

계수분할을 이용한 개선된 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘

한수영*, 김홍렬**, 이기희***

An Enhanced Wavelet Packet Image Coder Using Coefficients Partitioning

Su-Young Han*, Hong-Ryul Kim**, Kee-Hee Lee***

요약

본 논문에서는 계수분할을 이용한 개선된 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 전체 압축시간을 단축을 위해 엔트로피를 이용하여 영상을 웨이블릿 패킷 분할하고, 부대역간 상관성을 이용하여 계수들을 제로트리 방식으로 부호화하여 비트율 및 왜곡 성능을 개선한다. 영상 복원 시 오차 감소를 위해 각 주파수 부대역간의 상관성을 이용하여 새로운 부모-자식노드 관계를 추출하고, 이를 이용하여 계수들에 대한 부호화 순서를 결정한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 웨이블릿 패킷 영상 부호화 알고리즘에 대한 성능 평가를 위해 텍스처 이미지에 대해 기존의 알고리즘과 비트율과 제곱 오차에 대한 비교 평가하였으며, 비트율 및 왜곡 성능이 개선되었음을 확인하였다.

Abstract

We propose an enhanced wavelet packet image coder algorithm which is based on the coefficients partition. The proposed wavelet packet image coder uses the first-order entropy to reduce the total compression time, and achieves low bit rates and rate-distortion performance by the zero-tree based coding using correlations between coefficients partition. This new algorithm represents new parent-children relationships for reducing image reconstruction error using the correlations between each frequency subbands and then the wavelet packet coefficients are partitioned by a new order. The computer simulations demonstrate higher PSNR under the same bit rate and improved image compression time and enhanced rate control compare with conventional algorithms. From the simulation results, it is shown that the encoding and decoding process of proposed coder are much simple and accurate than present method against texture images, which include many mid-frequency elements.

* 안양대학교 영상처리학과 겸임교수
** 동서대학교 컴퓨터정보과 전임강사
*** 동서대학교 컴퓨터정보과 조교수

I. 서론

피라미드 방식의 웨이블릿 변환을 이용한 영상압축은 DCT와 같은 고정블록기반의 압축방식에서 발생하는 블록화 현상을 해결할 수 있고, 영상데이터에 많이 포함되어 있는 저주파 성분을 아주 적은 수의 계수로 효율적으로 부호화할 수 있다. 그러나, 영상 값들이 급격하게 변하는 부분은 고해상도의 웨이블릿 계수들로 표현해야 하는데, 텍스처 영상과 같이 특정 값들이 반복적으로 포함되는 경우 이러한 계수들이 더 많이 필요하다. 이러한 고해상도 계수들은 매우 적은 에너지만을 포함하기 때문에 양자화 하면 낮은 압축률에서도 종종 0 값이 된다. 따라서, 텍스처 영상 부호화를 위해서는 웨이블릿 변환보다 웨이블릿 패킷이 보다 효율적이다. 웨이블릿 패킷은 해상도, 주파수, 공간위치에 따라 다양한 파형을 모아 입력 영상의 특성에 따라 적절한 파형을 기저함수로 사용한다. 웨이블릿 패킷 중 기저함수를 구하기 위해서는 각 웨이블릿 패킷을 영상과 정합시켜 충분한 복원이 이루어지는 "최적기저(best basis)"를 선택한다. Ramchandran과 Vetterli는 비트율-왜곡(rate-distortion)을 기준으로 한 최적기저 결정 알고리즘을 제안하였다[1]. 이 알고리즘은 웨이블릿 패킷 트리의 각 노드에 최적한 스칼라 양자화기를 결정하고, 가지치기(pruning) 알고리즘을 이용하여 최적기저와 최적 양자화기를 얻는다. 가지치기 과정은 최적기저의 모든 양자화기가 동작하는 비트율-왜곡 곡선 상에서 최적 기울기를 발견할 때까지 반복된다. 이러한 방법은 비트율-왜곡 측면에서 최적이라고 평가되지만, 계산 복잡도가 너무 커 실시간 요구에 부응되지 않는다.

본 논문에서는 수행속도를 고려한 효율적인 텍스처 영상 부호화를 위한 개선된 웨이블릿 패킷 부호화기를 제안한다. 먼저 입력 영상을 9-7 biorthogonal 필터로 전대역에 대한 웨이블릿 패킷 변환을 수행하고, 엔트로피를 기준으로 최적기저함수를 선택한다[2]. 그리고, 패킷 변환된 계수들을 각 부대역 분할정보와 계수들의 중요도에 따라 계수 분할하여 재구성한다. 계수들을 중요도에 따라 양자화 하는 과정은 제로트리 기반의 여러 방법[3],[4]들

과 유사하다. 그러나, 웨이블릿 패킷은 웨이블릿 기저함수의 다해상도 구조를 잃어버리므로 피라미드 방식 웨이블릿 변환에서 이용되는 제로트리 기법을 직접 이용할 수는 없다. 즉, 공간적으로 동일 위치에 있는 계수들로만 구성되는 트리 생성이 어렵다[6].

본 논문에서는 웨이블릿 패킷 분할 시 제공되는 부대역들의 분할 정보를 이용하여 부대역간 관계를 새롭게 정의하고, 이에 따라 계수들의 순서를 재구성한다. 이렇게 분할된 계수들을 단단계 양자화하고, 엔트로피 부호화를 수행하여 비트율 및 왜곡 성능이 개선한다.

II. 웨이블릿 패킷 기반 부호화 알고리즘

웨이블릿 패킷 기반 부호화 알고리즘은 그림 1과 같이 크게 3부분으로 구성된다. 먼저 입력 영상을 적절한 웨이블릿 필터로 전 대역 분할을 수행하고, 분할된 계수를 기반으로 입력 영상 부호화에 가장 적합한 웨이블릿 패킷 변환 또는 기저함수를 선택하여 영상을 재분할한다. 두 번째로 스칼라양자화기, 벡터양자화기, 단단계 양자화기 등의 양자화기를 사용하여 웨이블릿 패킷 계수를 양자화한다. 마지막으로 허프만 부호화기나 산술 부호화기 등의 엔트로피 부호화기로 부호화한다.

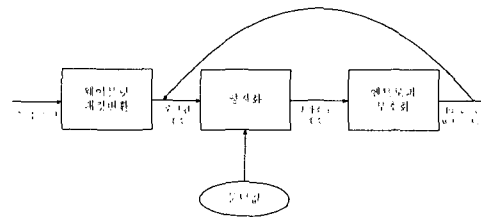


그림 1. 웨이블릿 패킷 부호화 알고리즘
Fig. 1. wavelet packet coding algorithm

1. 웨이블릿 패킷 변환

웨이블릿 패킷 변환은 저주파 대역만을 반복 분할하는 피라미드 방식의 웨이블릿 변환과는 달리, 각 주파수 대역에 적응적으로 웨이블릿 변환을 적용하기 때문에 텍스

처와 같은 비정상상태 신호를 해석하거나 표현하는데 적합하다. 웨이블릿 패킷 변환에서 가장 중요한 문제는 가능한 모든 웨이블릿 패킷 중 주어진 영상에 가장 적합한 대역 분할형태를 선택하는 것이다. 이를 위해 초기에 엔트로피나 에너지를 기준으로 하는 방법들이 제시되었으나, 비트율-왜곡을 기반으로 Ramchandran 과 Vetterli 가 제안한 방법이 가장 최적화 된 것으로 여겨진다[1]. 그러나, 이 알고리즘은 식 (1)과 같이 각각의 노드에 대해 모든 스칼라 양자화를 적용한 후, 양자화 왜곡과 비트율을 계산하여 최적의 기저를 찾아가기 때문에 계산 복잡도가 너무 커서 실시간 구현이 어렵다[5][7].

$$\max_{\{S\}} \left\{ \min_{\{S\}} \left[\min_{\{S\}} \left\{ \min_{\{S\}} \{D(nod\theta) + \lambda R(nod\theta)\} \right] - \lambda R_{outlet} \right] \right\} \quad (1)$$

더욱이, 웨이블릿 패킷 변환과정에 이미 스칼라 양자화 과정이 포함되기 때문에, 피라미드 방식의 웨이블릿 변환에서 가장 널리 쓰이는 제로트리 웨이블릿 부호화의 핵심 기술인 다단계 양자화 장점을 이용할 수 없도록 하는 요인이 된다.

2. EZW(Embedded Wavelet Transform) 와 SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Tree) 알고리즘

웨이블릿 기반의 다수 영상 부호화 알고리즘 중 EZW[3] 가 웨이블릿 변환 장점을 가장 잘 이용하는 것으로 알려져 있다. EZW는 단순한 원리임에도 비트율-왜곡 성능이 좋고, 계수 값이 큰 중요계수부터 먼저 부호화시켜 전송하는 embedding 특성이 있어 점진적 전송에 유리하다. SPIHT[4]는 EZW의 개선 알고리즘으로 EZW가 dominant pass와 subordinate pass라는 두 개 목록을 이용하여 계수들의 전송 순서를 결정하고 부호화하는데 반해, SPIHT는 비중요계수들의 좌표집합, 중요계수들의 좌표집합, 비중요계수들의 자식계수들의 좌표집합 목록을 이용하여 계수들의 전송 순서를 보다 효율적으로 결정한다. 공통적으로 이 두 방법은 동일 방향을 갖는 대역간 상관관계를 이용하여 양자화 된 값이 0이 되는 계수들로 하나의 트리를 구성하여 부호화기로 보내는 데이터 양을 줄이는 효과를 이용한다. 그러나, 웨이블릿 패킷에서는 다해상도 구조가 명확하지 않으므로, 위와 같은

대역간의 상관관계를 이용하기가 쉽지 않다. 즉, EZW나 SPIHT에서 이용되는 부모노드-자식노드 관계가 그대로 유지되지 않는다.

Ⅲ. 제안된 웨이블릿 패킷 부호화 알고리즘

1. 제안된 부호화기 구성

제안된 알고리즘을 적용한 부호화기는 먼저 9-7탭 biorthogonal 필터를 이용하여 입력 영상을 전 대역에 걸쳐 웨이블릿 패킷 분할하고, 분할된 각 노드에서 계수들의 히스토그램을 기반으로 1차 엔트로피를 계산하여 이를 비용함수로 이용한다. 비용함수는 다음과 같이 정의한다.

$$- \sum_i p_i \log(p_i) \quad (2)$$

각 노드의 분할여부는 해당 노드의 비용과 자식노드들의 비용 총합을 비교하여 자식노드들의 비용을 합한 것이 적은 경우에만 분할한다. 이렇게 분할된 영상은 비트율-왜곡 기반 방식에 비해 비트율-왜곡 면에서 다소 떨어지는 성능을 보이지만 훨씬 빠른 수행속도를 보여준다. 예로 영상의 픽셀 개수가 N 일 때, 계산복잡도가 $N \log(N)$ order 로 특정 분할기준에 대해 최적기저를 빠른 속도로 찾을 수 있다. 또한, 비트율 및 왜곡성능 감소는 패킷 변환 후 이루어지는 계수분할과 다단계 양자화 과정을 통해 충분히 보상된다. 웨이블릿 패킷 분할이 이루어졌으면 대역 분할정보와 계수들의 중요도를 고려하여 계수들을 분할하고 다단계 양자화 과정을 거친다. 그리고 마지막으로 엔트로피 부호화를 행한다.

2. 새로운 부모-자식노드 관계

EZW나 SPIHT 모두 웨이블릿 패킷 변환 구조에서는 부모-자식노드 관계 특성을 잃게 되므로, 임의 구조를 갖는 패킷형식에서 이용할 수 있는 새로운 부모-자식노드 관계 또는 그와 유사하게 공간적으로 동일위치 상의 계수들의 상관관계를 이용할 수 있는 계수 분할 방법이 필요

하다.

기존 알고리즘들은 가장 낮은 주파수 부대역을 제외한 모든 부모노드들이 동일 주파수 공간상에 위치하는 4개의 자식노드를 갖는다. 제안된 알고리즘에서는 부모노드가 포함된 부대역을 P , 한 단계 높은 해상도에서의 자식노드가 포함된 부대역을 S , 웨이블릿 변환을 $w^i(\cdot)$ 로 정의하며, 웨이블릿 패킷 분할여부에 따른 부대역은 (3)식과 같이 정의된다.

$$w^0(S) = S, \quad w^1(S) = \sum_{j=1}^4 S_j, \quad (3)$$

(3)식에서 i 가 0인 경우는 웨이블릿 패킷 분할되지 않은 것을, i 가 1인 경우는 웨이블릿 패킷 분할되었음을 의미한다. 본 논문에서 제안된 계수 분할 방법 알고리즘에 의해 추출 가능한 부모-자식노드 관계(PCNR: Parent Child Node Relationship)는 다음 3 가지이다. 이들을 각각 $PCNR_i$ 로 정의한다.

(Case 1) 특정 해상도에서 부모노드가 포함되어 있는 부대역 P 에 대해 한 단계 높은 해상도에서 동일한 공간적 위치에 있는 부대역이 한번의 웨이블릿 변환을 거쳐 분할되어 4 개의 부대역으로 나누어졌다면, 분할된 4 개의 각 부대역에서 동일한 위치에 있는 계수를 각각 자식노드로 본다. 즉 대역 내에서의 상대적인 공간적 위치가 (x, y) 인 계수의 자식노드 $D(\cdot)$ 집합은 (4)식과 같이 표현된다. 예는 그림 2-(a), 2-(b) 와 같으며 이를 $PCNR_0$ 이라 한다.

$$D(x, y) = \left\{ \sum_{j=0}^4 S_j(x, y) \right\} \quad (4)$$

(Case 2) 만일 S 대역이 부모노드가 포함된 P 대역보다 더 많은 분할을 한 경우는 자식노드를 갖지 않는다. 예는 그림 2-(c) 와 같으며 이 대역들은 P 대역 계수값 사가 모두 끝난 후 raster scan을 통해 중요계수를 찾아낸다. 이를 $PCNR_4$ 이라 한다.

(Case 3) 부대역 S 가 웨이블릿 분할되지 않은 경우, 기존 알고리즘과 같이 하나의 부모노드에 대해 4개 자식노드를 갖는다. 예는 그림 2-(d) 와 같으며, 이를

$PCNR_1$ 이라 한다.

$$D(x, y) = \left\{ \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 S(x+i, y+j) \right\} \quad (5)$$

부모-자식노드 관계의 예는 그림 2와 같다.

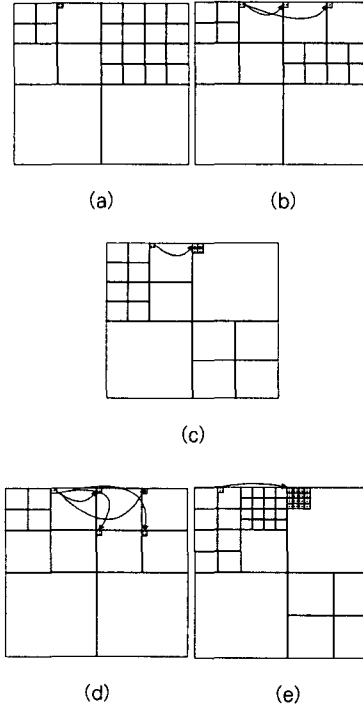


그림 2. 제안 알고리즘의 부모-자식노드 관계
 (a) 자식노드를 갖지 않는 경우
 (b) 2개의 자식노드를 갖는 경우
 (c) 4개의 자식노드를 갖는 경우
 (d) 4개의 자식노드를 갖는 경우
 (e) 16개의 자식노드를 갖는 경우

Fig. 2. Examples of parent-child relationships in proposed algorithm
 (a) example of no child
 (b) example of 2 children
 (c) example of 4 children
 (d) example of 4 children
 (e) example of 16 children

3. 제안된 계수분할 다단계 양자화 알고리즘

기존의 최상기저 방법이나 비트율-왜곡 기반 알고리즘과 같이 전 대역에 걸쳐 웨이블릿 변환한 후 이를 기준으로 웨이블릿 패킷 분할을 행하는 방식에서는 각 대역의

분할여부를 지시하는 정보가 헤더형식으로 패킷 계수와 함께 전송되어야 한다. 부호화 과정에서 이 정보를 이용하여 각 계수의 자식노드 형태를 확인하고 그에 따라 대역간의 상관관계를 이용한다. 이 정보를 BB(Best Basis)라 하고 분할된 대역에서는 1의 값을 분할되지 않은 대역에서는 0의 값을 갖도록 한다.

SPIHT 알고리즘에서 이용된 LIP, LSP, LIS를 적용하여 LIP에는 특정 문턱값에 비해 절대값이 큰 중요계수들의 좌표를 저장하고 그렇지 않은 비중요계수들의 좌표는 LIP에, 자손노드들이 문턱값과 비교되지 않은 비중요계수의 좌표집합은 LIS에 저장한다. LIS는 각 노드의 분할 정보 BB와 결합되어 사용되며 검색되지 않은 자손의 종류, 즉 자손인지 자식인지를 나타내는 정보가 역시 1과 0으로 구분되어 표시된다.

제안된 알고리즘에서 $x_{i,j}$ 는 좌표가 $\{i,j\}$ 인 계수이며, T_0 는 중요계수 판별을 위한 최소 문턱 값(threshold value)이다.

제안된 계수분할 웨이블릿 패킷 알고리즘은 다음과 같다.

```

 $T_0 = \max \{x_{i,j}\} / 2$ 
while ( != target_compression_ratio )
  while ( saving each coefficients within LSP )
    if (  $|x_{i,j}| \geq T_0$  )
      Output 1, output 1 or 0 for +/- bit,
      add coordinate to the list LIP and delete from
      the LSP
    else
      Output 0
    end if
  end while
  while ( saving each coefficients within LIS )
    if (  $|x_{i,j}| \geq T_0$  )
      Output 1 and determine, scanning
      order in children node according to BB
      if (  $PCNR_1$  )
         $D(x,y) = \{ \sum_{j=0}^4 S_j(x,y) \}$ 
      elseif (  $PCNR_4$  )
         $D(x,y) = \{ (2*x, 2*y), (2*x, 2*y+1),$ 
           $(2*x+1, 2*y), (2*x+1, 2*y+1) \}$ 
      end if

```

```

while ( in  $D(x,y)$  )
  if (  $|x_{i,j}| \geq T_0$  )
    Output 1, output 1 or 0 for +/- bit,
    add it the list DC
  else
    Output 0, add it the list LSP
  end if
  Determine scanning order in
  descendents node according to BB
  Select case  $PCNR_i$ 
    Determine  $D(x,y)$ 
    Move the tree to the LIS
  End select
End while
else
  Output 0
endif
end while
 $T_{i+1} = T_i / 2$ 
end while

```

IV. 성능 평가

성능 평가는 512x512 크기의 Lena 및 Barbara 영상과 biorthogonal 9-7 탭 필터를 사용하여 SUN Ultra-Sparc 시스템 상에서 컴퓨터 모의실험 하였다. 본 논문에서 제안한 새로운 부모-자식노드 관계를 이용한 계수분할방식과 기존의 SPIHT와 비트율-왜곡기반 알고리즘을 비교하였다. SPIHT는 참조 논문에서 제공하는 부호화기를 이용하였다. 성능평가 기준은 비트율(bit rate)과 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)로 한다. PSNR은 (6)식과 같다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \text{ dB} \quad (6)$$

비트율 평가의 일관성을 위해 제공된 SPIHT 부호화

와 같이 부호화과정을 거쳐 생성되는 파일 크기를 직접 평가 기준으로 사용하였다. 제안된 알고리즘의 부호화기도 모든 출력데이터가 0과 1로만 표시된다. 즉, 중요계수여부, 계수 값의 부호, 그리고 패킷분할 정보를 포함하는 BB 역시 0과 1로만 분할 여부를 나타낸다. 따라서 모든 출력데이터는 비트 연산이 가능하며, 압축영상 저장시에 파일 크기가 크게 줄어든다. 비트율은 모든 헤더정보를 포함한 크기를 대상으로 bpp(bits per pixel) 단위로 표기하였다.

또한, 웨이블릿 패킷 분할에서 부모-자식노드 관계의 유용성을 평가를 위해 부모-자식노드 관계를 이용하지 않고, 그림 3과 같이 웨이블릿 패킷 분할 깊이에 따라 계수들을 문턱값과 비교해 나가는 분할깊이 모델도 평가하였다.

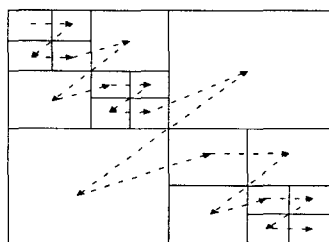


그림 3. 분할깊이에 따른 검색순서
Fig.3. Sorting order based on decomposition depth

분할깊이 모델에서는 중요계수들의 좌표를 저장하는 목록(LSP)과 비중요계수들의 좌표를 저장하는 목록(LIP)만을 사용하고 부대역간의 상관성을 이용하는 LIS는 사용하지 않고 본 논문의 알고리즘을 적용해 목표 비트율이 1 bpp인 경우에 대해서만 모의실험 하였다. 본 논문에서는 이 모델을 분할깊이 웨이블릿 패킷 모델이라 한다.

표1과 같이 Barbara 영상의 경우 압축률이 높아질수록, 본 논문에서 제안한 부모-자식노드관계를 이용한 계수 분할 웨이블릿 패킷방식이 SPIHT보다 좋은 성능을 보인다. 웨이블릿 패킷에서 이용한 부모-자식노드 관계가 다해상도 구조를 웨이블릿 변환만큼 충분히 이용할 수 없었던 점을 고려하면, 표1 결과는 Barbara 영상과 같이 비교적 중대역주파수 신호가 많이 포함되어 있는 영상의 경우 웨이블릿 패킷 변환이 가지고 있는 영상에 대한 적응능력이 웨이블릿 패킷에서의 부모-자식노드 관계를 충분히 보완할 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 컴퓨터 모의실험 결과-(a)
Table 1. Computer simulation results-(a)

Barbara 영상, 각 비트율에 대한 PSNR (dB)				
비트율 (bpp)	SPIHT	비트율-왜곡 기반	분할깊이 웨이블릿 패킷	제안된 알고리즘
1	36.41	37.13	12.32	36.33
0.5	31.39	32.16	x	31.45
0.25	27.58	28.28	x	28.11
0.125	24.25	27.24	x	26.82



그림 4. Babara 영상
Fig. 4. Babara Image

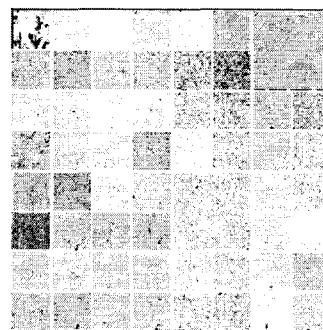


그림 5. 분할된 Babara 영상
Fig. 5. Decompsed Babara Image

또한, 비트율-왜곡기반 알고리즘이 동일 비트율에서 가장 우수한 성능을 보여주지만 그에 따른 실행시간이 다른 알고리즘에 비해 많이 소요된다.

표2의 Lena 영상의 경우는 Barbara 영상과 달리 제안 알고리즘이 고 압축률에서 SPIHT에 비해 좋은 성능을 보여준다. 이는 Lena 영상이 Barbara 영상에 비해 진동 패턴이 적은데 기인한다.

표 2. 컴퓨터 모의실험 결과 (b)
Table 2. Computer simulation results-(b)

Lenna 영상. 각 비트율에 대한 PSNR (dB)				
비트율 (bpp)	SPIHT	비트율-왜곡 기반	분할깊이 웨이블릿 패킷	제안된 알고리즘
1	40.38	40.51	14.10	39.72
0.5	37.18	37.38	x	36.71
0.25	33.91	34.30	x	34.15
0.125	29.25	33.33	x	30.13



그림 6. Lena 영상
Fig. 6. Lena Image

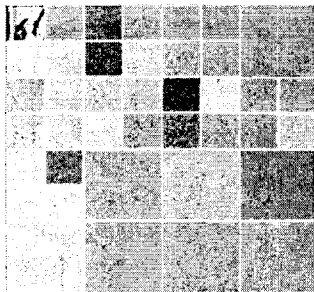


그림 7. 분할된 Lena 영상
Fig. 7. Decomposed Lena Image

실험 결과에 따르면 SUN Ultra-Sparc 시스템에서 512x512 Barbara 영상을 SPIHT를 이용하여 웨이블릿 변환부터 시작하여 1 bpp로 압축하는데 0.89초, 파일입출력을 통하여 파일이 생기는 시간을 포함해도 1.45초가 걸렸다. 이 시간은 SPIHT 논문에 나와있는 수치에 비해서는 약간 높은 시간이다. 반면 비트율-왜곡기반의 알고리즘은 약 80초 이상의 시간이 걸린다.

비트율-왜곡기반의 알고리즘은 모의 실험한 결과와 인터넷을 통하여 공개된 자료인 WaveLib의 수행결과의 평균치이다.

본 논문에서 제안한 계수분할 웨이블릿 패킷변환의 수행시간은 평균 15-25초 정도이다. 분할깊이 웨이블릿 패킷 부호화는 예상과 같이 낮은 성능을 보이며, 웨이블릿 패킷 변환의 경우에 최적이지 않더라도 부대역간의 상호상관성을 이용하는 것이 충분한 장점이 될 수 있음을 보여주었다.

V. 결론

본 논문에서는 계수분할을 이용하여 웨이블릿 패킷 변환된 영상의 개선된 부호화 알고리즘을 제안하였다. 전체적인 수행시간을 줄이기 위해 단순하게 엔트로피를 이용하여 영상을 웨이블릿 패킷 분할하고, 부대역간의 상관성을 이용하여 계수들을 제로트리 방식으로 부호화하여 비트율과 왜곡 성능을 보완하였다. 웨이블릿 패킷 변환에서 각 주파수 부대역간의 상관성을 이용하기 위하여 새로운 부모-자식노드 관계를 추출하고, 이에 따라 영상 복원 시 오차를 줄일 수 있는 순서로 계수들의 부호화 순서를 결정하였다. 컴퓨터 모의 실험결과 제안된 알고리즘이 기존의 SPIHT 및 EZW 알고리즘에 비해 동일한 비트율에서 높은 PSNR 과 수행시간의 우수함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] K. Ramchandran and M. Vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense," IEEE Trans. Image Processing, vol. 2, no. 2, pp. 160-175, Apr. 1993.
- [2] R. R. Coifman and M. V. Wickerhauser, "Entropy-based algorithms for best basis selection," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 38, no. 2 pp. 713-718, March 1992.

- [3] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [4] A. Said and W. A. Pearlman, "A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 6, pp. 243-250, June 1996
- [5] J. Li and C.-C. J. Kuo, "Embedded wavelet packet image coder with fast rate-distortion optimized decomposition," SPIE's International Symposium on Visual Comm. and Image Proc, San Jose, CA, pp. 1077-1088, Feb., 1997
- [6] Su-Young Han and Chae-Tak Lim, "Embedded Wavelet Packet Image Coder using Set Partitioning," Proceedings of IEEE TENCON'97, Brisband, Australia 1997
- [7] F. G. Meyer, A. Averbuch, J.-O. Stromberg, "Fast adaptive wavelet packet image compression," Submitted to IEEE Transactions on Image Processing April 1998

저 자 소 개



한 수 영
 1996. 2. 한양대학교 전자공학과
 박사과정 수료
 현재 안양대학교 영상처리학과
 겸임교수



김 흥 렬
 1997. 8. 한양대학교 전자공학과
 공학박사
 현재 동서울대학 컴퓨터정보과
 전임강사



이 기 희
 현재 동서울대학 컴퓨터정보과
 조교수