

9/7탭을 갖는 정수 웨이브릿 변환을 이용한 무손실 정지영상 압축

A Lossless Image Compression using Wavelet Transform with 9/7 Integer Coefficient Filter Bank

추형석, 서영천, 이태호, 전희성, 안종구

Hyung Suk Chu, Young Cheon Seo, Tae Ho Lee, Hee Sung Jun, Chong Koo An
울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

School of Electrical, Electronics and Automation Engineering,
University of Ulsan

e-mail : ckan@uou.ulsan.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, we propose the lossless image compression algorithm using the integer wavelet transform. Recently, the S+P transform is widely used and computed with only integer addition and bit-shift operations, but not proper to remove the correlation of smooth images. then we compare the Harr wavelet of the S+P transform with various integer coefficient filter banks and apply 9/7 ICFB to the wavelet transform. In addition, we propose a entropy-coding method that exploits the multiresolution structure and the feedback of the prediction error, and can efficiently compress the transformed image for progressive transmission. Simulation results are compared to the compression ratio using the S+P transform with different types of images.

I. 서론

현재 영상을 저장하거나 전송할 때 다양한 영

상신호처리의 응용이 이루어지고 있다. 이때 작은 정보의 손실이 데이터를 분석하는 데에 중대한 영향을 미칠 경우에는 정보의 손실 없이 가능한 많은 압축률로 영상신호를 처리할 필요성이 요구된다. 의료영상, 위성-항공 영상, 영상 보관 등의 분야에서 무손실 정지영상압축기술(Lossless image compression)이 필수적인 기술로서 관심이 높아지고 많은 연구가 진행되고 있다. 지금까지 정지영상압축 알고리즘의 기준으로서 선형 예측기(Linear predictive coding)를 이용한 JPEG(Joint Photographic Experts Group)이 효율적인 알고리즘으로서 사용되고 있다.[1] 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)은 에너지 압축성능이 매우 좋을 뿐만 아니라 신호를 시간-주파수 영역에서 동시에 표현할 수 있는 특성 때문에 영상 압축을 포함한 여러 응용분야에서 이용되고 있다. 웨이브릿을 이용한 무손실 영상압축을 위해 실수연산을 정수연산으로 대체하면서 영상에너지 압축효율이 뛰어난 정수 웨이브릿(ICFB: integer coefficient filter bank) 변환은 가장 간단한 S-변환(Harr wavelet)에서 Lifting Scheme을 이용하여 다양한 ICFB들이 만들어졌다.[2][3][4] 본 논문에서는 S+P 웨이브릿 변환과 정수 웨이브릿 필터들을 비교 분석하고, 9-7

† 이 논문은 1999년도 정보통신부 지원 정보통신분야 우수지원사업 지원금에 의하여 연구되었음.

탭 ICFB의 웨이브릿 변환을 이용하여 다중 분해능 구조의 종속성과 예측오차의 feedback을 고려한 context-modeling 예측과 부밴드 값(subband sample)들에 적응 산술부호화[8]를 적용하는 코딩방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 다양한 영상에 대하여 실험하였고, 실험결과를 S+P 변환을 이용하여 얻은 결과[5][8]와 비교하였다.

서론에 이어 2장에서는 정수 웨이브릿 필터를 이용한 웨이브릿 변환에 관하여 개략적으로 언급하였고, 3장에서는 점진적 전송을 위한 엔트로피 코딩 방법에 대하여 언급하였다. 4장에서는 실험에 대하여 설명하고, 제안한 알고리즘의 실험결과와 S+P 변환에 의한 결과와 비교하였고, 5장에서 결론을 맺었다.

II. 정수 웨이브릿 변환(ICFB: integer coefficient filter bank)

정수 웨이브릿을 구현하는 방법으로 가장 간단한 것이 S-변환이다.[3][5] S-변환은 덧셈과 bit-shift 연산만으로 이루어져 있으므로 구현이 간단한 반면 일반적으로 smooth한 성질을 갖는 영상의 상관관계를 제거하는데는 적절하지 못하다. 따라서 이 변환을 보다 개선시킨 것으로 S+P 변환이 있다. 이는 S-변환에 예측을 적용함으로써 고역필터의 성능을 개선시킨 것이다.

Said와 Pearlman은 예측기에 사용되는 계수들을 찾는 방법을 제안하였고 세가지 예측기의 파라미터들을 제안하였다. 표 1.에 예측기에 쓰이는 파라미터들을 나타내었다.

표 1 예측기 계수들

예측기	파라미터			
	α_{-1}	α_0	α_1	β_1
A	0	1/4	1/4	0
B	0	2/8	3/8	2/8
C	-1/16	4/16	8/16	6/16

이 세가지 예측기중 B가 대체적으로 우수한 압축 성능을 나타내었다.[3][5] 하지만 이것은 영상의 특성에 많은 영향을 받게 되므로 다른 것에 비해 절대적으로 성능이 좋은 단일 예측기를

만드는 것은 상당히 어렵다고 할 수 있다. 즉 고주파 성분이 많은 영상에는 예측기 A가 B, C에 비해 월등한 압축성능을 나타내고 natural한 영상에서는 B와 C가 대체적으로 우수한 성능을 나타낸다.[3][5] S+P변환에서 사용된 Haar Wavelet은 가장 간단한 정수 웨이브릿 필터중의 하나이고 여러 가지 다른 정수 웨이브릿 필터들이 개발되어 왔다. 논문[4]에서는 정수 웨이브릿 필터들을 소개하고 주파수 특성이 다른 5개의 실험 영상에 대하여 정수 웨이브릿 필터들을 이용하여 무손실 압축을 한 결과를 비교 분석하였다.

표 2 Exact bit rates of the chosen ISO images

Image	정수 웨이브릿 필터(ICFB)						
	2/2	5/3I	5/3II	9/7	13/7	13/11	17/11
Lenna	4.624	4.268	4.288	4.260	4.264	4.274	4.268
Barbara	5.342	4.878	4.882	4.803	4.785	4.789	4.763
Goldhill	5.083	4.790	4.809	4.803	4.805	4.826	4.821
Aerial	6.271	5.561	5.588	5.417	5.425	5.394	5.395
Finger	5.789	5.500	5.520	5.465	5.466	5.472	5.465

표 2에 나타난 실험 결과에서 정수 웨이브릿 필터의 성능을 알아볼 수 있다. 여기에서 각 실험 영상들은 공간적 특성과 주파수 특성이 다르기 때문에 어느 한 정수 웨이브릿 필터가 모든 실험 영상에 대하여 최적의 결과를 낼 수 없음을 알 수 있다. 또한 2/2 정수 웨이브릿 필터 즉 Haar wavelet을 이용한 실험 결과는 다른 필터들에 비교하여 성능이 떨어지고, 정수 웨이브릿 필터 계수의 수가 클 수록 5개의 실험 영상에 대한 평균 압축률이 향상됨을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 다른 필터들과 비교하여 좋은 성능을 보이는 9-7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 웨이브릿 변환을 하였고, 정수 웨이브릿 변환식은 다음과 같다.[3][4]

일련의 1차원 입력신호를 $x[n]$ 이라하면 ($n = 0, \dots, N-1$, N 은 짝 수)

$$y[2i+1] = x[2i+1] - \lfloor 9(x[2i+2] + x[2i])/16 \rfloor + \lfloor (x[2i+4] + x[2i-2])/16 \rfloor, \quad (1)$$

$$y[2i] = x[2i] + \lfloor (y[2i+1] + y[2i-1])/4 \rfloor \quad (2)$$

역 변환은 다음과 같다.

$$x[2i] = y[2i] - \lfloor (y[2i+1] + y[2i-1])/4 \rfloor, \quad (3)$$

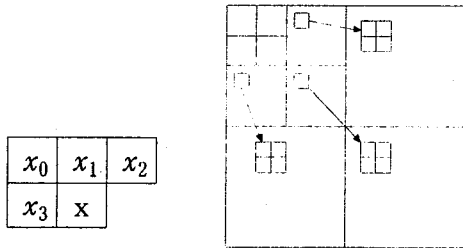
$$x[2i+1] = y[2i+1] + \lfloor 9(x[2i+2] + x[2i])/16 \rfloor - \lfloor (x[2i+4] + x[2i-2])/16 \rfloor \quad (4)$$

III. 점진적 전송을 위한 엔트로피 코딩

III-1. Context Modeling of prediction errors and Error Feedback

대부분의 무손실 압축 기법에서는 context modelling이 error modelling technique으로 이용되고 있고, 각 화소에서 예측 오차는 이미 부호화된 주위 화소 값들을 이용하여 계산된다.[6][7]

본 연구에서는 웨이브릿 변환 후 발생한 웨이브릿 계수들의 엔트로피 코딩을 위하여 먼저 [5]에서 제안된 MS-VLI 표를 이용하여 변환하였다. 여기에서 모든 웨이브릿 계수들은 세부분으로 분류된다 : Magnitude Set, Sign Bit, Magnitude bit. 코딩 효율을 높이기 위하여 Sign Bit와 Magnitude bit은 코딩하지 않고 산술 부호화하여 전송하고, Magnitude Set에서는 각 부밴드 영역에서 계수간의 상관성을 제거하고 레벨이 다른 부밴드간의 종속성을 고려한 context를 구성하였고 그림 1에 나타냈다.



(a) Adjacent pixels (b) Parent pixels
그림 1. 예측을 위한 contexts

식 (5)에 예측에 이용되는 context를 나타냈다.

$$C = \{ MS[i-1,j-1], MS[i-1,j], MS[i-1,j+1], MS[i,j-1], MS[i,j/2] \} \quad (5)$$

여기에서 MS[i,j]는 화소 (i,j)에서의 magnitude set값을 나타낸다. 예를 들면 그림 1에서 화소

x[i,j]은 x_0, x_1, x_2, x_3 와 parent pixel x_4 ($x[i/2,j/2]$)의 MS의 평균값으로 예측 값 $\hat{x}[i,j]$ 을 구한다. 본 연구에서 대부분의 큰 예측 오차(prediction error)는 부밴드의 에지(edge)에서 발생하기 때문에 $\hat{x}[i,j]$ 을 구한 후 $\hat{x}[i,j]$ 을 thresholding 값으로 정하고 다시 context를 구성하는 화소들과 비교하여 예측값 $\hat{x}[i,j]$ 이 주위 화소 값에 대한 영향을 나타내는 $\hat{e}[i,j]$ 을 계산하였다.[6][7][8]

$$b_k = \begin{cases} 1 & \text{if } x_k \geq \hat{x}[i,j] \\ 0 & \text{if } x_k < \hat{x}[i,j] \end{cases} \quad (6)$$

따라서 context C의 평균값 $\hat{x}[i,j]$ 을 5 비트의 값으로 나타낸 $B = b_4b_3b_2b_1b_0$ 값에서 구한 $\hat{e}[i,j]$ 에 $\hat{x}[i,j]$ 을 더하여 현재 화소 값을 예측하였다.

$$\hat{z}[i,j] = \hat{x}[i,j] + \hat{e}[i,j] \quad (7)$$

III-2 Class-wise Arithmetic Coding Scheme

예측을 하고 남은 값들의 전체적인 엔트로피를 줄이기 위하여 bit stream으로 전송하기 전에 부밴드 영역의 국부적인 성질에 따라서 블록으로 분류하였다. 각 레벨의 부밴드 중에서 세 개의 최고주파 부밴드 영역(the highest frequency subband)은 8×8 크기의 블록, 그 다음 레벨의 세 개의 부밴드 영역은 4×4 의 블록, 나머지 부밴드 영역은 2×2 크기의 블록으로 구성하여 각 블록 화소 값들의 평균값을 구하여 각각의 블록을 4개의 부류로 구분하였다.[4] 부밴드 영역에서 4개의 부류에 속한 블록의 모든 화소들에 대하여 각각 적응산술부호화를 적용하여 bit stream으로 전송하였다.[9]

IV. 실험

본 논문에서 제안한 무손실 정지영상 압축 알고리즘의 실험을 위하여 256 그레이 값(gray

level)을 갖고, 부밴드 영역에서 각각 다른 주파수 특성을 나타내는 512×512 크기의 표준영상들을 정하였다. 웨이브릿 변환은 영상 크기에 따라서 최저밴드 영역의 수직 혹은 수평축의 화소수가 8보다 작을 때까지 실행하였다. 즉 9-7 탭의 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 6레벨의 웨이브릿 변환을 하였다. 코딩을 위하여 먼저 MS_VLI 표를 이용하여 변환하고 context modeling과 error feedback을 이용한 예측(prediction)을 하였고, Sign bit와 Magnitude bit은 전송효율을 높이기 위하여 코딩하지 않고 전송하였다. 실험결과는 S+P변환을 이용한 결과 [5][8]와 9-7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터를 이용한 결과와 비교하여 표 3에 나타내었다. 표준영상들은 각각 다른 영상정보를 갖으면서 공간적 혹은 주파수 성질이 다르기 때문에 9-7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 제안한 알고리즘은 모든 영상에 최적의 성능을 나타내지는 않지만, peppers, boat, airplane 영상에 대하여는 S+P 변환의 결과와 비교하여 향상된 결과를 보여주고 있다.

표 3 제안한 알고리즘과 S+P 변환에 의한 무손실 압축률(B/pixel) 비교

Image	9/7 filter	S+P Trans (Said & Pearlman)	S+P Trans (M.G. Strintzis)
lena	4.58	4.17	4.14
peppers	4.19	4.58	4.54
crowd	4.37	4.00	3.97
boat	4.19	4.31	4.26
airplane	3.84	3.91	3.87
bridges	6.05	5.58	5.53
barbara	4.60	4.55	4.49
couple	4.02	3.87	

V. 결론

본 연구에서는 S+P 웨이브릿 변환과 정수 웨이브릿 필터들을 비교하였고 비교적 성능이 좋은 9-7 탭 ICFB를 이용하여 웨이브릿 변환을 하였

다. 또한 영상 압축률을 높이기 위하여 다중 분해능 구조의 종속성을 고려한 context-modeling과 예측오차의 feedback을 이용하여 부밴드 값들에 대하여 예측을 적용하는 코딩방법과 블록으로 나눈 부밴드값에 적응 산술부호화하여 전송하는 무손실 영상압축 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과에서 각 실험 영상들은 공간적 특성과 주파수 특성이 다르기 때문에 9-7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 제안한 알고리즘은 모든 실험 영상에 대하여 최적의 결과를 낼 수 없음을 알 수 있었고, 몇 개의 영상에 대하여는 최적의 성능을 보여주고 있다. 따라서 국부적인 영상정보의 성질에 맞추어 적응적으로 웨이브릿 필터를 적용하는 방법, 정수 웨이브릿 필터에 예측을 적용하는 방법과 블록에 대한 확률적인 성질을 이용하는 방법 등에 대한 연구가 필요하리라고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] G. K. Wallace, " The JPEG still picture compression standard", Comm. ACM, vol. 34, PP. 30-44, Apr. 1991.
 [2] G. Strang and T. Nguyen. Wavelets and Filter Banks. Wellesley-Cambridge Press, Wellesley, 1996.
 [3] Dalderbank, A.R, Daubechies, I., Sweldens, W., Boon-Lock Y, Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference on Volume:1, 1997, page(s): 596-599 Vol.1
 [4] Ilango Balasingham, John M. Lervik, Tor A. Ramstad. Lossless image compression using integer coefficient filter banks and class-wise arithmetic coding. proceedings of the IEEE ICASSP, volume 3, v.3, May. 1998.
 [5] A. Said and W. A. Pearlman. An image multiresolution representation for lossless and lossy image compression. IEEE Trans. Image Processing, 5:1303-1310, Sept. 1996.
 [6] Nasir Memon, Vishal Sippy, Xiaolin Wu. A comparison of prediction schemes proposed for a new lossless image compression standard. proceesings of the IEEE ISCS, volume 2, v.2, May.
 [7] Nasir Memon, Xiaolin Wu. Recent developments in context-based predictive techniques for lossless image compression. THE COMPUTER JOURNAL, volume.40, No.2/3, 1997.
 [8] G. A. Triantafyllidis, M. G. Strintzis. A context based adaptive arithmetic coding technique for lossless image compression. IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS. vol. 6, NO. 7, JULY 1999.
 [9] I. H. Witten, R. M. Neal, and J. G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," CACM, vol. 30, no. 6, pp. 520-540, 1987