

## 위성 영상을 위한 계수분할 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘에 관한 연구

한수영\* · 조성윤\*\*

한양대학교\*, 안양대학교\*\*

### Wavelet Packet Image Coder Using Coefficients Partitioning For Remote Sensing Images

Su-Young Han\* and Seong-Yun Cho\*\*

Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University\*, Dept. of Digital Media, Anyang University\*\*

**Abstract :** In this paper, a new embedded wavelet packet image coder algorithm is proposed for an effective image coder using correlation between partitioned coefficients. This new algorithm presents parent-child relationship for reducing image reconstruction error using relations between individual frequency sub-bands. By parent-child relationship, every coefficient is partitioned and encoded for the zerotree data structure. It is shown that the proposed wavelet packet image coder algorithm achieves low bit rates and rate-distortion. It also demonstrates higher PSNR under the same bit rate and an improvement in image compression time. The perfect rate control is compared with the conventional method. These results show that the encoding and decoding processes of the proposed coder are simpler and more accurate than the conventional ones for texture images that include many mid and high-frequency elements such as aerial and satellite photograph images. The experimental results imply the possibility that the proposed method can be applied to real-time vision system, on-line image processing and image fusion which require smaller file size and better resolution.

**Key Words :** Zerotree, Wavelet Packet, EZW, SPIHT, CPSO, On-line Image Processing, Satellite Photograph Image.

**요약 :** 본 논문에서는 효율적인 영상 부호화를 위해 분할계수의 상관관계를 이용한 새로운 웨이블릿 패킷 영상 부호화기 알고리즘을 제안한다. 제안된 웨이블릿 패킷 영상 부호화기 알고리즘은 주파수 부대역간의 상관관계를 이용하여 계수분할 순서(CPSO, Coefficient Partitioning Scanning Order)를 정의한 후, 이를 이용하여 새로운 부모-자식 노드 관계를 도출하고, 도출된 부모-자식 노드 관계를 이용하여 계수들을 제로트리 방식으로 부호화함으로써 영상 복원 시 오차를 감소시켰다. 그 결과 기존의 알고리즘들과 비교하여 비트율과 제곱 오차에 대해서 성능개선이 이루어 졌고, 응용분야에 따라 비트율 조절을 쉽게 제어할 수 있는 능력을 입증하였다. 특히 항공사진이나 위성사진 중 도시 중심부나 농경지 등과 같이 중고주파 대역성분이 많이 포함된 영상의 경우, 기존 알고리즘에 비해 처리 방법이 간단하면서도 정확한 결과를 보여준다. 또한 자료 영상들에 대한 실험 결과를 통해서, 제안한 알고리즘이 작은 파일크기에서도 고해상도를 요구하는 실시간 시스템이나 온라인 영상처리, 영상합성 분야에 적용될 수 있는 가능성이 있음을 증명하고자 하였다.

2002년 11월 9일 접수 : 2002년 12월 10일 수리.

## 1. 서론

비행기나 위성을 통해 수집된 영상의 대부분은 중대역 주파수 성분을 많이 포함하고 있는 텍스처 영상이 주를 이루고 있다. 저주파 대역만을 반복적으로 분할하는 피라미드 방식의 웨이블릿 변환과는 달리, 웨이블릿 패킷 변환은 각 주파수 대역에 능동적으로 웨이블릿 변환을 적용하기 때문에 복잡, 다양한 기하학적 구성을 갖는 일반 영상들과는 달리 정해진 기하학적인 패턴이 반복되는 텍스처 영상과 같은 비정상상태 신호를 해석하거나 표현하는데 적합하다. 즉, 비행기나 위성을 통해 높은 고도에서 찍혀진 도시 및 전원의 영상에서는 건물이나 풍경 등이 대개 반복적인 텍스처 패턴으로 표현된다. 이러한 사진들을 주파수대역으로 변환해 보면, 중고주파 대역성분이 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. 웨이블릿 패킷 변환은 이러한 중고주파 대역이 포함되어 있는 정보를 처리하는데 피라미드 방식의 웨이블릿 변환보다 좋은 성능을 보여준다(Ramchandran, 1993; Shapiro, 1993; Meyer, 1998).

그러나 웨이블릿 패킷 변환은 웨이블릿 기저함수의 다해상도 구조를 잃어버리게 되기 때문에 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서 이용되는 제로 트리 기법을 직접 응용하기에는 큰 무리가 따른다. 이는 공간적으로 동일한 위치에 있는 계수들로만 구성되는 트리를 생성하기는 불가능 하기 때문이다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 웨이블릿 패킷 분할 시 제공되는 부대역들의 분할 정보를 이용하여 부대역간의 관계를 새로이 정의함으로써 제로 트리 기법이 웨이블릿 패킷 변환에 적용 가능하도록 하였다. 알고리즘 전개 순서는 먼저 입력 영상을 9-7 biorthogonal 필터로 전대역에 걸쳐 웨이블릿 패킷 변환하고, 엔트로피를 기준으로 최적기저함수를 선택한다. 최적기저함수를 선택한 후, 이를 이용하여 패킷 변환된 계수들을 각 부대역의 분할 정보와 계수들의 중요도에 따라 계수를 분할하여 재구성한다. 이를 본 논문에서 계수분할순서

(CPSO, Coefficient Partitioning Scanning Order)라고 정의하고, CPSO에 따라 각 계수들을 계층적으로 양자화한다.

논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 기존 알고리즘의 원리와 문제점을 기술하고, 3절에서 본 논문에서 제시한 알고리즘을 설명한다. 4절에서는 선택된 원경 탐사 영상 자료들에 제안된 알고리즘의 적용결과를 통해 새로운 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 비트율(Bit Rate)과 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) 면에서 우수함을 입증하였고, 마지막으로 5절에서 결과를 요약하고, 차후 연구에서 논의되어야 할 문제들을 고찰하였다.

## 2 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘

웨이블릿 패킷 기반 부호화 알고리즘은 그림 1과 같이 크게 3 부분으로 나눌 수 있다. 우선 영상을 적절한 웨이블릿 필터를 이용하여 전대역에 걸쳐 분할하고 이렇게 분할된 계수를 토대로 입력 영상을 부호화하기에 가장 적합한 웨이블릿 패킷 변환 또는 기저 함수를 선택하여 영상을 재분할한다. 그리고 두 번째로 웨이블릿 패킷 계수를 양자화한다. 양자화기로는 스칼라 양자화기(scalar quantizer), 벡터 양자화기(vector quantizer), 다단계 양자화기(hierarchical quantizer) 등을 사용한다. 마

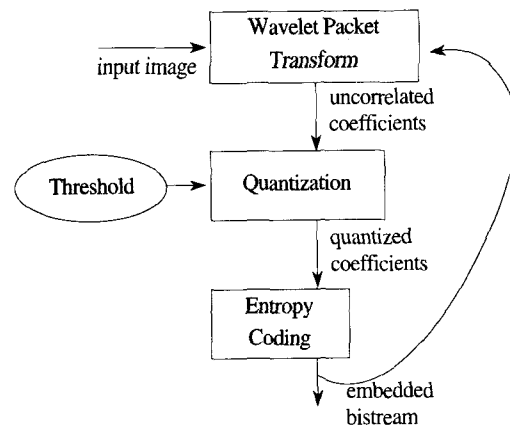


Fig. 1. Wavelet packet coding algorithm.

지막으로 허프만 부호화기(Huffman encoder)나 산술 부호화기(arithmetic encoder) 등의 엔트로피 부호화기로 부호화한다(Kim *et al.*, 1996).

### 1) 웨이블릿 패킷 변환

웨이블릿 패킷 변환에서 가장 중요한 문제는 가능한 모든 웨이블릿 패킷 중 주어진 영상에 가장 적합한 대역 분할 형태를 선택하는 것이다. 이를 위해 초기에는 엔트로피나 에너지를 기준으로 하는 방법들이 제시되었으나 비트율-양자화 왜곡을 토대로 Ramchandran과 Vetterli가 제안한 방법이 가장 최적화된 것으로 여겨지고 있다(Ramchandran *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1997). 그러나 이 알고리즘은 각각의 노드에 대해 모든 스칼라 양자화기를 적용해 보고 양자화 왜곡과 비트율을 계산하여 최적의 기저를 찾아가기 때문에 계산 복잡도가 너무 커서 실시간에 구현하기는 현재로서는 불가능하다. 더욱이 웨이블릿 패킷 변환과정에 이미 스칼라 양자화 과정이 포함되어 있기 때문에 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서 가장 널리 쓰이는 제로트리 웨이블릿 부호화의 핵심 기술인 다단계 양자화의 장점을 이용할 수 없도록 만드는 요인이 되고있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 비교적 간단한 형태인 엔트로피 기반 알고리즘(Coifman, 1992)을 기반으로 한 새로운 계수분할법을 응용한 웨이블릿 패킷 부호화 알고리즘을 제안하여 기존의 알고리즘들이 갖는 문제점들을 극복하고자 하였다.

### 2) EZW 와 SPIHT 알고리즘

EZW(Embedded Wavelet Transform)은 웨이블릿을 기반으로 하는 많은 영상 부호화 알고리즘 중 웨이블릿 변환의 장점을 가장 잘 이용하는 것으로 알려져 있다(Said *et al.*, 1996). EZW는 단순한 원리임에도 비트율-양자화 왜곡 성능이 좋고 계수 값이 큰 중요계수부터 먼저 부호화시켜 전송하는 임베딩(embedding) 특성을 가지고 있어 점진적 전송에 유리하다.

SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Tree)는

EZW를 개선시킨 알고리즘으로 EZW가 dominant pass와 subordinate pass라고 하는 두 개의 목록을 이용하여 계수들의 전송 순서를 결정하고 부호화하는데 반해 SPIHT는 LIP(List of Insignificant Pixel, 비중요계수들의 좌표집합)과 LIS(List of Insignificant Sets, 비중요계수들의 자식 계수들의 좌표집합 목록)을 이용하여 전송 순서를 보다 효율적으로 결정한다.

이 두 방법은 공통적으로, 동일한 방향을 갖는 대역간의 상관관계를 이용하여 양자화된 값이 0이 되는 계수들로 하나의 트리를 구성하고, 이 결과로 부호화기로 보내는 데이터의 양을 줄이는 효과를 이용한다. 그러나 웨이블릿 패킷 변환에서는 다해상도 구조가 명확하지 않아 위와 같은 대역간의 상관관계를 이용하기가 쉽지 않다. 즉, EZW나 SPIHT에서 이용되는 부모노드-자식노드 관계가 그대로 유지되지 않는다.

## 3. 계수분할 웨이블릿 패킷 부호화 알고리즘

이 절에서는 웨이블릿 패킷 변환과정에서 제공되는 부대역의 분할 정보에 따라 부모-자식 관계에 대응하는 CPSO를 새로이 정의하고, CPSO에 따라 각 계수를 제로트리 기법으로 양자화시켜 분할하는 새로운 웨이블릿 패킷 부호화기 알고리즘을 제안하고자 한다. 이를 통해 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서 효율적으로 사용되는 제로트리 기법을 웨이블릿 패킷 변환에서도 효과적으로 사용할 수 있음을 CPSO 알고리즘의 전개를 통하여 입증하고자 하였다.

### 1) 제안된 패킷 부호화기의 구성

제안한 알고리즘의 전체적인 부호화기 구성을 계수분할과 다단계 양자화 과정을 중심으로 보면 다음과 같다.

먼저 9-7탭 biorthogonal 필터를 이용하여 입력 영상을 전대역에 걸쳐 웨이블릿 패킷 분할하고 각

노드에서 계수들의 1차 엔트로피를 계산하여 이를 비용함수(cost function)로 이용한다. Biorthogonal Filter는 대칭전개(symmetric extension)를 통해 영상 양끝에서의 필터링 오차를 제거할 수 있어 영상처리에 적합하다. 각 노드의 분할조건으로는 해당 노드의 비용과 자식노드들의 비용 총합을 비교하여 자식노드들의 비용을 합한 것이 적은 경우에만 분할한다.

웨이블릿 패킷 변환이 성공적으로 이루어졌으면 부대역 분할 정보와 계수들의 중요도를 고려하여 계수들을 분할하고 다단계 양자화 과정을 거친다. 이 과정에서 각 대역간의 상관관계를 이용하여 CPSO(계수분할순서)를 정의하고 제로트리기법을 웨이블릿 패킷 계수들에 적용한다.

## 2) 제안된 알고리즘의 계수분할법

기존의 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서는 가장 낮은 주파수 부대역을 제외하고는 모든 부모 노드들이 동일한 주파수 공간상에 위치하는 4개의 자식노드를 갖는다. 그러나 웨이블릿 패킷 변환에서는 이러한 일반적인 제로트리기법을 직접 적용할 수 없다.

이 절에서는 CPSO를 새로이 정의하여 주파수 공간상에 위치하는 부모-자식노드 관계를 재구성하였다. 제안한 알고리즘에서 CPSO는 다음과 같이 3가지 조건들에 의해서 전개 된다. 알고리즘 전개를 위해서,  $P$ 는 부모노드,  $S$ 는  $P$ 의 자식노드로 구성된 부대역으로 정의 하였고,  $x$ 와  $y$ 는 각각 부모노드의 가로방향과 세로방향의 공간상의 좌표를 의미하도록 정의 하였다.

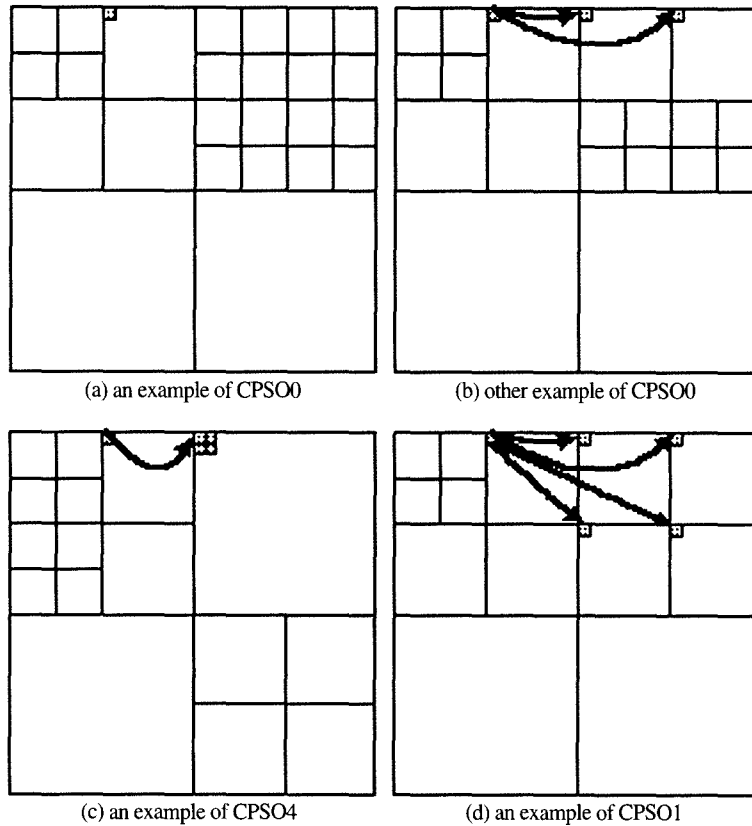


Fig. 2. Examples of CPSO in the wavelet packet transform

조건 1: 만일  $S$ 대역이  $P$ 대역보다 더 많은 분할을 한다면 특별히 자식노드를 갖지 않는다.  $S$ 대역들은  $P$ 대역의 계수검사가 모두 끝난 후에 래스터 스캔(raster scan)을 통해 중요계수를 찾아낸다(Fig. 2-a, Fig. 2-b). 이러한 경우를 CPSO0라고 정의한다.

조건 2: 부대역  $S$ 가 웨이블릿 분할이 되지 않은 경우에는 기존의 제로트리기반 알고리즘들과 마찬가지로 하나의 부모노드에 대해 4개의 자식노드를 갖는다(Fig. 2-c). 이 경우를 CPSO4라고 정의한다.

$$D(x, y) = \left\{ \begin{array}{cc} (2^*x, 2^*y) & (2^*x, 2^*y+1), \\ (2^*x+1, 2^*y) & (2^*x+1, 2^*y+1) \end{array} \right\} \quad (1)$$

공간상의 좌표  $(x, y)$ 에 있는 계수를 부모노드  $P$ 라 할 때, 수식 (1)에서는 자식노드의 집합이다.

조건 3: 부모노드  $P$ 보다 한 단계 높은 해상도에 있는 부대역  $S$ 가 한번 더 분할되었다면, 분할된 4개의 각 부대역에서 동일한 위치에 있는 계수를 각각 자식노드로 본다(Fig. 2-d). 이 경우를 CPSO1이라고 정의한다.

$$\{D(x, y) \mid S_i(x, y), \text{ where } i=0,1,2,3\} \quad (2)$$

여기에서  $D(x, y)$ 는 자식노드들의 집합이고  $S_i(x, y)$ 는 각 부대역에서의 자식노드이다.  $i$ 는 4개로 분할된 각 부대역을 의미한다.

### 3) 제안된 부호화 알고리즘

톱-다운(top-down) 방식을 제외한 대부분의 웨이블릿 패킷 변환에서는 각 대역의 분할여부를 지시하는 정보가 헤더형식으로 패킷 계수와 함께 전송되어야 한다. 본 논문에서는 부호화 과정에서 이러한 분할 정보를 이용하여 각 계수의 자식노드 형태를 확인하고 그에 따라 CPSO를 추출한다. 이 분할정보를  $SM$ (Split Mark)이라 정의하고 분할된 대역에는 1을, 분할되지 않은 대역에는 0을 각각 할당한다.

웨이블릿 패킷 분할과 엔트로피 부호화 과정을 제외한 전체적인 부호화 알고리즘의 의사코드는 다음과 같이 정의하였다. 특정 임계값에 비해 절

대값이 큰 계수들의 좌표를  $DC$ (검출계수, Detected Coefficients)에 저장하고, 그렇지 않은 대기 계수들은  $WC$ (Waiting Coefficients)에 저장한다. 대기 계수들의 좌표집합은  $WCR$ (Waiting Coefficients Root)에 각 노드의 분할 정보  $SM$ 과 함께 기록된다.  $WCR$ 에는 검색되지 않은 자손의 종류 즉, 자손노드인지 자식노드인지를 나타내는 정보가 역시 1과 0으로 구분되어 표시된다. 자식노드는 바로 한단계 위의 해상도에 있는 노드를 말하며, 여기에서 자손노드란 자식노드를 제외한 모든 고해상도의 노드를 의미한다. 공간상의 좌표가  $(x, y)$ 인 웨이블릿 변환 계수를  $w_{x,y}$ 라 하고, 계수를 판별하는 최초의 임계값을  $T_0$ 라 한다.

$$T_0 = \max\{w_{x,y}\}/2$$

```

while(목표로하는 압축률에 도달할 때 까지)
  while (WC의 각 계수들)
    if  $|w_{x,y}| \geq T_0$ 
      1을 출력한다. 연이어 부호(+/-)에 따라 1 또는
      0을 출력한다. 현재 좌표를 DC에 기록하고 WC
      에서는 삭제한다.
    else
      0을 출력한다.
    end if
  end while
  while (WCR의 각 계수들)
    if  $|w_{x,y}| \geq T_0$ 
      1을 출력하고 SM에 따라 자식 노드들의 검색순
      서를 결정한다.
      if (CPSO0)
        현 좌표를 WCR에 기록한다.
      elseif (CPSO1)
         $D(x, y) = \{S_i(x, y)\}$ 
        여기에서  $S_i(x, y)$ 는 각 부대역에서의 자식
        노드이고  $i$ 는 0, 1, 2, 3까지 4개로 분할된
        각 부대역이다.
      elseif (CPSO4)
         $D(x, y) = \left\{ \begin{array}{cc} (2^*x, 2^*y) & (2^*x, 2^*y+1), \\ (2^*x+1, 2^*y) & (2^*x+1, 2^*y+1) \end{array} \right\}$ 
      end if
    while( $D(x,y)$ 의 계수들)
      if  $|w_{x,y}| \geq T_0$ 
  
```

```

1을 출력한다. 연이어 부호(+/-)에 따라
1 또는 0을 출력한다. 현재 좌표를 DC에
추가한다.
else
0을 출력하고 좌표를 WC에 추가한다.
end if
SM에 따라 자식 노드들의 검색순서를 결
정한다.
select case CPSO
D(x,y)를 결정한다.
트리를 WCR로 이동한다.
end select
end while
else
0을 출력한다.
end if
end while
Ti+1=Ti/2
end while

```

#### 4. 실험결과

제안한 알고리즘의 효율성을 입증하기 위하여 512×512 크기의 원격 탐사 영상들을 대상으로 실험하였다. 샘플 #1(Fig. 3), 샘플 #2(Fig. 4), 샘플 #3(Fig. 5)가 원영상이고, 각각을 웨이블릿 패킷 변환한 결과가 Fig. 6~Fig. 8에 나타나 있다. 샘플들은 위성 및 항공사진을 제공하는 [www.spaceimaging.com](http://www.spaceimaging.com) 웹 사이트에서 수집되었다. 영상들에서 보듯이, 높은 고도에서 촬영되는 영상들은 대개 사각형이나 원, 선 등과 같이 단순한 기하학적 구조들이 반복되는 형태들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이와 같이 중고주파 영역 성분이 많이 포함되어 있는 영상들은 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 분할할 때 좋은 성능을 보인다(Han and Lim, 1997). 다른 알고리즘과의 성능비교가 표 1과 Fig. 9~Fig. 11에 요약되어 있다.

웨이블릿 패킷 변환은 9-7탭 biorthogonal 웨이블릿 필터를 이용하여 SPIHT 부호화기와의 일관성을 위해 3-깊이(depth 또는 level)까지 반복 분

할하였고, 성능평가를 위한 기준으로 비트율과 PSNR를 사용하였다. PSNR은 (3)식과 같다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \text{ dB} \quad (3)$$

비트율은 부호화 과정을 거쳐 생성되는 파일 크기를 계산하여 비교하였다.

SPIHT와 마찬가지로 본 논문의 알고리즘도 부호화기의 모든 출력데이터가 0과 1로만 표시된다. 즉, 중요계수여부, 계수의 부호, 그리고 대역분할 정보를 포함하는 SM 역시 0과 1만으로 분할 여부를 나타낸다. 따라서 모든 출력데이터가 비트연산으로 가능하고 압축영상을 저장했을 때의 파일 크기가 크게 줄어든다. 비트율은 모든 헤더정보를 포함한 크기를 대상으로 픽셀 당 비트수를 단위로 하여 표기하였다.

또한 중요계수들이 먼저 출력됨으로써 영상의 대략적인 정보가 순차적으로 전송가능하다. 따라서 해당 응용분야에 적합한 비트율에 맞추어 영상을 압축하는 것이 가능하다.

Table 1과 Fig. 9~Fig. 11은 두 알고리즘 사이의 성능비교 결과이다. 샘플 영상의 경우 제안한 CPSO를 이용한 웨이블릿 패킷 변환이 높은 압축률에서 SPIHT에 비해 1내지 2dB의 성능개선을

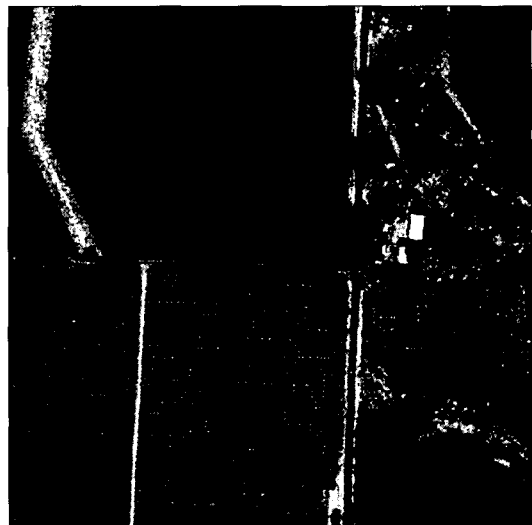


Fig. 3. Satellite image of Fresno, USA as sample #1.



Fig. 4. Satellite image of Carolina, USA as sample #2.



Fig. 5. Satellite image of dubai as sample #3.

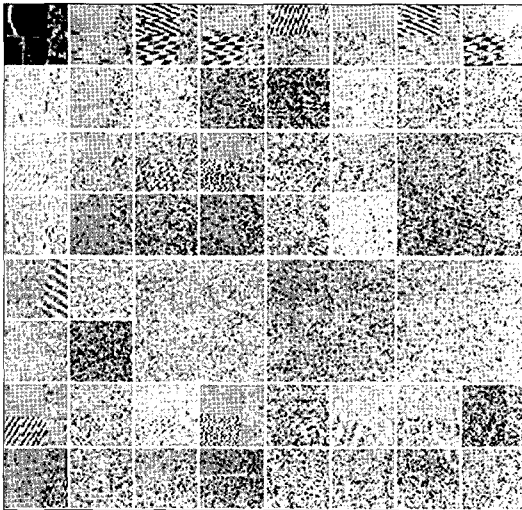


Fig. 6. Wavelet Packet Decomposition result of sample image #1 as shown in Fig. 3 (Fresno).

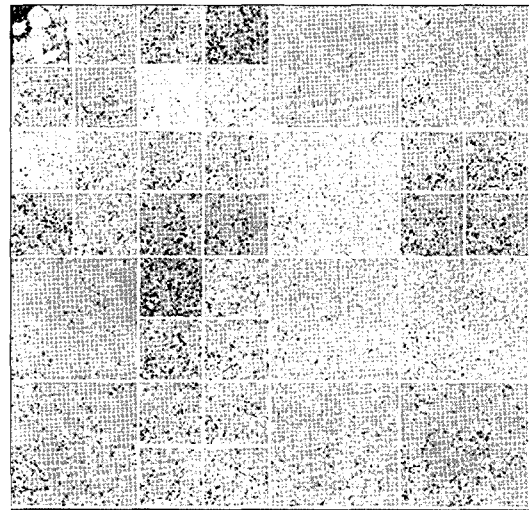


Fig. 7. Wavelet Packet Decomposition result of sample #2 as shown in Fig. 4 (Carolina).

Table 1. Results of the performance comparison between CPSO and SPIHT.

Bit rate (bpp)	Sample #1 (PSNR)		Sample #2 (PSNR)		Sample #3 (PSNR)	
	SPIHT	CPSO	SPIHT	CPSO	SPIHT	CPSO
0.125	25.10	26.19	26.31	28.71	27.34	28.05
0.25	27.80	29.12	29.26	29.35	29.30	29.58
0.5	31.61	32.08	32.61	33.33	33.45	34.23
1.0	36.22	36.44	35.66	36.89	36.72	36.92

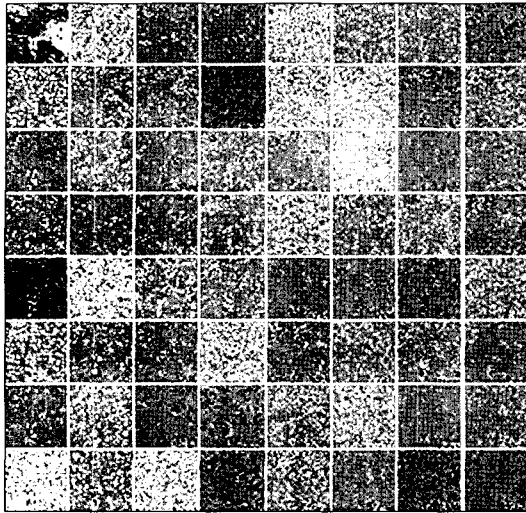


Fig. 8. Wavelet Packet Decomposition result of sample #3 as shown in Fig. 5.

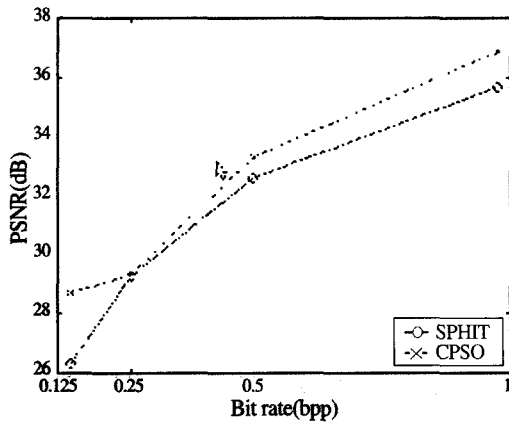


Fig. 10. PSNR of sample# 2.

보였다.

웨이블릿 패킷에서 이용한 부모-자식 노드 관계가 웨이블릿 변환만큼 다해상도 구조를 충분히 이용할 수 없었던 점을 고려하면, Table 1의 결과는 항공사진이나 위성사진과 같이 비교적 중고주파 신호가 많이 포함되어 있는 영상의 경우, 웨이블릿 패킷 변환이 가지고 있는 영상에 대한 적응 능력이 부모-자식 노드 관계를 충분히 보완할 수 있음을 보여준다.

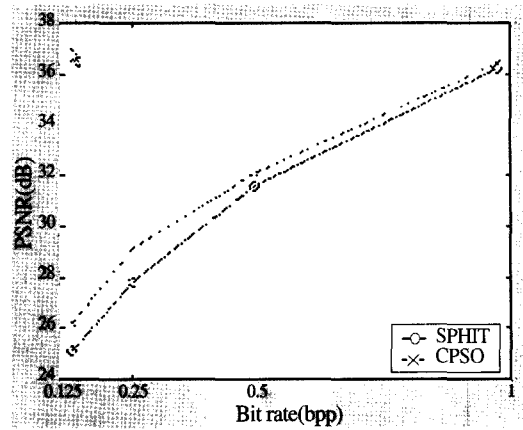


Fig. 9. PSNR of sample# 1.

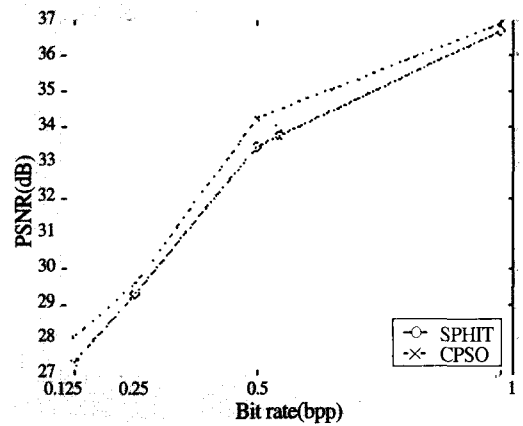


Fig. 11. PSNR of sample# 3.

## 5. Conclusions

본 논문에서는 부대역간의 상관관계를 이용한 새로운 영상 부호화 알고리즘인 계수분할 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘을 제안하였다. 웨이블릿 변환 계수들간의 상관관계를 이용하는 제로트리 알고리즘은 구현이 간단하면서도 압축효율이 좋지만 부모-자식노드의 관계가 임의의 형태를 띠는 웨이블릿 패킷 변환에는 직접 적용할 수 없었다. 본 논문에서는 웨이블릿 패킷 계수들로 이루어진 주파수 부대역간의 상관관계를 이용하는 CPSO를 정의하여 새로운 부모-자식 관계를 도출하고, 이에 따라 영상 복원시 오차를 줄일 수



있는 순서로 계수들의 부호화 순서를 결정할 수 있었다.

실험 결과는 CPSO를 이용한 웨이블릿 패킷 변환이 기존의 제로트리 기반 웨이블릿 변환에 비해 비트율과 왜곡면에서 성능개선이 이루어졌음을 입증하였다. 또한 이를 통하여 제한한 부호화기가 항공사진이나 위성사진과 같이 고주파 성분을 많이 포함하는 영상에 적합하며 실시간 시스템이나 온라인 영상처리 시스템에 적용가능성이 큼을 입증하였다. 그러나 고주파수대역 및 저주파수 대역 신호들이 임의로 고르게 분포된 영상들에 대해, 일부 자식노드에서 더 많은 분할이 이루어진 경우에는 부모-자식 노드의 상관관계를 정의하기가 쉽지 않아 검색과정이 중복되기 쉽다. 따라서 보다 보편적인 다양한 영상에 적용할 수 있도록 다양한 분할 형태에서 부모-자식 관계를 도출하여 계산량과 부호화 시간을 줄이는 연구가 추가적으로 필요할 것이다. 또한 본 논문에서는 영상의 압축 성능 평가를 위해 비트율에 따른 PSNR만을 객관적 평가로 이용하였지만, 응용분야에 따라 영상을 확대 또는 축소하였을 때의 변화, 순차적 표기의 가능성 등에 관한 객관적이거나 주관적인 기준에 따라 적용할 수 있는 알고리즘에 관한 연구도 필요할 것이다.

## 참고문헌

- Coifman, R. and M. Wickerhauser, 1992. Entropy-based algorithms for best basis selection, *IEEE Trans. on Information Theory*, 38(2): 713-718.
- Han, S. and C. Lim, 1997. Embedded wavelet packet image coder using setpartitioning, *Proc. of IEEE TENCON '97, Brisbane, Australia*.
- Kim, S., H. Kim., J. Baek, S. Han and C. Lim, 1996. Still image signal encoding using wavelet packet, *Proc. of 9th Signal Processing, Aju University*, pp. 957-960.
- Li, J. and C. Kuo, 1997. Embedded wavelet packet image coder with fast rate-distortion optimized decomposition, *Proc. of SPIE's International Symposium on Visual Comm. and Image*, San Jose, CA., pp. 1077-1088.
- Meyer, J., A. Averbuch and J. Stromberg, 1998. Fast adaptive wavelet packet image compression, *IEEE Trans. on Image Processing*.
- Ramchandran, K. and M. Vetterli, 1993. Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense, *IEEE Trans. on Image Processing*, 2(2): 1760-1785.
- Said, A. and W. Pearlman, 1996. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, 6: 243-250.
- Shapiro, J., 1993. Embedded image coding using zerotree wavelet coefficients, *IEEE Trans. on Signal Processing*, 41: 3445-3462.