	3.112	3.419	3.336	3.461	3.034	3.008
Lena	7.124	5.597	4.565	4.401	4.540	4.487	4.392
Peppers	7.294	5.638	5.064	4.745	4.833	4.775	4.673
Sailboat	7.249	5.924	5.500	5.251	5.364	5.281	5.185
Tiffany	6.516	5.278	5.088	4.876	5.018	4.953	4.875
평균	6.592	5.342	4.842	4.643	4.749	4.609	4.536

L-SSKF를 사용한 대역분할 방법 등의 기존의 무손실 압축방법들 보다 압축성능이 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한 BW변환의 MTF과정을 생략하여 전체 처리 속도를 원래의 BW변환 압축 알고리즘과 비슷하게 하였다.

IV. 실험 및 고찰

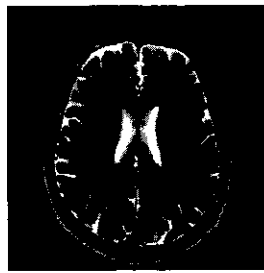
제안한 무손실 영상압축 방법의 성능 평가를 위하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실험에 사용

된 영상은 크기가 512×512이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 Babara, CT, Lenna, Peppers, Sailboat, Tiffany 영상이고 그림 10은 실험에 사용된 영상들이다. 일반적으로 영상의 압축 성능을 평가하기 위한 방법으로 압축률과 엔트로피를 구하여 판단한다. 식 (4)는 압축률을 계산하기 위한 bpp(bit per pixel)이다.

$$bpp = \frac{8 \times \text{압축된 파일크기}}{\text{원 파일크기}} \quad (4)$$



(a) Babara



(b) CT



(c) Lena



(d) Peppers



(e) Sailboat



(f) Tiffany

그림 10. 실험 영상들

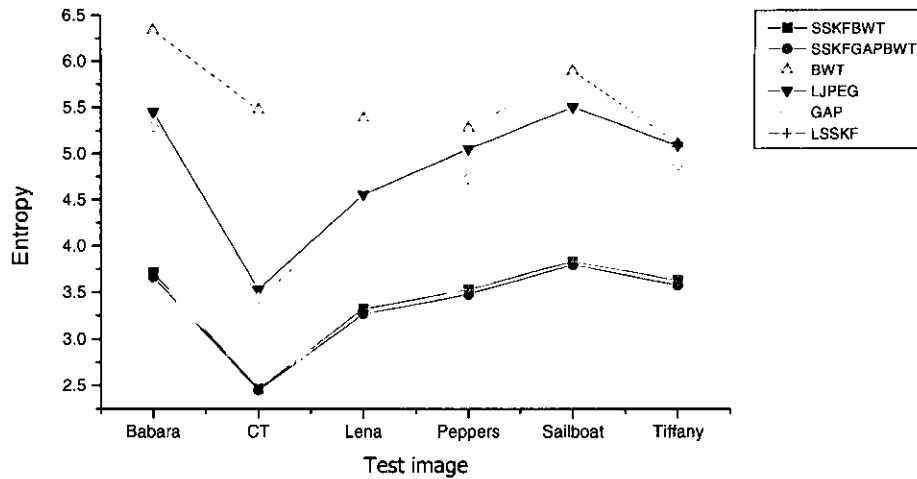


그림 11. 기존의 방법과 제안한 방법의 엔트로피 비교

그림 11은 기존의 방법과 제안한 방법을 실험 영상에 적용하여 구한 엔트로피이며 엔트로피가 적을수록 상관성이 줄어들어 압축 효율이 개선될 수 있음을 보여주고 있다. 표 1은 실험 영상에 대해 LZ 계열의 PKZIP, 블록 정렬 알고리즘(Original BWT), 무손실 JPEG 표준안, GAP 그리고 L-SSKF를 사용한 대역분할 방법 등의 기존의 무손실 압축방법들과 본 논문에서 제안한 방법의 압축성능을 비교한 결과를 나타내었다.

표 1에서 보듯이 제안한 L-SSKF + BWT의 결합 방법은 기존의 GAP를 이용한 예측방법과 비슷한 결과를 보이지만 다른 기존 압축방법들 보다는 평균치가 0.044 ~ 1.993 bpp 정도 낮아지는 압축 성능의 개선을 보였다. 특히, 단순히 영상에 BWT만을 적용할 때보다 뛰어난 압축 성능을 보이고 있다. 더 우수한 압축성능의 향상을 위해 제안된 L-SSKF + GAP + BWT 방법은 기존 압축 방법들에 비해서 평균치가 0.117 ~ 2.066 bpp 정도로 낮아져서 전반적으로 우수한 압축성능의 개선을 보였다. 이는 제안한 방법들이 상관관계가 적은 문자 데이터에 우수한 압축 성능을 가지는 BW변환을 수행하기에 앞서 L-SSKF를 이용한 대역분할과 GAP를 이용한 예측 방법을 적용하여 영상 화소간의 상관성을 줄였기 때문이다.

V. 결론

본 논문은 상관 관계가 거의 없는 문자 압축에 뛰어난 성능이 있는 블록 정렬 압축 알고리즘인

BW변환을 영상에 적용하여 무손실 압축 성능을 개선하는 방법에 대해 제안하였다. 즉, 영상이 가지고 있는 화소 사이의 상관성을 줄이기 위해 L-SSKF(5×3) 필터를 사용하여 10개의 대역으로 무손실 계층적 분할을 한 후 대역 분할된 전체 영상을 하나의 블록으로 처리하여 BW 변환에 적용하였다. 그리고 좀 더 나은 압축 성능의 개선을 위해 L-SSKF(5×3) 필터를 사용하여 4개의 대역으로 분할한 후 LL대역에 예측자 GAP를 적용한 후 BW변환을 수행하였다. 제안된 방법들은 대역분할 과정과 GAP 예측 과정이 추가로 포함되었지만 기존의 블록 정렬 압축 구조에서의 MTF 처리과정을 사용하지 않았으므로 처리속도는 거의 같다고 할 수 있다. 또한 압축 성능을 평가하기 위해 모의 실험을 한 결과 제안한 방법들이 기존의 방법보다 약 0.044 ~ 2.066 bpp정도 개선된 압축 성능이 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

- [1] ISO / IEC / JTC 1 / SC 29 / WG 1 "Call for contributions-lossless compression of continuous tone still pictures," *ISO working document ISO / IEC / JTC1 / SC29 / WG1 / N41*, 1994.
- [2] M.J. Weinberger, G. Seroussi, G.saioro, "LOCO-I : a low complexity, context based, lossless image compression algorithm," *IEEE Computer Society Press*, Mar. 1996.
- [3] 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.

- [4] A. Said, W. Perlman, "Reversible image compression via multi-resolution representation and predictive coding," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 5, No. 9, pp. 1303-1310, Sep. 1996.
- [5] E. L. Schwartz, A. Zandi, M. Boliek, "Implementation of compression with reversible embedded Wavelets," *RICOH Technical report*, No. 22, pp. 61-70, Jul. 1996.
- [6] K. Komatsu, K. Sezaki, Y. Yasuda, "Reversible Subband Coding Images," *Trans. IEICE* Vol. J78-D-II, No. 3, pp. 429-436, Mar. 1995.
- [7] M. Burrows and D. J. Wheeler, "A Block-sorting Lossless Data Compression Algorithm," *SRC Research Report 124*, Digital Systems Research Center, Palo Alto, May 1994.
- [8] Paul C. Shields, "Performance of LZ Algorithms on Individual Sequences," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 45, No. 4, pp. 1283-1288, May 1999.
- [9] K. S. Ng, L. M. Cheng, "Sub-block interchange for lossless image compression," *IEEE Trans. on consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 236-242, Feb. 1999.
- [10] K. Irie, R. Kishimoto, "A study on perfect reconstructive subband coding," *IEEE Trans. circuits & system video Tech.*, Vol 1, No. 1, pp. 42-48, Mar. 1991.

고 승 권(Seung-kwon Ko)

부회원



1999년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
2001년 2월 : 경북대학교
전자공학과 석사
2001년 3월 ~ 현재 :
(주)에스피컴텍
정보기술연구소 근무

<주관심 분야> 영상처리, 영상통신, 디지털제어

성 우 석(Woo-seok Sung)

부회원



2000년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
2000년 3월 ~ 현재 : 경북대학교
전자공학과 석사과정

<주관심 분야> 영상처리,
암호통신, 통신시스템설계

황 찬 식(Chan-sik Hwang)

정회원



1977년 2월 : 서강대학교
전자공학과 졸업
1978년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과 석사
1996년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과 박사

1991년 8월~1992년 8월 : UTA 방문교수

1979년 9월~현재 : 경북대학교 전기전자공학부 교수

<주관심 분야> 영상통신, 암호통신, 초고속망

윤 정 오(Jeong-oh Yoon)

정회원



1989년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
1991년 2월 : 경북대학교
전자공학과 석사
1998년 8월 : 경북대학교
전자공학과 박사수료
1997년 3월 ~ 현재 : 경운대학교
정보통신공학과 교수

<주관심 분야> 영상압축, 영상통신, 정보보호