

영상압축을 위한 에러 피드백을 이용한 컨텍스트 기반 예측기법

추형석, 조상진, 박제선, 이태호, 안종구
울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

A Context based predictive technique using Error Feedback for Lossless Image Compression

Hyung Suk Chu, Sang Jin cho, Je Sun Park, Tae Ho Lee, Chong Koo An

School of Electrical, Electronics and Automation Engineering,

University of Ulsan

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

요약문

본 논문에서는 S+P 웨이브릿 변환과 정수 웨이브릿 필터들을 비교 분석하고, 9/7탭 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 웨이브릿 변환을 하고, 점진적 전송에 적합하고, 다중 분해능 구조의 종속성과 방향성에 대한 고려와 예측오차의 피드백을 이용한 컨텍스트 모델링 예측과 적응산술부호화에 의한 엔트로피 코딩 방법을 제안하였다. 다양한 영상들에 대한 실험을 통해 본 논문에서 제안한 무손실 영상 압축알고리즘을 S+P 웨이브릿을 이용한 결과와 비교하였다.

I. 서론

지금까지 정지영상압축 알고리즘의 기준으로서 선형 예측기를 이용한 JPEG이 효율적인 알고리즘으로서 사용되고 있다.[1] 그러나 JPEG은 하나의 분해능을 갖고 있으므로, 영상을 복원할 때 전체적인 화면 단위로만 처리가 가능하므로 점진적 전송(progressive transmission)이 불가능하다. 웨이브릿 기반 영상 압축 알고리즘이 제공하는 중요한 장점은 다중 분해능의 부밴드 영역값(subband samples)을 저장하고, 점진적 전송을 할 수 있다는 데에 있다. 웨이브릿 기반 영상 압축은 크게 웨이브릿 변환, 양자화, 부호화(entropy coding)의 3단계로 구성된다. 지금까지 웨이브릿을 이용한 무손실 영상압축을 위해 실수연산을 정수연산으로 대체하면서도 영상에너지 압축효율 또한 뛰어난 정수 웨이브릿(ICFB: Integer Coefficient Filter Bank) 변환 방식으로 가장 간단한 S-변환(Haar wavelet)으로부터 lifting scheme을 이용하는 방식 등 다양한 ICFB들이 제안되었다.[2][3][4]

최근에는 Said 와 Pearlman의 S+P 웨이브릿 변환이 많이 이용되고 있다.[5] 간단하면서도 효율적

인 S+P 변환은 S-변환을 이용하여, 각각의 웨이브릿 변환마다 예측기를 적용하였다. 이와 같은 방법은 웨이브릿 변환을 한 후에 예측기를 적용한 결과보다 더 좋은 결과를 보여주고 있다. 그러나 Haar wavelet은 여러 가지 다른 ICFB와 비교하여 스무스(smooth)한 성질을 갖는 영상의 상관관계를 제거하는 데에는 효율적이지 못하다.[4]

본 논문에서는 S+P 웨이브릿 변환과 정수 웨이브릿 필터들을 비교 분석하고, 웨이브릿 변환을 이용하여 다중 분해능 구조의 종속성과 방향성에 대한 고려와 예측에러의 피드백을 이용한 컨텍스트 모델링(context-modeling) 예측과 부밴드 값들에 적응산술부호화[8]를 적용하는 코딩방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 다양한 영상에 대하여 실험하였고, 실험결과를 S+P 변환을 이용하여 얻은 결과[5][8]와 비교하였다.

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

II. 정수 웨이브릿 변환

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

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

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.

표 1. 예측기 계수들

Table 1. Coefficients of the selected predictors for the S+P Transform

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

즉 고주파 성분이 많은 영상에는 예측기 A가 B, C에 비해 월등한 압축성능을 나타내고 자연(natural) 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.

Balasingham 등은 정수 웨이브릿 필터들을 소개하고 주파수 특성이 다른 5개의 실험 영상에 대하여 정수 웨이브릿 필터들을 이용하여 무손실 압축을 한 결과를 비교 분석하였다.[4] 표 2에 나타낸 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.

표 2. ISO 영상들에 대한 압축률 비교

Table 2. Exact bit rates of the chosen ISO images

Image	정수 웨이브릿 필터(ICFB)						
	2/2	5/3 I	5/3 II	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
Aerial1	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
Mean	5.422	4.999	5.017	4.949	4.949	4.951	4.942

본 논문에서는 위의 실험에서 나타난 필터들을 비교하였을 때 5/3 필터가 계수의 수가 작으면서 상대적으로 좋은 압축률을 보여주고 있지만 평균 압축률에서 더 좋은 성능을 가지면서 17/11 필터보다는 계수의 수가 적은 9/7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 웨이브릿 변환을 하였고, 9/7 정수 웨이브릿 변환 식은 다음과 같다.[3][4]

일련의 1차원 입력신호를 $x[n]$ ($n = 0, \dots, N-1$, N 은 짝수)이라 하면

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

$$y[2i] = x[2i] + \lfloor \frac{(y[2i+1] + y[2i-1])}{4} \rfloor, \quad (2)$$

역 변환식은 다음과 같다.

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

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

III. 점진적 전송을 위한 엔트로피 코딩

1. 예측오차의 컨텍스트 모델링 과 에러 피드백

대부분의 무손실 압축 기법에서는 컨텍스트 모델링이 에러 모델링 기법(error modelling technique)으로 이용되고 있고, 각 화소에서 예측 오차는 이미 부호화된 주위 화소 값들을 이용하여 계산된다.[6][7]

본 연구에서는 일반적으로 스무스한 성질을 갖는 자연영상의 상관관계를 잘 제거하는 9/7 정수 웨이브릿 변환과 함께 자연영상들에서 생기는 에지(edge) 성분, 다시 말하면 상대적으로 고주파 성분을 갖는 자연영상들에 대한 엔트로피 코딩 효율을 향상시키기 위하여 컨텍스트 모델링을 기반으로하는 예측과 에러 피드백 기법(error feedback mechanism), class-wise adaptive arithmetic coding scheme을 적절히 적용함으로써 고주파 성분의 코딩 효율을 개선하여 무손실 압축률을 높이는데 있다.

엔트로피 코딩을 위하여 먼저 [5]에서 제안된 MS-VLI 표현기법을 이용하여 변환하였다. 여기에서 모든 웨이브릿 계수들은 크기 세트(magnitude set), 부호 비트(sign bit), 크기 비트(magnitude bit) 등의 세 부분으로 분류된다. 코딩 효율을 높이기 위하여 사인 비트와 크기 비트는 계수간의 상관성이 없기 때문에 코딩하지 않고 산술 부호화하여 전송하고, 크기 세트에서는 각 부밴드 영역값에서 계수간의 상관성을 제거하고 레벨이 다른 부밴드간의 종속성과 방향성을 고려한 컨텍스트를 구성하여 예측한다. 그림 1에 예측을 위한 컨텍스트를 나타내었다.

MS-VLI 표를 이용하여 얻은 주위 화소의 크기 세트 값들에서 웨이브릿 변환된 영상의 지역적인 상관성을 제거하기 위한 주위 화소들과 계층적인 피라

미드 구조의 다른 레벨 화소 값에 따라서 각 서브밴드를 구성하는 컨텍스트를 식(5)에 나타내었다.

$$\text{LH band: } \hat{C} = \{x_w, x_{nw}, x_n, x_{ne}, x_{p1}, x_{p2}\} \quad (5)$$

$$\text{HL band: } \hat{C} = \{x_w, x_{nw}, x_n, x_{ne}, x_{p1}, x_{p2}\}$$

$$\text{HH band: } \hat{C} = \{x_w, x_{nw}, x_n, x_{ne}, x_{sis1}, x_{sis2}, x_{p1}\}$$

여기에서 첨자 w, nw, n, ne는 각각 화소의 서, 북서, 북, 북동방향을 표시하고, $p_k(k=1,2)$ 는 k번째 부모 화소, sis는 주위 서브밴드의 화소들을 가리킨다.

그림 1에서 화소 $x[i,j]$ 은 크기 세트를 구성하는 컨텍스트의 평균값으로 예측 값 $\hat{x}[i,j]$ 을 구한다. 그러나 크기 세트의 평균 값 만으로는 컨텍스트를 구성하는 화소들과 예측 값 $\hat{x}[i,j]$ 사이의 복잡한 관계를 제거하는 데에는 적절하지 못하다. 따라서 예측 값과 주변 화소들의 관계에 대한 고려가 더 높은 압축률을 위해 영상의 텍스처 패턴(texture pattern)이나 국부 동작성(local activity)과 같은 특성들을 이용할 수 있게 해준다. 이와 같은 접근은 컨텍스트 사이에서 예측 바이어스(prediction bias)를 제거하는 에러 피드백 기법을 이용하여 엔트로피 코딩 전에 예측 값을 재고하여 볼 수 있도록 해준다.[6]

본 연구에서 대부분의 큰 예측 오차는 부밴드의 에지(edge)에서 발생하기 때문에 $\hat{x}[i,j]$ 을 구한 후 $\hat{x}[i,j]$ 을 임계값으로 정하고 다시 컨텍스트를 구성하는 화소들과 비교하여 예측값 $\hat{x}[i,j]$ 이 주위 화소 값에 대한 영향을 나타내는 $\hat{e}[i,j]$ 을 계산하였다.[7][8]

식 (6)에서 예측값 $\hat{x}[i,j]$ 을 컨텍스트 C의 화소들과 비교하여 $B = b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ 와 같이 5 비트의 값으로 나타내었고, 식 (7)에서는 B값에서 $\hat{e}[i,j]$ 값을 구하는 과정을 보였다.

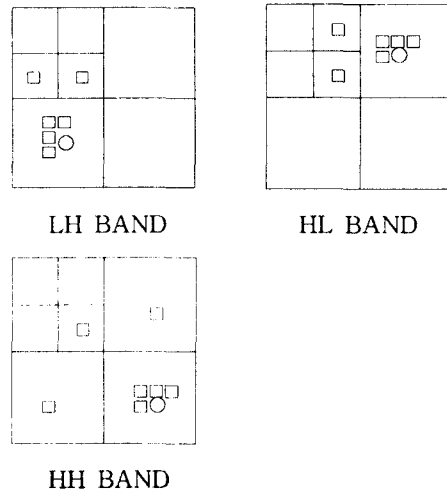
$$b_k = \begin{cases} 1 & \text{if } x_k \geq \hat{x}[i,j] \\ 0 & \text{if } x_k < \hat{x}[i,j] \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{e}[i,j] = \begin{cases} 0 & \text{if } B < T \\ 1 & \text{if } B \geq T \end{cases} \quad (7)$$

여기에서 T값은 실험을 통하여 얻은 적절한 임계값(thresholding value)이다.

따라서 주위 화소들의 평균값 $\hat{x}[i,j]$ 에 $\hat{e}[i,j]$ 을 더하여 예측값 $\hat{p}[i,j]$ 을 구한다.

$$\hat{p}[i,j] = \hat{x}[i,j] + \hat{e}[i,j] \quad (8)$$



○ : 현재 화소의 크기세트
□ : 현재화소의 예측을 위한 크기세트

그림 1. 예측을 위한 contexts

Fig. 1. Set of conditioning contexts.

2. Class-wise Arithmetic Coding Scheme

예측을 하고 남은 값들의 전체적인 엔트로피를 줄이기 위하여 비트 스트림(bit stream)으로 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] 분류를 한 후에 각 부밴드 영역에서 4개의 부류에 속한 블록의 모든 화소들에 대하여 적응 산술부호화를 이용하여 비트 스트림으로 나타내어 전송하였다. 또한 블록 분류 맵(block classification map)도 적응산술부호화를 적용하여 부가정보(side information)로서 전송하였다.

IV. 실험

본 논문에서 제안한 무손실 영상 압축알고리즘의 실험을 위하여 그레이 레벨(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. 실험결과는 S+P변환을 이용한 결과[5][8]와 제안한 알고리즘의 9/7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터와 S+P 변환을 이용한 결과와 비교하여 표 3에 나타내었다. S+P변환을 이용한 Said 와 Pearlman은 MS-VLI 표를 이용하여 변환하고 예측하고자 하는

주변 크기 세트 화소들의 평균값과 부모 화소의 상태에 따라서 적절한 컨텍스트 모델을 선택하였고, 여기에 적응 산술 부호화를 적용하여 비트 스트림으로 전송하는 엔트로피 코딩 방법을 제안하였고, M.G. Strintzis는 S+P변환과 MS-VLI 표를 이용한 변환과 함께 적절한 컨텍스트 모델을 선택하는데 있어서 가중값최소자승(weighted least square)방법을 이용하여 컨텍스트 모델의 선택에 좀더 적응성을 주었고 여기에 적응산술부호화를 적용하는 방법을 제안하였고 결과를 표 3에 나타내었다.[8]

실험 결과에서 M.G. Strintzis의 결과 값이 Said 와 Pearlman의 실험 결과와 비교하여 전체적으로 향상된 결과를 보여주고 있다. 제안한 알고리즘을 이용한 9/7 ICFB와 S+P변환의 결과는 실험영상들이 각각 다른 영상정보를 가지면서 공간적 혹은 주파수 성질이 다르기 때문에 모든 영상에 최적의 성능을 나타내지는 않지만, peppers, boat, airplane 영상들과 같이 X·Y축의 고주파 성분을 많이 갖는 영상에 대하여는 M.G. Strintzis와 Said 와 Pearlman의 실험 결과와 비교하여 향상된 결과를 보였고, 상대적으로 저주파 성분이 많은 lena, bridges의 영상에서는 성능이 떨어짐을 확인하였다. 이와 같은 결과는 부밴드 에지 영역에서 발생하는 예측 오차값을 고려한 컨텍스트 모델링과 에러 피드백 기법의 제안한 알고리즘이 부밴드 영역에서 에지 값을 잘 예측하고 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

표 3. 제안한 알고리즘과 S+P변환에 의한 무손실 압축률(B/PIXEL)

Table 3. Lossless compression rates (B/PIXEL) obtained with the proposed coding method, and methods proposed by Said & Pearlman [5], M.G. Strintzis [8].

Image	Proposed Algorithm		S+P Trans (Said & Pearlman)	S+P Trans (M.G. Strintzis)
	9/7 ICFB	S+P Trans		
lena	4.58	4.505	4.17	4.14
peppers	4.19	4.162	4.58	4.54
crowd	4.37	4.340	4.00	3.97
boat	4.19	4.147	4.31	4.26
airplane	3.84	3.842	3.91	3.87
bridges	6.05	6.025	5.58	5.53
barbara	4.60	4.586	4.55	4.49
couple	4.02	4.020	3.87	

V. 결론

본 연구에서는 다중 분해능 구조의 종속성과 방향성을 고려한 컨텍스트 모델링과 예측오차의 피드백을 이용하여 부밴드 값들에 대하여 예측을 적용하는 코딩방법과 블록으로 나눈 부밴드값에 적응 산술부호화하여 전송하는 무손실 영상압축 알고리즘을 제안하였

다. 제안한 알고리즘의 다양한 영상에 대한 실험에서 각 실험 영상들은 공간적 특성과 주파수 특성이 다르기 때문에 제안한 알고리즘은 모든 실험 영상에 대하여 최적의 결과를 낼 수 없음을 알 수 있었고, 실험결과에서 보면 상대적으로 고주파 성분을 많이 갖는 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.

참고 문헌

- [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 YEO, "Lossless image compression using integer to integer wavelet transforms". 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". proceedings of the IEEE ISCS, volume 2, v.2, May. 1996.
- [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