

DWT를 이용한 영상압축을 위한 경계화소의 효과적인 처리방법

준회원 서영호*, 김종현*, 정회원 김대경**, 유지상***, 김동욱*

An Effective Method to Treat The Boundary Pixels for Image Compression with DWT

Young-Ho Seo*, Jong-Hyeon Kim* Associate Members

Dai-Gyoung Kim**, Ji-Sang Yoo***, Dong-Wook Kim* Regular Members

요 약

2차원 이산 웨이블릿 변환(2D-DWT)을 이용한 영상처리에서 영상의 경계부분 화소들을 처리하는 방법은 영상의 화질과 구현비용에 영향을 미친다. 본 논문에서는 하드웨어 및 소프트웨어 구현에 적합하고 화질의 손실이 거의 없는 효과적인 경계화소 처리방법을 제안하였다. 이 방법은 2차원 영상을 1차원 배열로 처리하는 방법으로, DWT 진행방향에 따라 영상을 직렬의 연속적인 데이터구조로 간주하고 DWT를 수행(Serial-Sequential Processing)한다.

제안한 방법의 성능 및 구현의 용이성을 보이기 위하여 영상을 압축하고 복원하는 영상압축 코덱을 구현하여 실험하였다. 여기에는 로그-스케일의 고정 양자화기를 사용하였으며, 엔트로피 코더는 구현하지 않았다. 실험결과 압축률 2:1 이상의 경우(엔트로피 코딩을 제외한 압축률) 주기적 확장(Periodic Expansion, PE)방법과는 거의 동일한 SNR(Signal to Noise Ration)을 보였으며, 대칭적 확장(Symmetric Expansion, SE)방법에 비해서는 15.3%, 0-화소 삽입(Zero-Padding Expansion, ZPE)방법에 비해서는 9.6% 높은 SNR을 보였다. 또한 주기적 확장방법은 본 논문의 방법에 비해 12.99%의 메모리가 더 필요하였으며, 영상의 압축동작만을 고려할 때 제안한 방법에 비해 SE 방법과 ZPE 방법은 추가적인 동작이 필요하였다. 하드웨어로 구현한 결과로는 제어회로의 크기가 본 논문에서 제안한 방법의 경우 전체 회로의 5.92%를 차지한 반면, SE 방법은 22%, PE 방법은 21.2%, ZPE 방법은 11.9%를 각각 차지하여 제안한 방법이 하드웨어를 가장 적게 사용하는 것으로 나타났다. 따라서 제안한 방법은 일반적인 영상처리 응용의 하드웨어 및 소프트웨어적 구현에 있어서 화질의 손실없이 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In processing images using 2 dimensional Discrete Wavelet Transform(2D-DWT), the method to process the pixels around the image boundary may affect the quality of image and the cost to implement in hardware and software. This paper proposed an effective method to treat the boundary pixels, which is apt to implement in hardware and software without losing the quality of the image mostly. This method processes the 2-D image as 1-D array so that 2-D DWT is performed by considering the image with the serial-sequential data structure (Serial-Sequential Processing).

To show the performance and easiness in implementation of the proposed method, an image compression codec which compresses image and reconstructs it has been implemented and experimented. It included log-scale fixed

* 광운대학교 전자재료공학과 Digital Design & Test 연구실 (axl@explore.gwu.ac.kr)
 ** 한양대학교 응용수학과, *** 광운대학교 전자공학과
 논문번호 : 010349-1121, 접수일자 : 2001년 11월 21일
 ※ 이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : R01-2001-000-00350-0)의 일부 지원으로 이루어졌습니다.

quantizer, but the entropy coder was not implemented. From the experimental results, the proposed method showed the SNR of almost the same SNR(Signal to Noise Ratio) to the Periodic Expansion(PE) method when the compression ratio(excluding entropy coding) of 2:1, 15.3% higher than Symmetric Expansion(SE) method, and 9.3% higher than 0-pixel Padding Expansion(ZPE) method. Also PE method needed 12.99% more memory space than the proposed method. By considering only the compression process, SE and ZPE methods needed additional operations than the proposed one. In hardware implementation, the proposed method in this paper had 5.92% of overall circuit as the control circuit, while SE, PE, and ZPE method has 22%, 21.2%, and 11.9% as the control circuit, respectively. Consequently, the proposed method can be thought more effective in implementing software and hardware without losing any image quality in the usual image processing applications.

I. 서론

최근 멀티미디어 정보에 대한 욕구가 증가하면서 가장 많은 데이터 양을 필요로 하는 영상비디오 신호처리에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다¹¹. 디지털 영상비디오 신호에 대한 연구는 주로 신호의 압축 및 복원에 대해 이루어지고 있으며, 이것은 영상비디오 신호를 전송하는 네트워크의 용량과 깊은 관계가 있다.

현재까지 영상비디오 신호처리의 많은 부분이 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform, DCT)을 이용하고 있으며, JPEG과 MPEG이 그 대표적인 예이다¹¹. 그러나 이 DCT-기반 영상압축 기술은 8×8 화소(pixel) 블록을 그 처리단위로 함으로서 8×8 영상블록간의 연속성에 문제가 발생하는 블록효과(block effect)를 발생하며, 이 현상은 압축률이 증가함에 따라 더욱 심각하게 나타나는 것으로 알려져 있다²¹. 이러한 문제는 최근 영상처리의 새로운 기술로 활발히 연구되고 있는 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)으로 해결될 수 있다^{21,31}. DWT는 영상을 블록으로 분할하지 않고 원 영상을 그대로 처리함으로써 블록효과를 제거할 수 있다. DWT는 이 외에 DWT된 결과에 대해 필요한 압축률을 얻기 쉬우며, 전체영상에 대해 주파수 대역별로 분리하는 DWT의 특성에 따라 전송되는 비트 스트림(bit stream)이 잡음면역성이 강하며 필요에 따라 전송된 일부분으로 전체영상을 복원할 수 있는 장점을 갖고 있다^{31,41}. 이러한 이유로 DWT는 이미 JPEG 2000의 표준 변환방법으로 결정되었으며⁵¹, MPEG4 에서도 일부 DWT를 사용하기에 이르렀다⁶¹.

DWT를 수행함에 있어서 영상의 화질이나 수행 속도, 그리고 하드웨어(hardware, H/W)로 구현할 경우^{31,41,71} H/W의 양 등에 영향을 미칠 수 있는 문제 중 하나가 영상의 경계부분 화소들의 처리문제

이다⁸¹⁻¹¹¹. 특정 화소에 대한 DWT를 수행할 때 그 화소 전후의 몇 화소들에 대한 정보를 사용하게 되는데, 영상경계 주위의 화소에 대한 문제는 이 화소들에 대한 DWT를 수행할 때 필요한 화소정보를 어떻게 얻는가 화질 및 영상처리 속도 등에 영향을 미친다는 것이다. 현재까지 진행된 연구로는 대상 영상에 대해 상하좌우방향으로 대칭적인 영상이 존재한다고 가정하는 대칭적 영상확장(Symmetric Expansion, SE)방법⁸¹, 대상영상이 상하좌우로 주기적으로 배치되어 있다고 가정하는 주기적 영상확장(Periodic Expansion, PE)방법⁹¹, 그리고 상하좌우에 0 값의 화소들이 배치되어 있다고 가정하는 0-화소 확장(Zero Padding Expansion, ZPE)방법^{101,111}이 연구되었다. 이들은 한 열(행)에 대한 DWT가 끝난 후 그 다음 열(행)에 대한 DWT가 시작되기 전 영상정보를 저장하고 있는 메모리로부터 필요 이상의 데이터를 가져와야 하기 때문에 동작속도는 물론이고 H/W 구현 시 H/W 양과 그 복잡도가 증가한다.

이에 본 논문에서는 DWT를 수행하는 대상영상이 DWT를 수행하는 방향으로 화소들을 직렬로 연속적인 배치를 하고 있다고 가정하는 직렬-연속 처리(Serial-Sequential Processing, SSP)방법을 제안한다. 이 방법은 2차원 영상을 1차원적인 배열로 가정하는 방법으로, 압축률이 3:1 이상의 경우 위의 방법들에 비해 화질의 손상이 없고 기존의 방법들이 가지고 있는 메모리 참조문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 SSP방법을 log-scale 고정 양자화기(quantizer)를 부착하여 소프트웨어(software, S/W) 및 H/W(VHDL 행위-수준설계 및 합성)로 구현하고, 여러 영상에 대해 실험을 수행하여 기존 연구들과 SNR(Signal-to Noise Ratio), 메모리 참조횟수, 그리고 H/W의 복잡도를 비교하여 그 우수성을 보인다.

II. 2차원 DWT의 경계화소 처리

본 장에서는 본 논문에서 다루고자 하는 영상의 경계부분 화소들을 처리하는 방법들에 대해 피력한다. 먼저, 2차원(2-dimensional, 2-D) DWT에 대해 설명한다.

1. 2차원 DWT

2-D DWT는 1-D DWT의 확장으로 볼 수 있으며, 1-D DWT는 웨이블릿 필터를 사용하여 다음 수식의 변환을 수행한다.

$$y_{low}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(2k-n)h(n) \tag{1-1}$$

$$y_{high}(k) = \sum_{n=0}^{M-1} x(2k-n)g(n) \tag{1-2}$$

여기서 $x(k)$ 는 영상의 화소를 나타내고, $h(k)$ 와 $g(k)$ 는 각각 저대역 통과 웨이블릿 필터와 고대역 통과 웨이블릿 필터를 나타내며, N 과 M 은 저대역과 고대역 필터 계수의 개수를 각각 나타낸다. 식 (1-1) 또는 (1-2)를 그림으로 표현하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있는데, 이 그림은 필터 계수가 모두 9개의 값(9-tap)을 갖는 것으로 가정한 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 N-탭 웨이블릿 필터를 사용하는 경우 빗금친 한 화소의 DWT를 수행하기 위해서 N번의 곱셈과 N-1번의 덧셈을 수행한다.

이러한 1-D DWT는 2-D 영상에 대해 열과 행방향으로 1-D DWT를 각각 수행함으로써 2-D DWT가 수행된다. 한 영상에 대해 2-D DWT를 수행하면 모두 4개의 결과영상이 생성되는데, 각 결과는 열과 행에 대해 고대역-고대역(HH), 고대역-저대역(HL), 저대역-고대역(LH), 저대역-저대역(LL)을 통과한 영상이다. 이 4개의 결과영상을 모두 사용할 경우 원 영상의 4배에 해당하는 영상데이터를 처리하여야 하므로, 일반적으로 각 DWT를 수행할 때 두 화소 중 하나만을 처리하는 decimation을 수행하여 DWT 결과 영상의 데이터 양을 원래 영상과 동일하게 한다. 이렇게 2-D DWT를 수행하는 절차를 그림 2에 나타내었는데, 그림에는 2-D DWT를 두 번 수행하는 경우(2-레벨)를 나타내고 있다. 인간의 눈이 고주파 성분보다 저주파 성분에 민감하다는

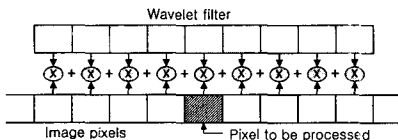


그림 1. 1차원 DWT

것에 착안하여 여러 레벨 DWT를 수행하는 경우는 그 전 DWT 결과 중 가장 저주파 성분만을 포함하는 LL영상에 대해 다음 레벨을 수행한다. 그림 2의 2-D DWT 방법을 Mallat-tree 방식이라고 한다^[2]. 그림 3에는 Mallat-tree 방식으로 3-레벨 DWT를 수행한 결과 영상을 각 부대역별로 나타내었다. 이 그림에서 부대역 0이 가장 낮은 주파수 대역을 나타내며, 부대역 10은 가장 높은 주파수 대역을 나타내고 있다. 일반적으로 Mallat-tree 방식의 2-D DWT를 L-레벨 수행한 결과는 $3L+1$ 개의 부대역으로 영상이 분리된다.

2. 영상의 경계화소 처리방법

그림 1에 나타난 DWT를 영상의 경계부분 화소에 적용할 경우를 그림 4에 나타내었다. 이 그림은 빗금친 화소에 대한 DWT를 수행하는 상황을 나타내고 있는데, 실제의 경우 대상 화소의 좌측 화소들은 실제의 경우 존재하지 않는 화소들이다. 그러나 이 화소들은 DWT를 수행하는데 반드시 필요하며, 이러한 경우는 영상의 상하좌우 모든 방향에서 발생하며, 사용되는 DWT 필터의 종류에 따라서도 이러한 화소의 양이 좌우된다. 그림 4의 경우는 9-탭 필터를 가정하였으므로, 영상의 한 열에 대한 DWT를 수행하는 데 8개의 화소를 확장하여야 한다. 일반적으로 N-탭 필터를 사용하여 $n \times m$ 영상을 1-레벨 2-D DWT를 수행할 경우 $\lfloor \frac{N}{2} \rfloor \times 2(n+m)$ 개 화소를 확장하여 사용하여야 한다.

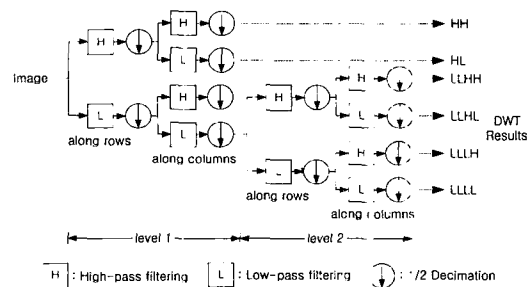


그림 2. 2차원 DWT의 2-레벨 수행절차

0	2	5	
1	3	8	
4		6	
7		9	

그림 3. 3-레벨 2-D DWT 결과

2.1 주기적 확장(PE) 방법

한 프레임의 영상을 처리할 때 대상영상과 동일한 영상이 상하좌우에 각각 존재한다고 가정할 수 있는데, 이러한 확장방법을 주기적 확장(PE)라 하며⁹⁾, 그림 5 (b)에 나타내었다. 즉, 이 방법은 사방연속무늬와 같이 네 방향으로 동일한 영상이 반복된다고 가정한다. 이 방법은 완전복원이 가능한 유일한 방법으로 알려져 있으며⁹⁾, 많은 응용분야에서 이 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 SE와는 달리 경계부분의 화소들을 처리하기 위해서 영상의 반대편 화소들의 정보를 사용하므로, 메모리 참조횟수가 상당히 늘어나며, 메모리의 참조 순서가 일률적일 수 없으므로 이에 대한 제어기능이 추가로 필요하다.

p-탭 저역통과 필터와 q-탭 고역통과 필터를 사용하여 N×M 영상에 대해 L-레벨 DWT를 수행하는 경우, 레벨 1에서 한 열의 DWT를 위해서 좌측과 우측의 각각 확장된 영상을 메모리로부터 추가로 읽어들이야 한다. 한 열의 화소정보를 모두 내부 메모리에 저장하는 경우 내부메모리의 양이 매우 커지므로 내부 메모리는 p와 q 중 큰 값만큼의 저장장소를 갖는 것이 일반적이다. 본 논문에서도 이와 같이 가정하며, 이 경우 한 열을 처리하기 위해서 (p+q) 개의 화소정보를 메모리로부터 추가로 읽어들이야 한다. 이와 같은 해석을 행방향 DWT에 적용하면, 한 행의 DWT를 위해서도 (p+q) 개의 메모리 읽기가 추가로 필요하다. 따라서 레벨 1의 2D-DWT를 수행하는데 추가되는 메모리 읽기 횟수는,

$$\Delta M_{Read,1}^{PE} = (p+q)M + (p+q)N = (p+q)(N+M) \quad (2)$$

가 된다. L 레벨 DWT를 수행할 경우 레벨이 증가함에 따라 행과 열이 모두 1/2로 줄어들므로 추가되는 총 메모리 읽기 횟수는,

$$\begin{aligned} \Delta M_{Read}^{PE} &= \sum_{k=0}^{L-1} \frac{1}{2^k} (p+q)(N+M) \\ &= (p+q)(N+M)(2-2^{-(L-2)}) \\ &\approx 2(p+q)(N+M) \end{aligned} \quad (3)$$

이 된다.

메모리 읽기를 수행하는 방법에 있어서도 영상의 경계부분과 그 외 부분의 처리는 다소 차이를 보인

다. 경계부분을 제외한 나머지 부분은 영상이 저장된 차례로 필요한 화소정보(1/2 decimation의 경우 2개씩)를 읽어 DWT를 수행하나, 경계부분 화소의 경우는 그림 4에서 본 바와 같이 영상의 반대편 화소들의 정보를 메모리로부터 읽어와야 한다. 메모리의 데이터를 읽어오는 과정은 메모리 종류에 따라 다르겠지만, 메모리 번지를 지정하는 과정은 반드시 포함되어야 한다. S/W 구현의 경우나 H/W 구현의 경우 모두 일반적으로 연속적인 데이터를 읽어오기 위해서는 카운터와 같은 일정한 형태의 동작모듈을 사용하는데, PE의 경우 경계부분의 화소들을 처리하기 위한 메모리 읽기는 이러한 규칙적인 동작에서 벗어나야 한다. 따라서 이를 위한 특별한 제어를 수행하여야 하고, 특히 H/W 구현의 경우 이러한 제어동작이 전체동작에 큰 영향을 미칠 수 있다.

2.2 대칭적 확장(SE) 방법

그림 4의 화소 확장방법 중 하나는 DWT를 진행하는 방향으로 원래의 영상을 대칭 확장하는 것이며⁸⁾, 그림 5 (a)에 도식적으로 나타내었다. 이 방법은 경계부분의 영상처리에 있어서 영상의 연속성을 최대한 활용하기 위한 방법이다. 즉, 경계부분 화소들의 대칭적인 확장으로 영상이 급하게 변화하는 것을 막아 경계부분의 저주파성분을 최대로 한다. 일반적으로 인간의 눈이 영상의 저주파성분, 즉 완만히 변화하는 성분에 대해 민감하다는 특성을 이용한 것이나, 가장자리의 화소들에 대해 덜 민감하다는 눈의 특성을 충분히 감안하지 못한 단점이 있다. 또한 정량적인 비교에서도 이 방법은 완전복원(perfect reconstruction)이 불가능한 것으로 판명되었다. 정량적인 비교는 4장에서 다시 언급하기로 한다.

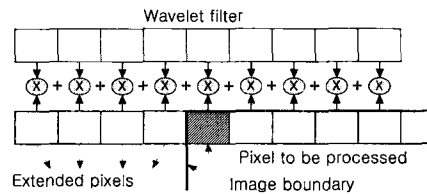


그림 4. 경계화소의 DWT

이 방법을 구현하는 것과 관련한 특징들은 다음과 같다. 이 방법에서 영상정보를 저장하고 있는 메모리를 참조하는 횟수는 영상을 확장하지 않은 때와 동일하다. 그러나, 경계부분의 영상확장을 위하여 메모리로부터 읽어들이는 데이터를 적절한 내부메

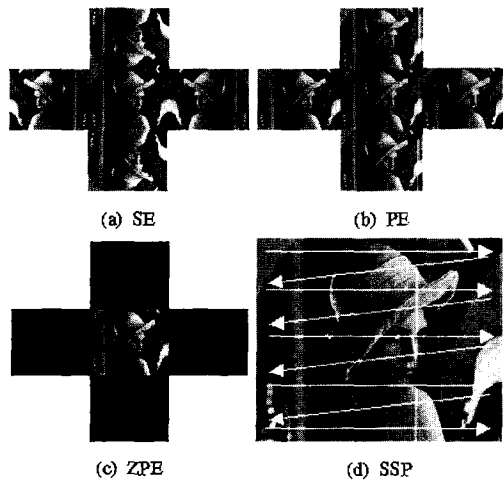


그림 5. 경계화소 처리방법들

모리에 중복 복사하거나 필터 계수와의 곱셈 및 그 결과의 덧셈을 위해 특별한 제어가 필요하다. PE에서와 마찬가지로 이러한 제어기능은 부가적으로 필요하며, 이 제어기능은 시스템 전체의 동작속도에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 특히 H/W 구현의 경우는 부가된 H/W를 그 기능을 사용하든 하지 않든 신호가 통과하여야 하고, 동작주파수를 결정할 때 최대 지연시간을 기준으로 결정되므로 전체 시스템의 동작속도에 큰 영향을 미칠 수 있다.

2.3 0-화소 삽입 확장(ZPE) 방법

SE나 PE와는 달리 영상주위에 아무런 영상정보가 없는 것으로 가정하는 방법도 제시된 바 있는데¹⁰⁾, 이 경우 영상주위는 흑백영상의 경우 완전히 검은 영상들이 존재하는 것으로 간주된다. 이 방법을 그림 5 (c)에 나타내었는데, 이 방법은 PE에서와 같은 추가적인 메모리 읽기 동작이 필요하지는 않다. 그러나 PE에서 언급한 바와 같이 경계부분의 화소들을 처리하기 위해서 정상적인 영상정보와 확장된 0-영상의 적절한 배열 또는 적절한 필터계수와 곱셈처리를 위하여 SE와 같이 필요한 부가적인 제어기능이 필요하다.

2.4 직렬-연속 처리(SSP)방법

PE, SE, ZPE는 모두 메모리 참조횟수가 증가하거나 부가적인 제어기능을 필요로 하여 실행속도를 저하시키거나 구현의 어려움을 초래한다. 이에 본 논문에서는 메모리의 추가적인 참조와 부가적인 제어기능을 최소화하여 2-D DWT를 효과적으로 수행할 수 있는 경계화소 처리방법을 제안한다. 이 방법

은 그림 5 (d)에 나타내었는데, 이 그림은 열방향 DWT를 수행하는 예를 나타내고 있다. 이 방법은 열방향 DWT를 수행할 때에는 한 프레임의 영상이 열방향에 대해 서로 직렬로 연결되어 있는 것으로 간주한다. 이로써 한 열의 DWT가 끝나고 다음 열의 DWT를 수행할 때 PE나 SE처럼 완전히 새로운 데이터들로 DWT를 수행할 필요없이 그 전 열의 DWT에 사용되었던 데이터들을 경계부분 이외의 경우에서의와 동일하게 사용하여 DWT를 수행할 수 있다. 행방향 DWT를 수행할 때는 한 영상의 화소들이 행방향에 대해 서로 직렬로 연결된 것으로 간주하면 열방향 DWT와 동일한 성격으로 DWT를 수행할 수 있다.

이 방법은 2-D 영상 데이터를 열(행)방향으로 1-D 영상 데이터로 변환하여 열(행)방향의 DWT를 수행하는 방법이다. 그림 5의 다른 확장방법과 비교한다면 SSP는 PE와 가장 유사하며, 단지 확장된 영상이 열방향의 경우(좌우의 확장영상) 한 열씩 아래로 이동한 영상이며, 행방향의 경우(상하의 확장영상)는 우측방향으로 한 행씩 이동한 영상에 해당한다. 따라서 이 확장방법은 PE와 가장 근접한 성격을 갖는데, 이것은 IV장에서 피력하기로 한다.

본 논문에서 제안하는 확장방법은 그림 6에 따로 나타내었다. 여기서 영상의 가로와 세로의 흰 선은 한 열과 행을 나타내는 단위로 간주한 것이다.

III. 구현

제안한 방법의 성능을 검사하기 위해서 그림 5의 네 방법 모두를 S/W 및 H/W로 구현하였는데, S/W는 C-언어를 사용하였고, H/W는 VHDL 행위-수준 설계를 수행하여 동일한 합성조건으로 합성하였다. H/W 구현의 경우 설계 플랫폼으로는 Altera FPGA를 타겟으로 하였으며, Altera MAX+PLUS II로 시

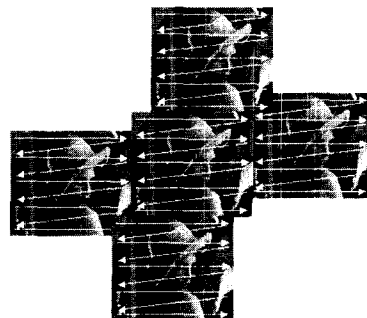


그림 6. 제안한 SSP 방법의 영상확장

플레이션 및 합성을 수행하였다.

대상영상은 프레임 단위로 처리하는 것으로 하였고, 한 프레임 영상의 크기는 352×288화소(CIF 포맷)로 하였다. DWT에 사용되는 웨이블릿 필터는 Daubechies의 (9,7) bi-orthogonal 필터이며, 2-D DWT는 그림 2의 Mallat-tree 방식으로 3-레벨까지 수행하여 그림 3의 결과를 생성하는 것으로 하였다. DWT를 위해 사용되는 데이터 포맷은 16-비트 고정소수점 형식으로, 최상위 1 비트는 부호비트, 다음 8 비트는 소수점 위의 데이터 값, 그리고 나머지 7 비트는 소수점 이하의 데이터를 나타낸다.

일반적으로 영상처리의 응용분야는 영상의 압축/복원이 대부분이므로 본 논문의 구현 또한 압축/복원을 수행할 수 있도록 그림 7의 흐름도와 같이 양자화기(quantizer) 및 역양자화기(de-quantizer)를 함께 구현하였다.

양자화기 및 역-양자화기는 H/W 구현의 용이성을 고려하여 고정 log-scale 양자화기를 설계하여 사용하였는데, 그림 8에 이 양자화기를 도시하였다. 이 양자화기의 bin 크기는 base가 2인 log값으로 결정하였는데, 0-bin의 경우는 DWT 결과의 각 부대역 웨이블릿 계수들이 Gaussian 분포와 유사한 분포를 가짐에 착안하여 그 크기를 2배로 설정하였다. 양자화 범위(dynamic range, Gamma: 양자화되는 데이터 값의 범위)는 약 100개의 영상을 대상으로 실험적으로 설정하였으며, 절대값이 양자화 범위보다 큰 데이터들은 최고(양의 값의 경우) 또는 최저(음의 값인 경우)의 양자화 값을 그 양자화 값으로 설정하였다. 양자화기의 bin 크기 및 bin의 개수는 DWT 결과의 각 부대역에 얼마나 많은 데이터 비

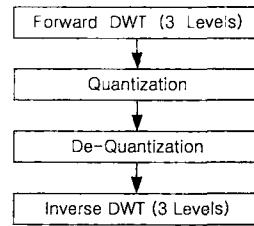


그림 7. 구현 흐름도

트를 할당하는데 달려 있으며, 이것은 또한 데이터의 압축률을 결정한다. 본 논문에서는 압축률이 증가함에 따른 본 논문에서 제시한 SSP의 성능을 실험하기 위하여 각 부대역의 할당 비트수를 조정하여 압축률을 조정하면서 실험을 수행하였다. 표 1에 부대역별 할당비트수를 해당 압축률과 함께 나타내었다. 표에서 각 부대역의 번호는 그림 3의 부대역 번호를 나타내며 각 비트 할당에 대한 압축률은 각 열의 우측에 나타내었다. 주어진 압축률에 대한 각 비트 할당은 저주파 부대역 쪽에 에너지분포가 높다는 사실을 기초로 하여 최적의 할당비율을 실험적으로 결정하였다. 표 1의 최하단에는 각 부대역의 양자화 범위를 나타내었다.

일반적으로 영상 또는 음성신호의 압축과정에는 그림 7의 양자화과정 다음에 엔트로피 코딩(entropy coding)이 포함되는데, 엔트로피 코딩은 일반적으로 정보의 손실이 없는 무손실 압축(lossless compression)과정이다. 본 논문의 목적이 압축에 의한 정보의 손실이 있는 경우 기존의 방법에 대한 제안한 SSP 방법의 성능 및 구현의 용이성을 실험하는 것이므로, 본 논문에서는 엔트로피 코딩부분을 사용하지 않았다. 일반적으로 엔트로피 코딩은 약 2배 정도의 압축률을 갖는 것으로 알려져 있으므로, 표 1의 압축률에 2배 정도의 압축률이 엔트로피 코딩을 포함한 압축률이라 간주할 수 있다.

H/W 구현은 그림 7의 동작을 수행하도록 VHDL

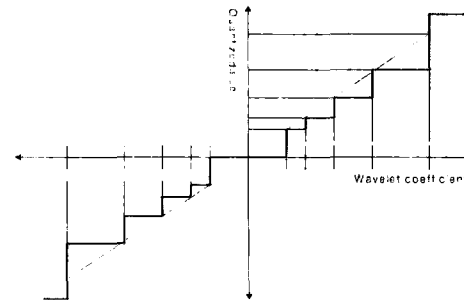


그림 8. 설계된 고정 양자화기

표 1. 부대역별 할당 비트수 및 압축률

Sub-bands resulting from DWT										Comp. Ratio
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	1.00
9	7	6	6	5	5	5	4	3	2	2.06
9	6	5	5	4	4	4	2	2	2	3.03
9	5	5	5	4	3	3	2	1	1	4.00
9	5	5	5	4	3	3	2	0	0	5.33
9	5	5	5	4	3	3	0	0	0	8.00
9	5	5	5	4	2	2	0	0	0	9.14
9	5	4	4	3	2	2	0	0	0	10.24
9	5	4	4	2	2	2	0	0	0	11.13
9	3	2	2	2	2	2	0	0	0	12.80
9	2	2	2	2	2	1	0	0	0	14.63
9	2	2	2	2	1	1	0	0	0	16.52
9	2	2	2	1	1	1	0	0	0	18.96
9	1	1	1	1	1	1	0	0	0	21.33
100	150	150	70	90	160	100	100	100	Gamma	

행위-수준 코딩을 수행하여 합성하는 방식으로 수행하였다. 그림 9에 구현된 H/W의 블록도를 나타내었는데, 입력 레지스터, DWT 커널, 양자화 모듈, 메모리 제어기, 그리고 전체 제어기/스케줄러의 5개의 기능모듈로 구성되었다. 그림에서 실선의 데이터, 점선은 제어신호를 각각 나타낸다. DWT 커널모듈은 DWT 또는 역 DWT를 수행하며, 1개의 MAC (Multiplier and Accumulator)를 포함한다. 압축과정은 외부메모리에 저장된 웨이블릿 계수를 읽어서 입력 레지스터에 저장한 후 이 데이터를 사용하여 수행되며, 수행된 결과는 외부메모리에 다시 저장하거나 양자화기를 거쳐 압축된 데이터의 저장장소로 보내진다. 복원과정은 압축된 영상데이터를 외부메모리에 저장한 후 메모리와 역DWT 커널사이에 이루어진다. 메모리의 읽기/쓰기 동작은 메모리 제어기가 담당하며, 그 외의 제어동작 및 전체적인 DWT-양자화/역DWT-역양자화 스케줄링은 전체 제어기/스케줄러가 담당한다. 한 열 또는 한 행의 데이터를 모두 읽어 내부 레지스터에 저장하는 방식을 택할 경우 입력 레지스터 모듈의 크기가 과다해지고 H/W의 사용효율이 떨어지므로 입력 레지스터는 탭수에 해당하는 데이터만을 저장할 수 있도록 설계하였다.

메모리 읽기 동작을 수행하는데 있어서 SE의 경우는 한 열 또는 행의 DWT를 수행한 후 메모리로부터 읽어오는 데이터들을 적절한 순서로 입력레지스터에 복사하는 방식으로 구현하여 추가적인 메모리 읽기 동작이 없도록 하였다. 또한 ZPE의 경우도 새로운 열 또는 행의 DWT를 수행할 때 필요한 데이터만을 읽어오고 나머지는 0으로 채우는 방식으로 설계하여 메모리 읽기 동작이 추가로 필요하지 않게 하였다. 그러나 입력 레지스터의 크기 때문에 PE의 경우는 매 열 또는 행의 처리가 끝나면 확장영상을 구축하기 위해 추가적인 메모리 읽기 동작을 수행하도록 하였다. 구현된 H/W 코덱은 33MHz의 클럭에 맞추어 동작하도록 설계되었다.

IV. 실험 및 결과

구현된 S/W 및 H/W 코덱(codec)에 100여 개의 대상영상을 적용하여 본 논문에서 제시한 방법의 성능을 기존의 방법과 비교하였다. 먼저 압축률 증가에 따른 SNR의 추이를 실험하였는데, 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 이 그림에는 100여개의 영상 중 대표적인 ratio8개의 영상만을 나타내었다.

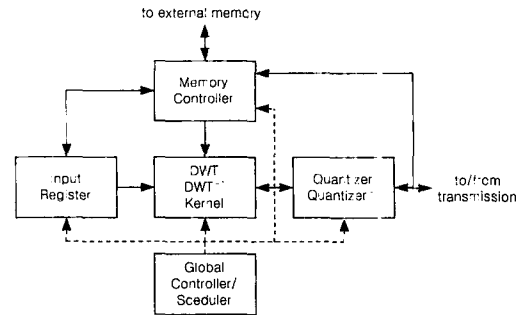


그림 9. 구현된 H/W의 블록도

앞에서 언급한 바와 같이 PE는 압축률이 1:1(압축하지 않은 경우)일 때 완전복원이 되는 것을 알 수 있으며(16 비트 데이터 포맷을 감안), 제안한 SSP는 PE와 매우 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 제안한 SSP 방법과 PE 방법이 SE나 ZPE 방법보다 우수한 결과를 보임을 알 수 있다.

그림 10의 데이터 값을 보다 정확히 비교하기 위해 대상영상 100여개에 대한 SNR값들을 평균하여 그림 11에 다시 나타내었다. 그림 11 (a)은 표 1의 압축률 범위 전체를 나타낸 것으로, 압축률이 2:1 이하의 경우는 PE가 제안한 SSP보다 월등히 좋은 결과를 보이고 있으며, 나머지 SE나 ZPE보다 제안한 SSP가 전체 압축률 범위에서 우수한 성능을 보이고 있다. 그림 11 (b)을 참조하면 압축률이 약 2:0 이상의 경우 제안한 SSP 방법은 PE와 거의 같은 SNR 값을 가지며, SE나 ZPE에 비해 월등히 우수한 성능을 갖는다는 것을 보여주고 있다. 즉, SSP는 압축률 2:1 이상의 경우 PE와는 거의 같고, ZPE에 대해 약 9.6%, SE에 대해 약 15.3% 높은 SNR 성능을 보이고 있다. 따라서 제안한 SSP 방법은 압축률 2:1(엔트로피 코딩을 포함하여 약 4 : 1) 이상의 경우 PE, SE, ZPE 어느 방법에 비해 뒤지지 않는 SNR 성능으로 사용될 수 있다.

표 2에 각 방식에 대한 S/W의 수행시간을 나타내었는데, Pentium3 866MHz 컴퓨터의 환경에서 2500개의 영상에 대한 DWT와 IDWT를 수행한 결과를 평균한 결과값이다. 수행시간 측정에 사용된 프로그램들은 각각의 방법에 대해서 경계 처리를 하는 부분만을 제외하고 동일한 프로그램으로 구성이 되어있다. 그리고 프로그램들은 부가적인 부분(최대/최소 화소 검출, PSNR 계산, 영상 출력 등)들을 모두 제외하고 DWT, 양자화, 역DWT, 그리고 역양자화만을 수행하도록 되어 있다. PE와 SE 그리

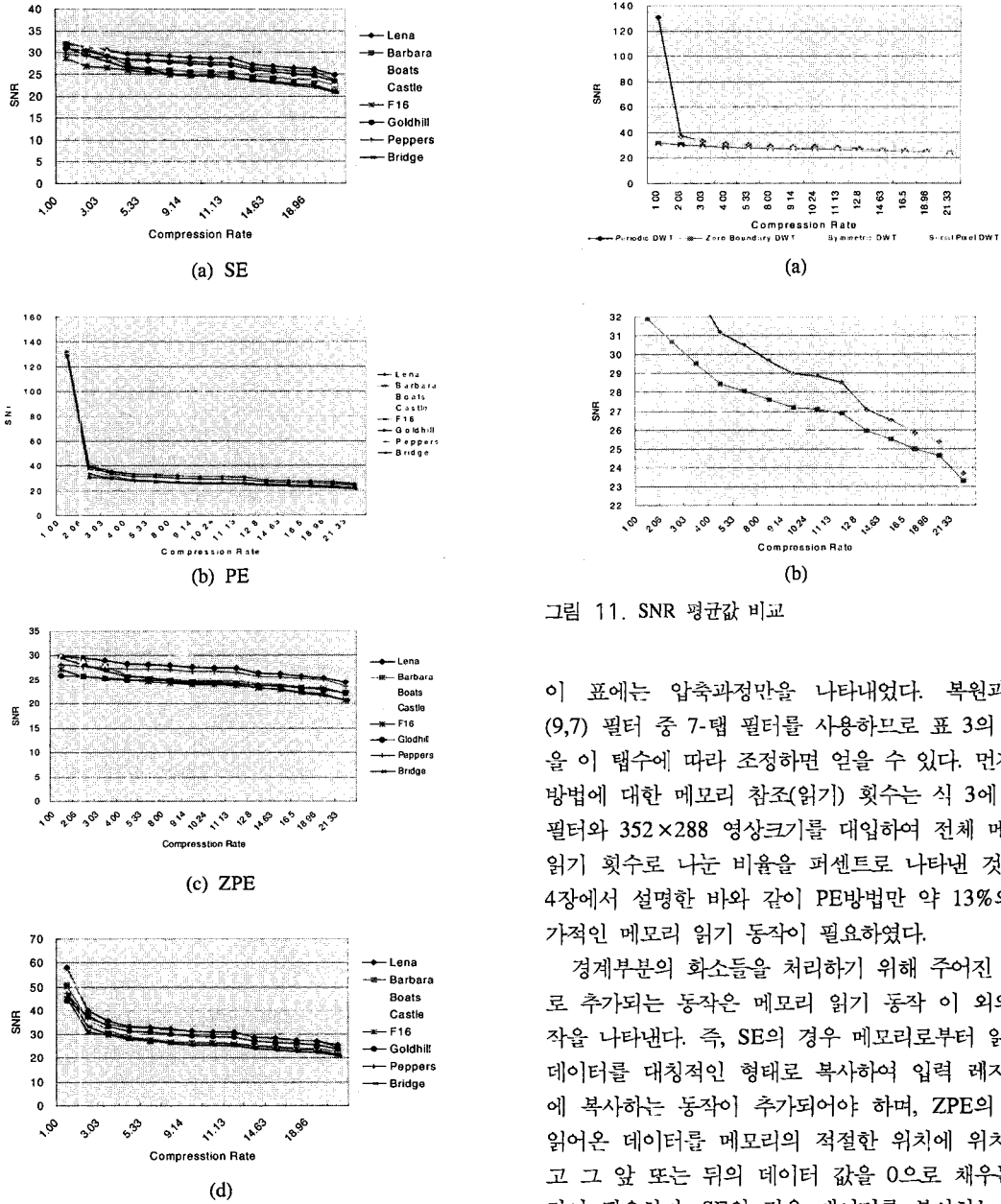


그림 10. 네 방법의 압축률 증가에 따른 SNR 변화

고, SSP 방식은 호출주소의 차이는 있지만 wavelet transform에 사용되는 화소값들이 함수에 저장된 것으로 국한되기 때문에 함수의 호출 수는 같고 소프트웨어적으로는 일정함을 보인다. ZPE 방식은 화소의 사용에 있어서 함수의 호출 외에 경계조건에 대한 영값의 삽입 과정이 부가되므로 가장 느린 결과를 보인다.

표 3에 그림 9의 H/W 구현 결과를 나타냈는데,

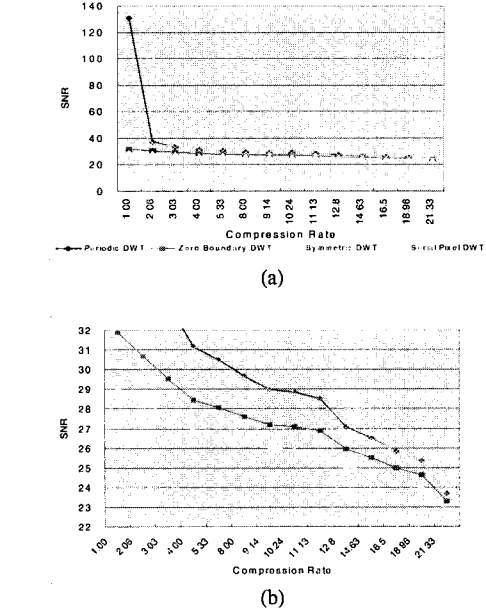


그림 11. SNR 평균값 비교

이 표에는 압축과정만을 나타내었다. 복원과정은 (9,7) 필터 중 7-탭 필터를 사용하므로 표 3의 값들을 이 탭수에 따라 조정하면 얻을 수 있다. 먼저 네 방법에 대한 메모리 참조(읽기) 횟수는 식 3에 9-탭 필터와 352×288 영상크기를 대입하여 전체 메모리 읽기 횟수로 나눈 비율을 퍼센트로 나타낸 것이다. 4장에서 설명한 바와 같이 PE방법만 약 13%의 추가적인 메모리 읽기 동작이 필요하였다.

경계부분의 화소들을 처리하기 위해 주어진 H/W로 추가되는 동작은 메모리 읽기 동작 이외의 동작을 나타낸다. 즉, SE의 경우 메모리로부터 읽은 데이터를 대칭적인 형태로 복사하여 입력 레지스터에 복사하는 동작이 추가되어야 하며, ZPE의 경우 읽은 데이터를 메모리의 적절한 위치에 위치시키고 그 앞 또는 뒤의 데이터 값을 0으로 채우는 동작이 필요하다. SE의 경우 데이터를 복사하는 동작은 한 번에 한 데이터 씩 복사하는 방식을 취했으며, ZPE의 0-삽입동작은 해당 플립플롭의 리셋기능

표 2. S/W 수행시간 결과

Method	Average Operation time(sec)
PE	0.2540
SE	0.2540
ZPE	0.2544
SSP	0.2540

표 3. H/W 구현 결과

Method	Extra Memory accesses ratio	Extra # of operations for boundary process	Size of controller (ratio)
SE	0%	13,440	766(22.0%)
PE	12.99%	0	761(21.2%)
ZPE	0%	3,360	416(11.9%)
SSP	0%	0	206(5.92%)

을 사용하였다. 따라서 SE가 ZPE에 비해 4배의 추가적인 동작이 필요하다.

표 3의 마지막 항은 메모리 제어기 및 전체 제어기/스케줄러의 H/W 양을 비교한 것으로, 그림 9의 두 모듈만을 따로 합성한 결과 사용된 Altera FPGA의 셀 수를 나타낸 것이다. SE와 PE가 가장 많은 제어재원을 필요로 하였으며, 본 논문에서 제시한 SSP가 가장 적은 재원으로 제어가 가능하였다.

그림 10, 그림 11 및 표 3의 결과로 보아 본 논문에서 제시한 방법은 적은 재원으로 H/W적 구현이 가능하고, 압축률이 2:1 이상의 경우는 기존의 방법에 비해 뒤지지 않는 영상복원 능력을 갖고 있음이 입증되었다.

V. 결론

본 논문에서는 2차원 DWT를 기반으로 하는 영상압축/복원의 응용분야를 타겟으로 영상의 경계부분 화소들을 효과적으로 처리할 수 있는 직렬-연속 처리(SSP)방법을 제안하였다. 이 방법은 2차원 영상을 DWT 처리방향에 따라 1차원적인 배열로 간주하는 방법으로 그 성격상 주기적인 영상확장(PE)방법을 각 영상의 경계에서 한 화소 이동시킨 방식으로 해석이 가능하다.

제안한 방법과 기존의 경계화소 처리방법을 S/W 및 H/W로 구현하여 20배까지 압축률을 증가시키며 압축률에 따른 SNR을 조사한 결과 2:1 이상의 압축률에서 PE 방식과 유사한 SNR을 보이고 다른 방식에 대해서 우수한 SNR을 보였다. 하드웨어 구현 시 경계처리를 위한 부가적인 메모리 참조가 불필요하여 동작 시간의 감소를 가져왔고 메모리 참조를 위한 주소 제어기의 하드웨어 자원도 가장 작게 나타났다. 메모리 참조를 위한 주소 제어기의 구현 시 영상 화소의 구조를 1차원적 배열 형태로 메모리에 저장하므로 단순 카운터로써 메모리 호출주소를 발생시킬 수 있다. 이는 하드웨어 구조의 복잡

도를 상당히 감소시켜 구현의 용이화를 가져오고 웨이블릿 기반 영상압축/복원기의 구현 시 쉽게 적용될 수 있는 가능성을 준다.

따라서 본 논문에서 제안한 경계화소 처리방법은 DWT를 기반으로 하는 영상압축/복원 응용분야에서 기존의 방법에 대해 우수한 성능으로 H/W 및 S/W 구현이 용이하며 그 비용이 적어 향후 그 응용이 확대될 수 있으리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] J. D. Gibson, et al., *Digital Compression for Multimedia, Principles and Standards*, Morgan Kaufmann Pub., San Francisco CA, 1998.
- [2] R. M. Rao, and A. S. Bopardikar, *Wavelet Transforms, Introduction to Theory and Applications*, Addison-Wesley, Reading MA, 1998.
- [3] A. Grzeczczak, et al., "VLSI Implementation of Discrete Wavelet Transform", *IEEE Trans. on VLSI Systems* Vol. 4, No. 4, pp. 421-433, Dec. 1996.
- [4] David Starr and Kevin Leary, "The Advantages of Wavelet Techniques in Video Capture", *Technical paper of Analog Devices*, 1996.
- [5] Martin Boliek, et al., *JPEG 2000 Part 1 Final Draft International Standard*, ISO/IEC JTC1/SC29 WG1, 24 Aug. 2000.
- [6] M. Ravasi, et al., "Wavelet Image Compression for Mobile/Portable Applications", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 3, pp. 794-803, Aug. 1999.
- [7] Po-Cheng Wu and Liang-Gæ Chen, "An Efficient Architecture for Two-Dimensional Discrete Wavelet Transform", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 4, pp. 536-545, April 2001.
- [8] J. N. Christopher, et al., "Reflected Boundary Conditions for Multirate Filter Banks", *Signal Proc.*, Vol. 20, pp.308-310, 1992.
- [9] G. Karlsson and M. Vetterli. "Extension of Finite Length Signals for Sub-band Coding", *Signal Proc.*, Vol. 17, pp. 161-168, 1989.
- [10] K. McGill and C. Taswell, "Length-preserving Wavelet Transform Algorithm for Zero-padding

and Linearly-extended Signals”, reprint Rehabilitation R&D Center, VA Medical Center, Pao Alto, CA, Mar. 1992.

[11] Macro Ferretti and Davide Rizzo, “Handling Borders in Systolic Architectures for the 1-D Discrete Wavelet Transform for Perfect Reconstruction”, IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 48, No. 5, pp. 1365-1378, May 2000.

서 영 호(Young-Ho Seo) 준회원



1999년 2월: 광운대학교
전자재료공학과 졸업(공학사).
2001년 2월: 광운대학교
대학원졸업(공학석사).
2000년 3월~2001년 12월:
인티스닷컴(주) 연구원.
2001년 3월~현재: 광운대학교
전자재료공학과 박사과정.

<주관심 분야> Image Processing/Compression, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계
e-mail : axl@explore.gwu.ac.kr

김 증 현(Jong-Hyeon Kim) 준회원



1997년 2월: 광운대학교
전자재료공학과 졸업(공학사).
1999년 2월: 광운대학교
대학원 졸업(공학석사).
2001년 2월~현재: 광운대학교
전자재료공학과 박사과정.
2000년 3월~2001년 2월:
인티스닷컴(주) 연구원.

2001년 3월~현재: 펜타마이크로(주) 연구원.
<주관심 분야> VHDL, DSP, Design verification, VLSI Testability

김 대 경(Dai-Gyoung Kim) 정회원

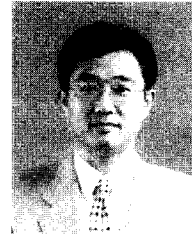


1983년 2월: 한양대학교
수학과 졸업(이학사).
1986년 2월: 한양대학교
수학과 대학원졸업(이학석사).
1994년 8월: Purdue 대학교
수학과 졸업(Ph. D)
1994년 9월~1995년 8월: 미국

Minnesota 대학 응용수학센터(IMA) Post-doctor

1995년 9월~현재: 한양대학교 응용수학과 조교수
<주관심 분야> 웨이블릿 이론 및 응용, 수치해석학,
편미분 방정식

유 지 상(Ji-Sang Yoo) 정회원



1985년 2월: 서울대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1987년 2월: 서울대학교
대학원 졸업(공학석사)
1993년 5월: Purdue 대학교
전기공학과 졸업(Ph.D.)
1993년 9월~1994년 8월:

현대전자산업(주) 산전연구소 선임연구원
1994년 9월~1997년 8월: 한림대학교 전자공학과
조교수
1997년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 부교수
<주관심 분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축,
영상인식, 비선형 신호처리

김 동 욱(Dong-Wook Kim) 정회원



1983년 2월: 한양대학교
전자공학과 졸업(공학사).
1985년 2월: 한양대학교
대학원 졸업(공학석사).
1991년 9월: Georgia 공과대학
전기공학과 졸업(공학박사).

1992년 3월~현재: 광운대학교 전자재료공학과 정교수.
광운대학교 신기술 연구소 연구원.
1997년 12월~현재: 광운대학교 IDEC 운영위원.
2000년 3월~현재: 인티스닷컴(주) 연구원.
<주관심 분야> 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD,
DSP 설계, Wireless Communication
e-mail : dwkim@daisy.gwu.ac.kr