

대역분할과 BW 변환을 이용한 무손실 영상압축

(Lossless image compression using subband decomposition and BW transform)

윤 정 오* 박 영 호** 황 찬 식***
(Jeong-Oh Yoon) (Young-Ho Park) (Chan-Sik Hwang)

요 약 일반적으로 문자와 영상이 갖는 특성이 서로 다르기 때문에 문자 압축 기법들을 영상 압축에 직접 사용하지 않는다. 최근 문자 압축에 뛰어난 결과를 얻을 수 있는 블록 정렬 알고리즘인 BW 변환이 소개되었으나 BW 변환을 직접 영상에 적용하면 만족할 만한 결과를 얻을 수가 없다. 따라서 BW 변환을 영상에 적용할 때 무손실 압축성능 개선을 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법의 구성은 3단계로 나누어지며 SSKF 필터에 의한 10개 영역으로 계층적 대역 분할을 하고 BW 변환에 의한 블록 정렬 알고리즘을 수행하여 적응적 산술 부호화에 의한 중복성을 제거한다. 실험 결과 제안한 방법이 무손실 JPEG 표준안과 LZ계열의 PKZIP 보다 뛰어난 압축 성능을 가졌다.

Abstract In general text compression techniques cannot be used directly in image compression because the model of text and image are different. Recently, a new class of text compression, namely, block-sorting algorithm which involves Burrows and Wheeler transformation(BWT) gives excellent results in text compression. However, if we apply it directly into image compression, the result is poor. So, we propose simple method in order to improve the lossless compression performance of image. The proposed method can be divided into three steps. It is decomposed into ten subbands with the help of symmetric short kernel filter. The resulting subbands are block-sorted according to the method by BWT, and the redundancy is removed with the help of an adaptive arithmetic coder. Experimental results show that the proposed method is better than lossless JPEG and LZ-based compression method(PKZIP).

1. 서 론

다중 매체가 결합된 다중 미디어 환경이 다양하게 발전하고 있는 멀티미디어 시대에 있어서 문자, 영상 등의 다양하고 방대한 멀티미디어 데이터를 제한된 전송채널의 대역폭이나 저장장치의 저장 용량에 효과적으로 처리하는 데에는 어려움이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 압축기술의 개발은 필수적이며 데이터의 특성에 따라 압축 방법이 연구되어 왔다. 문자 압축은 특성상 부호화하

였을 때 원래의 데이터를 완벽하게 복원할 수 있는 무손실 압축형태로 많은 연구가 이루어져 왔으며 Lempel-Ziv 계열의 압축 알고리즘과 최근에 압축성능이 뛰어나다고 알려진 블록 정렬 알고리즘인 BW(Burrows-Wheeler) 변환 등이 있다[1-5]. 영상 압축은 예측성(predictability), 불규칙성(randomness) 및 평탄성(smoothness) 등의 특성을 이용하는 예측 부호화와 영상을 다른 영역으로 변환함으로써 많은 정보들이 몇 개의 샘플에 집중되는 에너지 집중을 이용하는 변환 부호화로 구분할 수 있으며, 어느 정도 화질의 열화나 양자화 오차를 허용하는 손실 압축 알고리즘에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 최근에는 고정밀 영상 해석, 예술작품의 보존, 의료 영상, 위성 영상 등에 적용하기 위하여 무손실 영상 압축 알고

* 경운대학교 정보통신공학과 조교수
** 상주대학교 전자전기공학과 조교수
*** 경북대학교 전자전기공학부 교수

리즘이 JPEG과 같은 표준안에 의해 연구되고 있다[6].

본 논문에서는 무손실 영상 압축 성능을 개선하기 위하여 문자 압축에 효과적인 결과를 얻을 수 있는 BW 변환을 영상에 적용하고자 한다. 영상에 BW 변환을 직접 적용하면 만족할만한 결과를 기대할 수 없으며 문자는 영상과 달리 상관관계가 거의 없기 때문이다. 따라서 영상의 엔트로피를 줄이기 위해 가역의 분리 가능한 완전재생필터인 SSKF(symmetric short kernel filter)를 실험 영상에 적용하여 10개의 부대역으로 계층적 대역 분할을 하고 대역 분할된 전체영상을 한 블록으로 하여 BW 변환을 한 후 적응적 산술부호화하였다. 그 결과 압축률이 개선되었으며 이는 SSKF 필터로 계층적 대역 분할을 하였을 때 상당한 에너지 집중 효과가 있으며 압축과정에 있어서 중요한 역할을 하고 있다는 것을 의미한다.

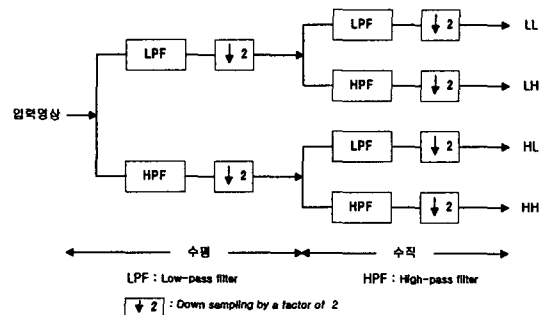
2. 대역 분할

대역 분할에는 입력 신호를 분해하는 필터들이 요구되며 구현이 복잡하고 소수 값의 필터계수를 가지는 QMF(quadrature mirror filter)와 비직교성의 특성 및 분해한 결과에 대한 완벽한 복원이 이루어지는 SSKF가 있다[7-10]. 또한 SSKF는 정수 값의 필터 계수를 가지면서 간단한 산술연산으로 쉽게 구현할 수 있으며 분리된 부대역들의 평균 엔트로피를 효과적으로 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 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 SSKF(5×3)를 사용하였다[7]. 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 정수값이다.

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

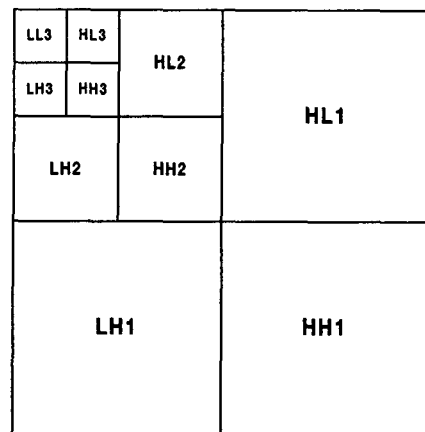
$$H(t) = X(2t-1) - \text{Floor}\left(\frac{X(2t) + X(2t-2)}{2}\right) \quad (2)$$

최근에는 인간의 시각 체계와 유사하게 저주파 대역에서 주파수 분해능을 높이는 대역 분할이 이루어지고 있으며 저주파 성분이 많은 일반 영상 분석에 많이 적용되고 있다. 영상의 대역 분할은 <그림 1>에서 보듯이 수평 방향으로 대역을 분해한 후, 다시 수직 방향으로 필터 처리를 하여 네 개의 대역으로 분해할 수 있다. 분해되어진 각 대역은 원 영상에 비해 분산 값이 크게 줄어들게 되는데 일반적으로 이러한 대역일수록 동질영역을 형성할 확률이 높게 된다.

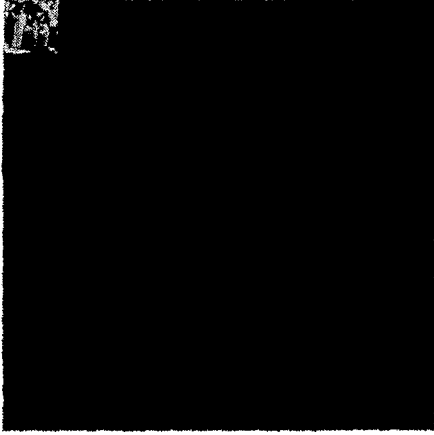


<그림 1>. 영상의 4대역 분할.

본 논문에서는 SSKF(5×3) 필터를 사용하여 그림 2(a)와 같이 영상의 계층화 대역 분할을 하였으며 그림 2(b)는 크기가 512×512이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 Peppers 영상에 대해 10개의 대역으로 분할한 결과를 나타낸 것이다. 영상의 대역분할을 위해 먼저 수평방향에 대해 필터 처리를 하여 영상을 두 개 영역으로 분할하고 각각의 분할 영역을 2:1로 다운 샘플링한다. 동일한 처리를 수직 방향에 대해서도 실행하여 네 개의 영역을 얻는다. 위의 처리과정에서 저주파 영역의 영상일수록 공간적 중복성이 많아 최저주파 영역에 대해서만 3회 반복하여 영상을 10개의 영역으로 분할하였다.



(a) 계층화 대역분할



(b) Peppers 영상의 대역분할

<그림 2>. 2차원 실험영상의 대역분할 방법.

<표 1>은 분할된 Peppers 영상의 대역별 엔트로피이다. 이는 대역분할이 효과적으로 이루어지고 있다는 것을 알 수 있으며, 영상의 화소들 사이에 존재하는 공간적 상관관계가 현저히 줄어들어 압축과정에 있어서 중요한 역할을 하고 있다는 것을 의미한다.

<표 1>. Peppers 영상의 대역별 엔트로피

band	LL3	LH3	HL3	HH3	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1
entropy	7.66	5.26	5.50	5.38	4.63	4.75	4.78	4.24	4.32	4.99

3. Burrows-Wheeler 변환

최근 M. Burrows와 D. Wheeler는 데이터를 일정한 크기의 블록으로 나누어 각 블록에 대해 정렬 알고리즘을 적용하여 재배열하는 블록 정렬 데이터 압축 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 압축 구조는 BWT, MTF(move-to-front)과정 및 엔트로피 부호화 과정의 3 단계로 구성되어 있으며, BWT와 MTF 과정은 엔트로피 부호화 과정에서 뛰어난 압축성능을 얻기 위한 전처리 변환과정이다. 특히 변환 후 생성된 결과 데이터는 원 데이터와 배열 순서만 다르고 구성요소는 같으며 가역 특성으로 인해 데이터의 완전한 복원이 가능하다. 본 장에서는 문자 압축에 뛰어난 성능을 가지는 BWT 변환구조의 분석을 위해 11 바이트의 크기를 갖는 간단한 데이터 집합인 "mississippi"를 가지고 설명하고자 한다. 먼저 BWT

는 변환과 역 변환으로 구성되어 있는데 데이터 전송을 위한 변환에는 <그림 3>에서 처럼 한 문자씩 우측 순환 이동하는 단계와 그 결과를 정렬하는 단계로 나누어진다.

Index	Text
1	m i s s i s s i p p i
2	i m i s s i s s i p p
3	p i m i s s i s s i p
4	p p i m i s s i s s i
5	i p p i m i s s i s s
6	s i p p i m i s s i s
7	s s i p p i m i s s i
8	i s s i p p i m i s s
9	s i s s i p p i m i s
10	s s i s s i p p i m i
11	i s s i s s i p p i m

(a) 단계 1 : 한 문자씩 우측으로 순환 이동

Index	Text	L
1	i m i s s i s s i p p	p
2	i p p i m i s s i s s	s
3	i s s i p p i m i s s	s
4	i s s i s s i p p i m	m
5	m i s s i s s i p p i	i
6	p i m i s s i s s i p	p
7	p p i m i s s i s s i	i
8	s i p p i m i s s i s	s
9	s i s s i p p i m i s	s
10	s s i p p i m i s s i	i
11	s s i s s i p p i m i	i

(b) 단계 2 : 단계 1의 결과를 사전적 순서로 정렬

<그림 3>. BWT 순방향 변환의 예.

BWT 변환 후 전송할 데이터는 <그림 3>(b)의 L열 문자열인 "psmipissii"와 원 문자열이 있는 인덱스 번호 "5"이다. 그러나 BWT 변환 자체가 압축 효과가 있는 것이 아니므로 치환된 데이터 ("psmipissii", "5")를 MTF 처리과정과 엔트로피 부호화를 하여 데이터 압축이 이루어진다. 압축된 결과를 원 문자열로 복원하기 위한 역 변환 과정은 엔트로피 부호화와 MTF의 역 처리 과정을 먼저 수행한 다음 BWT 역 변환을 하는데 절차는 그림 4와 같다. <그림 4>(a)는 수신된 문자열에 대해 사전적 순서에 의한 재 정렬 및 연결하는 과정이고, <그림 4>(b)는 재 정렬된 문자열에 대해 수신된 인덱스 번호 "5"에서 시작하여 원 문자열을 복원한다. 즉, 인덱스 번호 "5"에서 "m"을 찾고 "m"과 연결된 4번째 문자인 "i"를 찾고 "i"와 연결된 11번째 문자인 "s"를 찾게 된다. 위의 과정을 원

문자열인 "mississippi"를 완전히 복원할 때까지 반복하게 된다.

index	수신된 문자열	재정렬된 문자열	Link
1	p	i...	5
2	s	i...	7
3	s	i...	10
4	m	i...	11
5	i	m...	4
6	p	p...	1
7	i	p...	6
8	s	s...	2
9	s	s...	3
10	i	s...	8
11	i	s...	9

(a) 단계 1 : 수신된 문자열을 재 정렬하고 링크

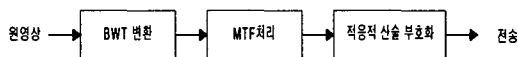
index	재정렬된 문자열	Link
1	i	5
2	i	7
3	i	10
4	i	11
5	m	4
6	p	1
7	p	6
8	s	2
9	s	3
10	s	8
11	s	9

start here →

(b) 단계 2 : 인덱스 5에서 시작하고 링크에 따라 원 문자열을 복원

<그림 4>. BWT의 역방향 변환의 예.

<그림 5>는 블록 정렬 알고리즘인 BWT 변환을 영상에 적용하여 무손실로 압축/복원하는 전체 처리과정을 나타낸 블록 다이어그램이며, <그림 6>은 크기가 512×512이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 Peppers 영상에 대해 직접 BWT 변환한 결과 영상이고 원 영상 크기인 256K바이트를 한 블록으로 처리하여 구현할 때 압축성능은 무손실 JPEG 표준안에 비해 저하됨을 <표 2>에서 알 수 있다. 이는 문자와 영상이 갖는 서로 다른 특성 때문이며 BWT 변환을 이용하여 영상의 무손실 압축성능을 개선하고자 할 때는 영상의 특성을 고려한 적용이 이루어져야 한다는 것을 의미한다.

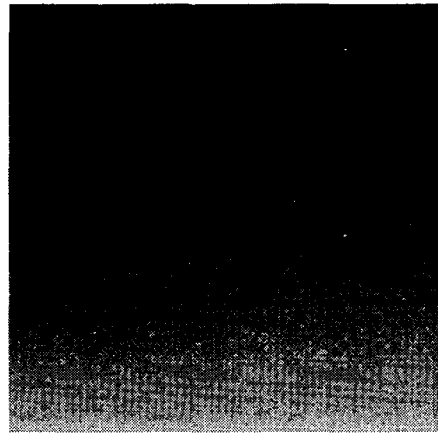


(a) 무손실 영상 압축



(b) 무손실 영상 복원

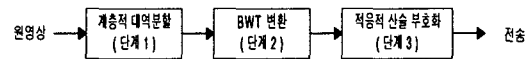
<그림 5>. BWT를 사용한 무손실 영상 압축/복원 블록 다이어그램.



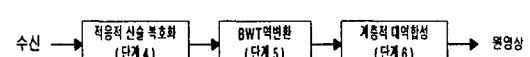
<그림 6>. Peppers 영상의 BWT 변환.

4. 제안한 무손실 영상 압축방법

본 논문에서는 상관관계가 거의 없는 문자 압축에 뛰어난 성능이 있다고 소개된 BWT 알고리즘을 영상에 적용하여 압축 성능을 개선시키는 방법에 대해 제안한다. BWT 알고리즘을 영상에 직접 적용하면 문자와 영상의 서로 다른 특성 때문에 만족 할만한 결과를 얻을 수가 없다. 따라서 무손실 대역분할에 의한 영상의 엔트로피 및 화소 사이의 상관관계를 줄인 후 BWT 순방향 변환 및 적응적 산술 부호화에 적용하였으며 제안한 방법에 대한 전체 처리과정을 <그림 7>에 나타내었다.



(a) 무손실 영상 압축



(b) 무손실 영상 복원

<그림 7>. 제안한 무손실 영상 압축/복원 블록 다이어그램.

제안한 무손실 영상 압축방법은 <그림 7>(a)와 같이 3 단계로 나누어진다. 단계 1의 무손실 대역 분할에는 식 (1)과 식 (2)의 SSKF(5×3) 필터를 사용하였으며, 이 필터는 신호의 엔트로피 성분을 줄이는데 효과적인 것 뿐만 아니라 구현이 간단한 완전 재생 필터 특성을 가진다. 따라서 필터 처리에 의한 화소 사이의 상관관계를 줄이기 위해 <그림 1>의 대역분할 방법으로 중복성이 많은 최저주파 영역에 대해 3회 반복하여 영상을 10개의 영역으로 계층적 대역을 분할하였다. 단계 2는 대역 분할된 결과영상 전체를 한 블록으로 하여 BWT 순방향 변환에 의한 블록 정렬 과정으로 영상의 대역 분할은 넓은 영역에 분포되어 있는 상관관계를 특정한 영역으로 집중되도록 한다. 압축의 마지막 처리 과정인 단계 3에서 정렬된 데이터 열을 부호화하기 위해 적응적 산술 부호화를 하였다. <그림 7>(b)는 영상 복원을 위한 무손실 복원과정이며 영상 압축방법의 역 과정으로 진행된다. 즉, 단계 4에서 정렬된 데이터열의 형태로 부호화된 영상에 대해 적응적 산술 복호화를 하고 결과에 대해 단계 5에서 BWT 역 방향 변환 과정을 거치며 영상 복원의 마지막 단계 6에서 SSKF(5×3) 필터를 가지고 <그림 1>의 역과정으로 대역합성을 수행하였다. 이와 같이 제안한 방법의 처리속도 측면을 고려해 보면 대역 분할 및 합성과정을 포함하는 대신 MTF 처리 과정을 사용하지 않았기 때문에 기존의 블록 정렬 압축구조와 처리속도는 거의 같다고 할 수 있다.

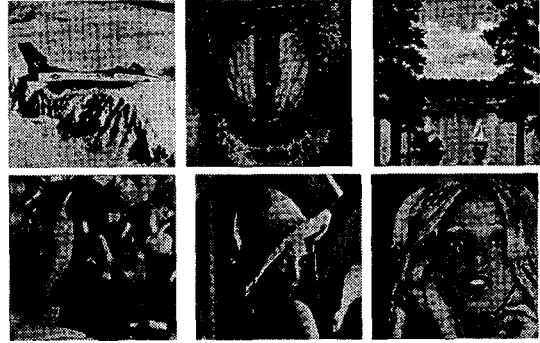
5. 실험 및 결과

제안한 무손실 영상압축 방법의 성능 평가를 위해 정지 영상에 적용하였다. 실험에 사용된 영상은 크기가 512×512이고 8비트 그레이 레벨을 갖는 Peppers, Couple, Lenna, Airplane, Sailboat, Baboon 영상이고 <그림 8>은 실험에 사용된 원 영상들이다. 일반적으로 영상의 압축 성능을 평가하기 위한 방법으로 압축률과 엔트로피를 구하여 판단한다. 식 (3)은 압축률을 계산하기 위한 bpp이고 식 (4)에서 H는 엔트로피이고 k는 레벨 수이며 P_i는 i 레벨에서의 발생확률이다.

$$BPP(\text{bit per pixel}) = \frac{8 \times \text{압축된 파일크기}}{\text{원 파일크기}} \quad (3)$$

$$H = - \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i \text{ bits} \quad (4)$$

따라서 엔트로피가 작을수록 화소들간의 상관관계가 감소되며 부호화할 때 압축률의 개선을 기대할 수 있게 된다. 또한 압축이 많이 이루어질수록 데이터의 용장도가 많이 제거되어 효율적인 기억공간 활용 및 빠른 데이터 처리가 가능하다.



<그림 8>. 실험 영상 : Airplane, Baboon, Sailboat, Peppers, Lenna, Tiffany.

<표 2>는 제안한 방법을 실험 영상에 적용하여 구한 엔트로피이며 대역분할이 압축에 미치는 효과를 조사하기 위해서이다. <표 3>은 기존의 무손실 압축 방법들인 LZ 계열의 PKZIP, 무손실 JPEG 표준안, 블록 정렬 알고리즘과 제안한 방법의 압축 성능 비교를 위해 실험영상들을 가지고 실험한 결과를 나타내었다. <표 3>에 의하면 제안한 방법이 평균적으로 압축성능이 우수함을 알 수 있다.

<표 2>. 제안한 방법에 대한 각 대역별 엔트로피

실험영상	LL3	LH3	HL3	HH3	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1	평균
Airplane	6.97	5.64	5.47	5.65	4.95	4.91	4.85	4.02	4.04	3.54	4.20
Baboon	7.20	6.46	6.36	6.96	6.64	6.25	6.77	6.31	5.69	5.90	6.13
Sailboat	7.63	6.17	6.18	6.32	5.59	5.56	5.54	4.97	4.82	5.21	5.21
Peppers	7.66	5.26	5.50	5.38	4.63	4.75	4.78	4.24	4.32	4.99	4.65
Lenna	7.53	5.00	5.73	5.56	4.49	5.01	4.96	3.99	4.34	4.11	4.39
Tiffany	7.21	5.27	5.65	5.73	4.86	5.30	5.42	4.48	4.90	4.76	4.88

<표 3>. 실험영상들에 대한 압축결과

실험영상	PKZIP	Lossless JPEG	Original BWT	Proposed method (SSKF + BWT)
Airplane	6.13	4.28	5.00	4.19
Baboon	7.97	6.41	6.78	6.16
Sailboat	7.25	5.50	5.94	5.25
Peppers	7.31	5.09	5.66	4.75
Lenna	7.13	4.59	5.63	4.44
Tiffany	6.53	5.09	5.28	4.91
average	7.05	5.16	5.72	4.95

6. 결 론

본 논문은 상관 관계가 거의 없는 문자 압축에 뛰어난 성능이 있는 블록 정렬 압축 알고리즘인 BWT 변환을 영상에 적용하여 무손실 압축 성능을 개선하는 방법에 대해 제안하였다. 즉, 영상이 가지고 있는 화소 사이의 상관 관계를 줄이기 위해 SSKF(5×3) 필터를 사용하여 10개의 대역으로 무손실 계층적 분할을 한 후, 대역 분할된 전체 영상을 하나의 블록으로 처리하여 BWT 변환에 적용하였다. 그리고 제안한 방법에서는 대역 분할 과정이 추가로 포함되었지만 기존의 BWT 변환에서의 MTF 처리과정을 사용하지 않았으므로 처리속도는 거의 같다고 할 수 있으며 압축 성능을 평가하기 위해 모의 실험을 한 결과 제안한 방법이 기존의 BWT 변환과 무손실 JPEG 표준안 및 LZ 계열의 PKZIP 보다 약 0.2 ~ 2.1 bpp 개선된 압축 성능이 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

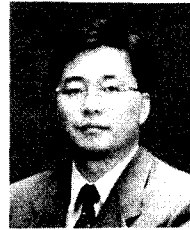
- [1] Paul C. Shields, "Performance of LZ Algorithms on Individual Sequences," IEEE Trans. in Information Theory, Vol. 45, No. 4, pp. 1283-1288, May 1999.
- [2] M. Burrows and D. J. Wheeler, "A Block-sorting Lossless Data Compression Algorithm," SRC Research Report 124, Digital Systems Research Center, Palo, Alto, May 1994.
- [3] M. Arimura, H. Yamamoto, "Asymptotic Optimality of the block sorting algorithm," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E81-A, No. 10, pp. 2117-2122, Oct. 1998.
- [4] 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.
- [5] P. M. Fenwick, "Improvements to the block-sorting text compression algorithm," The university of Auckland, Department of computer science, Technical report 120, July 1995.
- [6] ISO / IEC JTC 1 / SC 29 / WG 1 (1994) "Call for contributions-lossless compression of continuous-tone still pictures", ISO working document ISO / IEC / JTC1 / SC29 / WG1 / N41.
- [7] K. Komatsu, K. Sezaki, Y. Yasuda, "Reversible

Subband Coding of Images," System and Computers in JAPAN, vol. 26, no. 12, pp. 40-48, 1995.

[8] K. Irie and R. Kishimoto "A study on perfect reconstructive subband coding," IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 42-48, Mar. 1991.

[9] C. Lu, N. Omar and Y. Zhang, "A modified short-kernel filter pair for perfect reconstruction of HDTV signals," IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., Vol. 3, No. 2, pp. 162-164, Apr. 1993.

[10] T. Toi & M. Ohta, "A subband coding technique for image compression in single CCD cameras with Bayer color filter Arrays," IEEE Trans. in Consumer Electronics, Vol. 45, No 1, pp. 176-180, Feb. 1999.



윤 정 오

1989년 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1991년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1996년 - 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
1997년 3월 - 현재 경운대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야: 영상압축, 정보보호



박 영 호

1989년 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1991년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1995년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1996년 3월 - 현재 상주대학교 전자전기공학과 조교수
관심분야: 정보보호, 디지털신호처리

황 찬 식

1977년 서강대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1979년 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
1996년 한국과학기술원 전기전자공학과(공학박사)

1991년 8월 - 1992년 8월 UTA 방문교수
1979년 9월 - 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수
관심분야: 영상신호처리