

웨이블릿 변환을 이용한 가변블록 기반 영상 압축

정회원 권세안*, 장우영**, 손광훈**

The Variable Block-based Image Compression Technique using Wavelet Transform

Sean Kwon*, Wooyoung Jang**, Kwanghoon Sohn** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 가변블록 기반 영상압축방식을 제안하였다. 웨이블릿의 각 밴드 별로 통계적 특성이 다르므로 각 부밴드에 적합한 양자화를 적용하였으며, 각 부밴드의 방향특성을 이용하여 부 밴드들을 서로 다른 크기의 가변블록으로 겹치지 않게 분해하였다. 또한 에너지의 특성을 고려하여 임계값 이하의 값들은 0으로 보내어 부호화하지 않음으로써 불필요한 비트의 할당을 줄인다. 시뮬레이션 결과 제안알고리즘은 기존의 블록 기반 압축알고리즘에 비해 압축률과 PSNR면에서 객관적으로 향상된 성능을 보였고, 주관적으로도 블록 기반 방식임에도 불구하고 매우 낮은 BPP를 갖는 압축에서 나타나는 블록화 현상이 나타나지 않음을 확인하였다. 또한 0의 위치정보를 표현하는 방법에 있어 블록기반으로 접근하기 때문에 간단한 구조를 가지는 장점이 있다.

ABSTRACT

In this paper, an effective variable-block-based image compression technique using wavelet transform is proposed. Since the statistical property of each wavelet subband is different, we apply the adaptive quantization to each wavelet subband. In the proposed algorithm, each subband is divided into non-overlapping variable-sized blocks based on directional properties. In addition, we remove wavelet coefficients which are below a certain threshold value for coding efficiency. To compress the transformed data, the proposed algorithm quantizes the wavelet coefficients using scalar quantizer in LL subband and vector quantizers for other subbands to increase compression ratio. The proposed algorithm shows improvements in compression ratio as well as PSNR compared with the existing block-based compression algorithms. In addition, it does not cause any blocking artifacts in very low bit rates even though it is also a block-based method. The proposed algorithm also has advantage in computational complexity over the existing wavelet-based compression algorithms since it is a block-based algorithm.

I. 서 론

최근 멀티 미디어에 대한 관심이 높아지면서 관련된 멀티미디어 통신 서비스 등이 국내외에서 활발히 연구되고 있다. 멀티 미디어 정보에는 영상 정보, 음성 정보, 데이터 등이 있는데, 이 중에서 영상 정보

는 많은 정보량을 가지고 있어서 제한된 대역폭에 실시간으로 전송을 하기 위해서는 효과적인 영상정보의 압축이 필수적이며 이러한 영상 정보의 압축에 관한 연구가 다방면으로 이루어지고 있다. 영상 압축 기법 중에 신호의 상관성을 제거하고 에너지를 집중시키기 위한 선형 변환(linear transform)을 이용한 압축 기법이 주목을 받고 있다. 잘 알려진 KLT

* 삼성전자(주)(ksa@netian.net)

** 연세대학교 전자공학과(khsohn@ipeg.yonsei.ac.kr)

논문번호 : 99083-0305, 접수일자 : 1999년 3월 5일

※ 이 논문은 한국과학재단 특정기초 지원(과제번호:97-0101-06-01-3)에 의한 연구 결과의 일부입니다.

(Karhunen-Loève Transform)는 신호의 상관성을 제거하고 에너지를 집중시키는데 이상적이지만, 신호의존적이고 계산량이 많다는 단점이 있다. 게다가 고속 알고리즘이 존재하지 않기 때문에 영상 압축에 이용되는데 한계가 있다. DCT(Discrete Cosine Transform)는 신호 독립적이고 계산 복잡도 측면에 이점이 있으며, KLT와 거의 비슷한 성능을 가지고 있기 때문에 JPEG(Joint Photographic Experts Group)과 MPEG(Moving Picture Experts Group) 같은 영상 압축 표준에 이용되고 있다. 하지만, 블록 기반 압축이기 때문에 블록간 상관도가 손실되는 단점이 있다. 최근에 필터 뱅크(filter bank)와 웨이블릿에 대한 연구로 블록 제약이 없고 필터 뱅크 구조로 계산량에서 효율적인 웨이블릿 변환이 소개된 이후로 이를 이용하여 영상데이터를 처리하는 여러 가지 응용분야들이 활발히 연구되고 있다.^{[1]-[6]}

웨이블릿 변환은 2차원 영상 데이터를 효과적으로 주파수, 시간의 국부성을 갖도록 분해함으로써 효과적으로 데이터를 처리할 수 있는 구조를 제공하여 준다. 주파수가 가장 낮은 밴드는 원 영상의 데이터와 같은 통계적 특성을 나타내고 있으며, 나머지 부밴드들은 영상의 경계영역에 에너지가 집중되어 있는 특성을 나타낸다. 또한 영상계수에 수직, 수평 두 방향으로 필터를 적용시켜서 부밴드를 만들어 내기 때문에, 분해된 각 밴드들은 수직, 수평, 대각의 방향 특성을 갖게 된다. 웨이블릿의 이러한 특성들은 영상 계수를 재배열하여 영상압축에 효율적인 구조를 제공해 준다.

본 논문에서는 웨이블릿의 부밴드의 방향특성을 포함한 여러 가지 특성을 이용하여 각 부밴드별로 서로 다른 양자화 기법을 적용하는 압축 알고리즘을 제안하고 기존의 압축방법들과 객관적, 주관적인 측면에서 성능을 비교하여 제안 알고리즘의 우수성을 확인한다. 제안 알고리즘은 8-tap Daubechies 필터를 이용하여 웨이블릿을 수행하며, 각 부밴드별로 스칼라 양자화기와 가변블록을 이용한 벡터양자화기^{[7][8]}를 이용한 압축을 수행한 후 산술 부호화^{[9][10]}를 적용한다.

본 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 웨이블릿 변환에 대하여 간단히 소개하고, 제 3장에서는 웨이블릿 변환을 이용한 가변블록 기반의 새로운 압축 알고리즘을 제안한다. 제 4장에서는 제안 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법들과 성능을 비교, 분석하며, 마지막으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 웨이블릿 변환

1. 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환이란 기저함수 $\psi(x)$ 를 천이시키고 확장·축소시킴으로써 얻어지는 함수들의 집합을 의미하며, 임의의 신호 $f(x)$ 의 웨이블릿 변환은 다음과 같다.

$$WT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (1)$$

여기서 ψ 는 기저함수(mother wavelet)이며, 크기 변수 a 와 천이 변수 b 가 실수($a, b \in \mathbb{R}$, 여기서 $a \neq 0$)일 때 연속 웨이블릿 변환이라 하고, a, b 가 정수($a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m$, 여기서 $m, n \in \mathbb{Z}, a > 1, b_0 > 0$)일 때 이산 웨이블릿 변환이라고 한다. 특히 a_0 가 2이고 b_0 는 1일 때 정규직교 기저를 만들 수 있다. 만약 a 가 작다면 시간축 상에서 좁은 구역에 놓이게 되고 Heisenberg의 불확정성 원리에 의해 주파수 축에서는 넓은 영역을 차지하게 된다. 따라서 ψ 를 고주파 대역에서는 세밀한 해상도를 가지게 하고 저주파 대역에서는 상대적으로 낮은 시간 해상도를 가지게 할 경우 연속된 저주파수 성분에서 갑자기 나타나는 고주파 성분이 섞인 신호의 경우에도 쉽게 처리할 수 있다. 반면에 STFT(Short Time Fourier Transform)의 경우 시간-주파수 공간의 해상도가 고정되게 되고 따라서 이 경우 비정제(nonstationary) 신호의 처리가 어렵다. 영상 압축에 쓰이고 있는 DCT (discrete cosine transform)의 경우 STFT 변환으로 볼 수 있으며, 신호의 특성이 불분명한 예측 오차 영상 압축에서 한계를 나타낸다.

2. 영상의 웨이블릿 분해 및 합성

영상에 대한 웨이블릿 변환은 그림 1과 같이 서브밴드 구조를 이용한 QMF (Quadrature Mirror Filter)를 연속적으로 적용함으로써 구현된다. H_0 및 H_1 는 웨이블릿 분해를 위한 저주파 대역 및 고주파 대역 통과 필터이고, G_0 및 G_1 는 분해된 영상을 합성하기 위한 저주파 대역 및 고주파 대역 통과 필터이다. 그림1(a)와 같은 구조로 분해된 영상은 그림1(b)의 구조로 완벽하게 복원된다. 그림1에서 한 단의 구조는 서브밴드 분해 기법과 동일하며 낮은 주파수 대역에서 높은 해상도를 얻

기 위해서는 반복 필터 뱅크(iterated filter bank)를 구성함으로써 웨이블릿을 행할 수 있다.

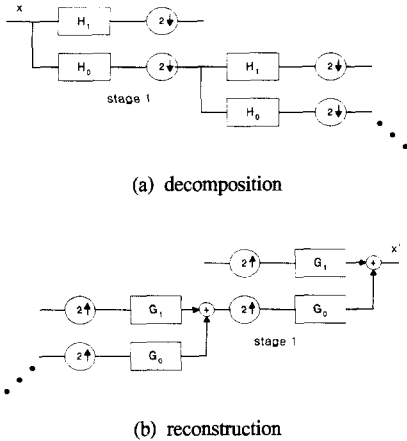


그림 1. 웨이블릿 변환

이 기법의 장점은 구현이 간단하며 반복횟수에 관계없이 연산량은 입력의 개수에 선형적으로 비례하게 된다.

III. 웨이블릿밴드 가변블록 기반 압축기법

기존의 웨이블릿 기반 압축방식으로서 EZW (Embedded Zerotrees Wavelet)^[1]로 대표되는 화소 기반의 제로 트리를 이용한 기법과 VQ(Vector Quantization)를 이용한 블록 기반의 압축 방법이 있다^{[3][12]}. 영상이 웨이블릿 계수로 변환되면 거의 모든 에너지가 저주파 대역 밴드로 몰리기 때문에 고주파 대역 밴드의 많은 계수들은 매우 작은 값을 가지게 된다. 이 계수들은 작은 오차를 발생시키므로 0으로 양자화하고, 이 계수의 위치 정보를 알리는 것이 더 효율적이다. 이런 방법들 중에서 EZW는 계수 지도를 압축하기 위해 트리 구조를 사용한다. EZW는 집합 분리 배열 알고리즘(set partitioning sorting algorithm)에 의한 크기에 따른 정렬, 정렬된 비트 플레인(bit plane) 전송과 웨이블릿 변환된 영상에서 다른 스케일(scales) 간의 유사성을 이용한 비중요 계수의 예측으로 구성된다. 이 기법은 압축률과 화질측면에서 상당히 높은 성능을 보이고 있으며, 순차적인 영상 복원이 가능한 장점을 가지고 있다. 하지만, 부호화기나 복호화기의 구성이 복잡해지고, 계산 복잡도 측면에서 상대적으로 불리한 면을 보이고 있다.

웨이블릿 압축 기법에서의 벡터 양자화는 주로 두가지 접근 방법이 있다. 첫 번째는 각각의 웨이블릿 부밴드를 블록 단위로 나누고 부밴드 별로 성격이 다른 벡터양자화기를 사용하여 비트 할당을 통한 압축을 수행한다. 두 번째 방법은 각각의 부밴드에서 같은 공간적 위치의 화소를 모아서 벡터로 만들고 부호화하는 것이다. 이 방법에서는 벡터가 각 부밴드 간에 가로질러 생성되며, 단일 코드북이 생성된다. 본 논문에서는 기존의 벡터양자화기를 사용한 알고리즘 중에서 좋은 성능을 보이고 있는 방식^[11]을 비교 기준으로 삼으며 이 방식을 앞으로 “웨이블릿+VQ”로 표현하기로 한다. 웨이블릿+VQ방식은 각 부밴드에서 공간적으로 상관도를 갖는 블록들을 모아 새로운 8×8 블록을 구성하여 비트 할당을 통한 벡터양자화를 수행하게 된다.

제안 알고리즘에서는 EZW와 비교하여 거의 비슷한 성능을 나타내면서도 계산량 측면에서의 단점을 보완하고 기존의 웨이블릿+VQ 압축방식보다 높은 압축률과 화질을 제공하는데 초점을 두었다.

1. 가변블록 기반 압축 알고리즘

영상데이터를 레벨-3까지 웨이블릿 변환으로 분해하면 그림2과 같은 구조를 가지게 된다.

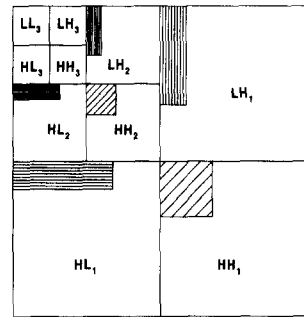


그림 2. 웨이블릿 변환 후의 영상 계수

그림2에서 볼 수 있듯이 웨이블릿 변환된 영상 계수는 각 밴드의 특성을 갖는 계수들로 구성되어진다. 이때 가장 큰 특징은 가장 높은 레벨의 계수만이 원영상의 통계적 성질을 유지할 뿐 나머지 레벨의 계수들은 0에 가까운 계수들이 많고, 계수의 연속성이 각 밴드의 수평, 수직, 대각방향으로 이루어져 있어 다른 특징을 나타낸다. 웨이블릿 변환된 계수의 압축은 이러한 성질을 이용하여 낮은 에너지의 계수를 버리고 높은 에너지의 계수만 선택하여, 계수의 위치정보를 블록으로 구성할 때 각 밴드

의 특성에 맞는 블록의 형태를 설정하면 효율적으로 나타낼 수 있다.

제안 알고리즘에서는 각 부밴드의 방향 특성과 같은 가변블록들로 각 부밴드를 분해한다. 대각방향을 갖는 부밴드는 그림3(a)와 같은 블록들로, 수평 방향을 갖는 부밴드들은 그림3(b)와 같은 블록들로, 수직 방향을 갖는 블록들은 그림3(c)와 같은 블록으로 겹쳐지지 않도록 분해한다.

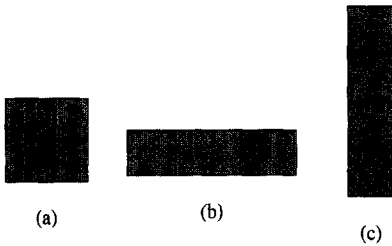


그림 3. 방향성 블록의 종류
(a) 대각 방향의 블록 (b) 수평 방향의 블록
(c) 수직 방향의 블록

제안 알고리즘에서는 가장 높은 레벨의 LL3 밴드는 다해상도 압축에서 상대적으로 중요한 정보를 갖고 있기 때문에 압축할 때 많은 비트를 할당하여야 한다. 그리고 레벨-3의 다른 부밴드들도 공간적으로 작은 영역을 차지하는 반면에 상대적으로 중요한 정보를 많이 가지고 있으므로 블록으로 분해하지 않는다. 그러나 레벨-2의 부밴드들과 레벨-1의 부밴드들은 중요한 정보가 적고 공간적으로도 각 부밴드의 방향성을 나타내기 위해 충분하므로 각 부밴드의 방향성을 가지는 가변블록으로 분해한다.

영상을 웨이블릿 분해한 후의 특성을 살펴보면, 낮은 레벨에는 작은 에너지를 가지고 있는 계수들이 존재하며 임계값보다 작은 값들은 0으로 대체한다. 이때 임계값의 설정은 압축률에 따라 다양하게 적용된다. 다음으로 레벨-2에 있는 부밴드들은 각각 1×4, 4×1, 2×2의 크기를 갖는 블록들로 분해한 후 블록안에 있는 0이 아닌 값들의 개수가 임계값 이상일 경우 부호화하고 그렇지 않으면 0으로 대체한다. 레벨-1에 있는 부밴드들은 각각 2×8, 8×2, 4×4의 크기를 갖는 블록들로 분해한 후 역시 블록안에 있는 0이 아닌 값들의 개수가 임계값 이상일 경우 부호화를 하고 그렇지 않으면 0으로 대체한다. 만약 영상이 방향성을 갖는 뚜렷한 경계성분을 가지고 있다면 가변 블록의 크기를 더 크게 선택하는 것이 효율적일 것이다.

전체적인 구조에서 0으로 대체된 값들은 부호화

하지 않기 때문에 0값들에 대한 위치 정보를 보내야 한다. 따라서 0을 갖는 값들의 위치정보는 0과 1로 구성된 1bit의 지도로 간단히 구성할 수 있고 전체적으로는 9개의 0-지도가 존재하게 된다. 그림4는 제안 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

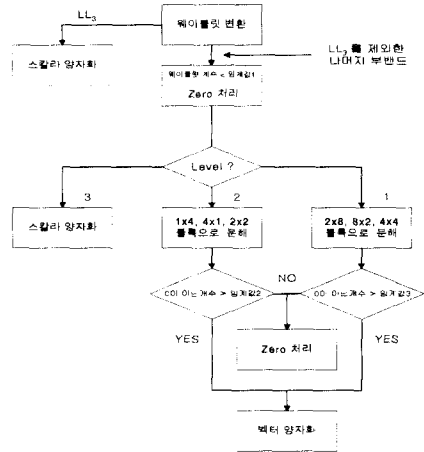


그림 4. 제안 알고리즘 흐름도

2. 각 부밴드별 양자화기의 적용

일반적인 웨이블릿 압축기법에서 저주파 영역을 갖는 부밴드는 인간의 시각에 민감한 정보를 가지고 있기 때문에 압축할 때 많은 비트를 할당하여야 한다. 그러므로 저주파 성분을 갖는 LL3 밴드를 Lloyd-Max 양자화기를 수행한다. LL3를 제외한 나머지 레벨-3의 부밴드들도 공간적으로 작은 영역을 차지하는 반면 영상의 중요한 정보인 경계정보를 많이 포함하고 있기 때문에 Lloyd-Max 양자화기를 사용한다.

나머지 레벨의 부밴드들은 0-지도를 토대로 벡터 양자화를 적용한다. 제안 알고리즘에서 사용한 벡터 양자화기는 초기 벡터를 랜덤하게 설정한 LBG (Linde-Buzo-Gray) 알고리즘을 사용하여 코드북을 생성하였다. 이 벡터양자화기를 이용해서 각각의 부밴드에 코드북과 비트 할당을 다르게 만들었다. 최종적으로 이렇게 만들어진 인덱스와 0-지도는 산술 부호화로 압축한다.

IV. 모의실험 및 결과고찰

제안 알고리즘의 성능비교를 하기 위하여 8비트 해상도를 갖는 512×512의 Lena 영상을 이용해 모

의실험을 하였다. 객관적인 성능평가로서 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 BPP(Bit Per Pixel)을 이용하였다. 그림5는 제안 알고리즘과 기존의 알고리즘의 성능 비교를 잘 보여주고 있다.

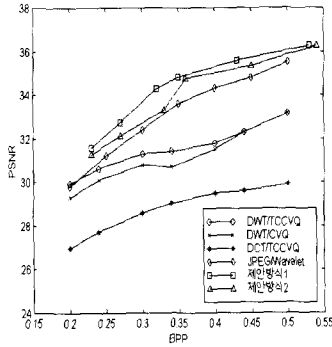


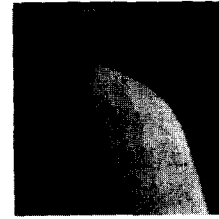
그림 5. Lena 영상에 대한 결과

DWT/TCCVQ는 웨이블릿 변환에 TCCVQ (Two Channel Conjugate Vector Quantization)를 결합한 형태이고, DWT/CVQ는 웨이블릿에 CVQ(Classified Vector Quantization)를 결합한 형태이며, DCT/TCCVQ는 DCT변환에 TCCVQ를 결합한 형태이다^[11]. 제안방식1은 각 부밴드의 방향성을 고려한 가변블록을 이용한 것이고 제안방식2는 방향성 고려 없이 모든 부밴드에 정사각 블록을 동일하게 적용한 것으로써 모든 BPP에서 제안방식이 기존의 방식에 비해 우수함을 보이고 있다. 또한 EZW의 결과와 0.53BPP에서 비교해 보았을 때 PSNR이 36.26dB로 거의 비슷한 성능을 보이지만, 계산량은 인덱스에 따라 값을 그대로 복원시키기 때문에 훨씬 줄게 된다. 그림6은 0.53BPP에서 제안방식1을 적용한 Lena영상의 재생영상으로써 방향성 블록을 적용하여 오류가 적음을 보여주고 있다.

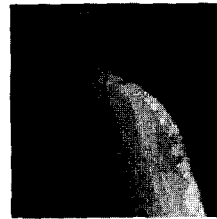


(a)Original image (b)Reconstructed image

그림 6. 시뮬레이션 결과 영상 Lena (0.53BPP, PSNR 36.26)



(a) Original image



(b) Proposed algorithm result(0.3BPP)



(c) JPEG result (0.3BPP)

그림 7. 주관적 성능비교 - 블록화 현상

그림7은 주관적으로 성능 비교를 하기 위하여 Lena 영상을 0.3BPP로 압축한 JPEG의 결과와 제안 알고리즘 결과의 일부분을 나타내고 있다. 기존의 블록기반 압축기법들이나 DCT를 이용하여 블록 단위로 압축을 하는 JPEG의 경우에는 낮은 BPP에서 영상의 평활영역에 블록화 현상이 나타난다. 그러나 웨이블릿 기반의 영상 압축기법에서는 웨이블릿 계수들이 갖는 특성인 주파수 분해와 계수들간의 비상관성 때문에 이러한 블록화 현상이 나타나지 않는다. 그림7에서 볼 수 있듯이 JPEG방식은 블록화 현상이 나타나고 있는 반면에 제안방식은 블록기반의 방식임에도 불구하고 블록화 현상이 없음을 볼 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 기반의 가변블록을 이용한 새로운 영상 압축 알고리즘을 제안하였다. 영상 데이터의 웨이블릿 변환은 인간의 시각특성에 알맞은 구조를 제공하므로 제안 알고리즘을 수행하여 얻어진 영상들은 인간의 시각에 민감한 경계영역에 대한 오류가 적음을 볼 수 있다. 객관적인 성능면에서 부밴드의 방향성을 고려한 제안 알고리즘이 기존의 압축 알고리즘들과 RMSE, PSNR을 비교하여 우수함을 보였고, 가장 낮은 주파수를 갖는 부밴드에 스칼라 양자화를 이용함으로써 기존의 블

록기반 알고리즘에서 나타나는 블록화 현상이 나타나지 않는 주관적인 특성을 나타낸다. 또한 웨이블릿 변환을 이용해서 나타나는 지도정보를 블록 기반의 구조와 벡터 양자화를 이용하여 간단한 구조로 구현하여 우수한 성능을 보이면서 계산 복잡도를 최소화 하였다.

참 고 문 헌

[1] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp.3445-3463, Dec. 1993.

[2] J. W. Woods and S. O'Neil, "Subband coding of images," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 34, no. 5, pp.1278-1288, Oct. 1986.

[3] X. Wang, E. Chan, M. K. Mandal, and S. Panchanathan, "Wavelet-Based Coding Using Nonlinear Interpolative Vector Quantization," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, no. 3, pp. 518-522, March 1996.

[4] A. Averbuch, D. Lazar, and M. Israeli, "Image Compression Using Wavelet Transform and Multiresolution Decomposition," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, no. 1, pp. 4-15, January 1996.

[5] O. Rioul, "Regular Wavelets: A Discrete-time approach," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, Dec. 1993.

[6] S. G. Mallat, "Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 37, no. 12, pp. 2091-2110, Dec. 1989.

[7] M. A. Cay, W. Li and Y. Zhang, "On the optimal transform for vector quantization of images," *1993 International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 1, Chicago, IL, pp.687-690, May 1993.

[8] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Classified vector quantization of images," *IEEE Trans. Communication*, vol. 34, no. 11, pp.1105-1115, Nov. 1986.

[9] D. A. Huffman, "A method for the construc-

tion of minimum redundancy codes," *Proc. IRE*, pp. 1098-1101, Sept. 1952.

[10] Ian H. Witten, Radford M. Neal, and John G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," *Comm. ACM*, vol. 30, no. 6, pp. 520-540, June 1987.

[11] Y. Huh, J. J. Hwang, and K. R. Rao, "Block wavelet transform coding of images using classified vector quantization," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 63-67, Feb. 1995.

[12] 윤정필, 손광훈, 허영, "웨이블릿 변환을 이용한 블록 기반 영상 압축 기법", *한국통신학회 논문지*, 제 24권 제 4B호, pp. 734-740, 1999년 4월.

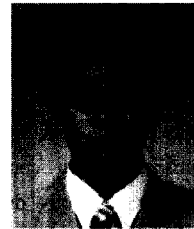
권 세 안(Se-An Kwon) 정회원



1975년 1월 14일생
 1997년: 연세대학교 전파공학과 졸업 (공학사)
 1999년: 연세대학교 대학원 전파공학과 졸업 (공학석사)
 1999년~현재: 삼성전자(주)

<주관심 분야> 영상처리, 영상통신

장 우 영(Woo-Young Jang) 정회원



1975년 8월 15일생
 1998년: 경희대학교 전파공학과 졸업 (공학사)
 1998년~ 현재: 연세대학교 대학원 전파공학과 석사과정

<주관심 분야> 영상처리, 영상통신

손 광 훈(Kwang-Hoon Sohn) 정회원

한국통신학회 논문지 제 24권 제 4B호 참조