

# L-SSKF와 BWT를 이용한 무손실 영상 압축

\*고승권\*, \*\*윤정오, \*황찬식

\*경북대학교 전자·전기공학부

\*\*경운대학교 컴퓨터·전자·정보공학부

## Lossless Image Compression Using Lossless Symmetric Short Kernel Filter and Burrows-Wheeler Transformation

\*Seung-Kwon Ko\*, Jeong-Oh Yoon\*, Chan-Sik Hwang\*

\*School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National University

\*\*School of Computer, Electronic & Information Eng., Kyungwoon University

skko@palgong.knu.ac.kr

### 요약문

최근에 새로운 텍스트 압축방법인 BWT(Burrows and Wheeler transformation)가 소개되었다. 이 변환은 우수한 텍스트 압축성능을 가지지만 텍스트와 영상의 다른 성질로 인해 영상에 직접 적용될 때 그다지 우수한 압축성능을 기대할 수 없다. 본 논문에서는 L-SSKF(Lossless Symmetric Short Kernel Filter)를 사용하여 영상을 대역분할한 후에 BWT를 수행하여 무손실이면서 우수한 압축성능을 가지는 무손실 영상압축 방법을 제안한다. 또한 압축성능의 향상을 위해 두과정의 중간에 화소예측방법인 GAP(Gradient Adjusted Prediction)를 적용하여 성능개선을 비교하였다.

### 1. 서론

다중 매체가 결합된 다중 미디어 환경이 다양하게 발전하고 있는 멀티미디어 시대에 있어서 문자, 영상 등의 다양하고 방대한 멀티미디어 데이터를 제한된 전송채널의 대역폭이나 저장장치의 저장 용량에 효과적으로 처리하는 데에는 어려움이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 압축기술의 개발은 필수적이며 처리하고자 하는 데이터의 특성에 따라 압축 방법이 달리 연구되어 왔다. 어느 정도의 화질의 열화나 양자화 오차를 허용하는 손실 압축 알고리즘에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 그러나 최근에는 고정밀 영상 해석, 예술작품의 보존, 의료 영상, 위성 영상 등에서 무손실적인 압축이 요구되면서, 우수한 성능의 무손실 영상 압축 알고

리즘의 필요성이 제기되고 있고 무손실 JPEG 표준안 [1] 등이 소개되고 있다.

최근에 새로운 텍스트 압축기술인 BWT(Burrows and Wheeler transformation)를 포함하는 블록 정렬(block-sorting) 데이터 압축 알고리즘[2]이 텍스트에 대해 우수한 압축성능을 가진다고 알려져 있다. 이 변환 후 생성된 결과 데이터는 원 데이터와 배열 순서만 다르고 구성요소는 같으며 가역 특성으로 인해 데이터의 완전한 복원이 가능하다. 그러나 이것을 직접 영상에 적용하면 영상과 텍스트의 서로 다른 특성으로 인해 압축성능이 우수하지 못하다. 이는 BWT를 이용하여 영상의 무손실 압축성능을 개선하고자 할 때는 영상의 특성을 고려한 적용이 이루어져야 한다는 것을 의미한다.

그러므로, 본 논문에서는 가역 분리가 가능한 완전 재생필터인 L-SSKF(Lossless Symmetric Short Kernel Filter)를 영상에 적용하여 계층적으로 대역을 분할을 하여 영상의 엔트로피 및 화소 사이의 상관관계를 줄인 후 텍스트와 같이 연관성이 적은 정보에 대해 우수한 압축 성능을 가지는 BWT를 수행하여, 무손실 이면서 우수한 압축성능이 기대되는 압축방법을 제안한다. 또한, 더 우수한 압축 성능 개선을 위해 L-SSKF를 적용하여 대역분할된 영상에 화소사이의 연관성을 줄이는 우수한 화소예측방법인 GAP(Gradient Adjusted Prediction)[3]를 저주파영역에 적용한 후 BWT를 수행하는 방법을 제안한다.

## 2. Burrows and Wheeler transformation

최근 M. Burrows와 D. Wheeler는 데이터를 일정한 크기의 블록으로 나누어 각 블록에 대해 정렬 알고리즘을 제안하였다[2]. 이 알고리즘은 3단계로 구성되어 있다. 1단계는 BWT과정, 2단계는 MTF(Move-to-front)과정, 3단계는 엔트로피 부호화과정이다. BWT와 MTF 과정은 엔트로피 부호화 과정에서 뛰어난 압축성을 얻기 위한 전처리 과정이다. 이 압축 알고리즘에서 BWT를 거친 결과 데이터는 원 데이터와 배열순서만 다르고 구성요소는 같으면 가역특성으로 인해 데이터의 완전한 복원이 가능하다. 이 알고리즘에서 핵심적인 역할을 하는 BWT의 구조를 간단한 예를 통해 설명하면 다음과 같다.

“mississippi” 이라는 문자열을 가지고 BWT를 수행해보자. BWT 순방향 변환은 그림 1에서 보듯이 두 단계로 구성되어 있다. 그림 1(a)처럼 한 문자씩 우측방향으로 순환하여 이동하는 과정과 그림 2(b)에서 그림 1(a)의 문자열들을 사전적 순서(Lexicographical)로 정렬하는 단계로 구성되어 있다.

index	Text	index	Text	L
1	m i s s i s s i p i	1	i m i s s i s s i p	p
2	i m i s s i s s i p	2	i p p i m i s s i s s	s
3	p i m i s s i s s p	3	i s s i p p i m i s s	s
4	p p i m i s s i s i	4	i s s i s s i p p i m	m
5	i p p i m i s s i s	5	m i s s i s s i p p i	i
6	s i p p i m i s s s	6	p i m i s s i s s i p	p
7	s s i p p i m i s i	7	p p i m i s s i s s i	i
8	i s s i p p i m i s	8	s i p p i m i s s i s	s
9	s i s s i p p i m s	9	s i s s i p p i m i s	s
10	s s i s s i p p i i	10	s s i p p i m i s s i	i
11	i s s i s s i p p m	11	s s i s s i p p i m i	i

(a) 단계 1 (b) 단계 2

그림 1. BWT 순방향 변환의 예

BWT의 순방향 변환 후 전송할 데이터는 그림 1(b)에서 각 문자열의 마지막 문자들로 이루어진 문자열 L인 “pssmippiisii”와 원 데이터 문자열을 표시하는 인덱스(index)인 5이다. 그러나 BWT 자체가 압축효과가 있는 것이 아니므로 전송데이터 (pssmippiisii, 5)를 MTF 과정을 거쳐 엔트로피 부호화를 하여 데이터를 압축한다.

압축된 데이터를 원 데이터로 복원하기 위해서는 압축 데이터를 엔트로피 부호화과정과 역MTF과정을 거친 후에 BWT 역방향 변환을 수행하여 원 데이터를 얻을 수 있다. BWT 역방향 변환은 그림 2(a)의 수신된 문자열에 대한 사전적순서에 의한 재정렬 및 연결하는 과정과 그림 2(b)의 재정렬된 문자열에 대해 수신된 인덱스를 이용한 원 문자열 복원과정으로 구성된다. 원 문자열 “mississippi”을 완전히 복원하기 위해 그림 2(b)에서 보듯이 “m”을 찾고 “m”과 연결된 4번째 문자인 “i”를 찾고 “i”와 연결된 11번째 문자인

“s”를 찾게 되는 방법을 반복하여 원 문자열을 복원한다.

텍스트에 우수한 압축성을 가지는 BWT를 직접 영상에 적용하면 표 1에서 보듯이 무손실 JPEG 표준안에 비해 그리 좋지 못한 결과를 보인다. 이는 텍스트와 영상의 서로 다른 특성 때문이며 BWT를 이용하여 영상의 무손실 압축성을 개선하고자 할 때는 영상의 특성을 고려한 적용이 이루어져야 함을 의미한다.

index	수신된 문자열	재정렬된 문자열	Link	index	재정렬된 문자열	Link
1	p	i...	5	1	i	5
2	s	i...	7	2	i	7
3	s	i...	10	3	i	10
4	m	i...	11	4	i	11
5	i	m...	4	5	m	4
6	p	p...	1	6	p	1
7	i	p...	6	7	p	6
8	s	s...	2	8	s	2
9	s	s...	3	9	s	3
10	i	s...	8	10	s	8
11	i	s...	9	11	s	9

(a) 단계 1 (b) 단계 2

그림 2. BWT 역방향 변환의 예

## 3. Lossless Symmetric Short Kernel Filter

영상을 대역분할하는 데에는 여러 필터가 쓰인다. 그 중에서 비직교성의 특성 및 분해한 결과에 대한 완벽한 복원이 이루어 지는 필터로 L-SSKF가 있다[4]. 이 필터는 많은 연구에서 쓰이는 S변환의 필터보다 저주파영역에서의 주파수 응답이 이상적인 필터응답에 더 근접한다[5]. 또한 이 필터는 정수 값의 필터 계수를 가지면서 간단한 산술연산으로 쉽게 구현할 수 있으며 분리된 부대역들의 평균 엔트로피를 효과적으로 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 식 (1)과 (2)에 제시된 LPF(Low pass filter)의 탭길이가 5이고 HPF(High pass filter)의 탭길이가 3인 L-SSKF(5×3)을 사용하였다. 이들 식에서  $L(t)$ 와  $H(t)$ 는 각각 LPF와 HPF의 출력이며  $X(2t)$ 와  $X(2t-1)$ 은 입력신호이다.  $Floor(x)$ 는  $x$ 를 넘지않는 최대 정수값을 표현하는 함수이다.

$$L(t) = X(2t) + Floor\left(\frac{H(t) + H(t+1)}{4}\right) \quad (1)$$

$$H(t) = X(2t-1) - Floor\left(\frac{X(2t) + X(2t-2)}{2}\right) \quad (2)$$

## 4. 제안한 방법

### 4.1 L-SSKF와 BWT의 결합

본 논문에서는 텍스트 압축에 뛰어난 성능이 있다고 소개된 BWT를 영상에 직접 적용하는 경우에 우수한 압축 성능을 가지는 방법을 제안한다. 단순히 영상에 BWT를 적용하면 텍스트와 영상의 서로 다른 특성 때문에 만족할 만한 결과를 얻을 수 없다. 따라서 본 방법은 영상에 L-SSKF를 적용하여 계층적으로 대역분할하여 영상의 엔트로피 및 화소 사이의 상관관계를 줄인 후에 BWT를 수행하여 적응적 산술 부호화를 거쳐 전송한다. 다시 역과정을 거치면 무손실적으로 복원가능하다.

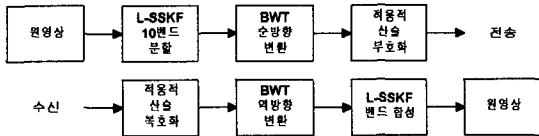


그림 3. L-SSKF와 BWT 결합방법의 무손실 영상 압축/복원 블록 다이어그램

그림 3은 제안한 방법의 전체 처리과정을 나타내었다. 완전 재생 필터 특성을 가지는 L-SSKF(5×3)을 사용하여 용장도가 많은 최저주파 영역에 대해 3회 반복하여 영상을 10밴드로 계층적으로 대역을 분할하여 영상의 엔트로피 성분을 줄여 화소간의 상관관계를 줄였다. 대역분할 및 합성과정에서 생기는 속도측면의 문제를 제안방법에서는 MTF 처리과정을 생략하여 블록 정렬 알고리즘과 비슷하게 하여 해결하였다.

### 4.2 L-SSKF와 GAP와 BWT의 결합

여기서 제안한 방법은 BWT가 텍스트와 같이 상관관계가 적은 데이터에 대해 뛰어난 압축성능을 가지는 특성[2]을 고려하여 위의 제안방법을 변형하였다. 영상에 L-SSKF(5×3)를 적용하고 우수한 화소예측방법인 GAP를 최저주파영역인 LL밴드에 적용한 후에 BWT를 사용하여 무손실이면서도 우수한 압축성능을 나타나게 하였다.

GAP는 간단하면서도 적응적이며 비선형적인 화소 예측방법 중의 한 방법[3]이다. 자체적인 기울기 조정을 이용하므로 다른 화소예측방법인 무손실 JPEG표준안 [1] 등의 방법에 비해 엔트로피가 적어 압축성능 면에서 우수하다. 그림 4는 현 위치의 화소  $I[i, j]$ 와 인접하는 화소들간의 관계를 표시하였다. GAP는 이들 화소값들을 이용하여 식 (3)과 (4)에서 화소간의 수평, 수직 기울기  $d_h$ 와  $d_v$ 를 구한 후 참고논문 [3]에서 제시된 알고리즘을 이용해서 예측계수들을 구하는 방법이다.

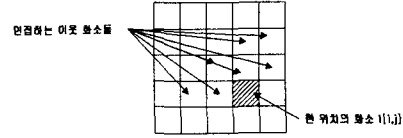


그림 4. GAP에서 현 위치의 화소와 인접하는 화소들간의 관계

$$d_h = |I[i, j-1] - I[i, j-2]| + |I[i-1, j] - I[i-1, j-1]| + |I[i-1, j] - I[i-1, j+1]| \quad (3)$$

$$d_v = |I[i, j-1] - I[i-1, j-1]| + |I[i-1, j] - I[i-1, j-2]| + |I[i-1, j+1] - I[i-2, j+1]| \quad (4)$$

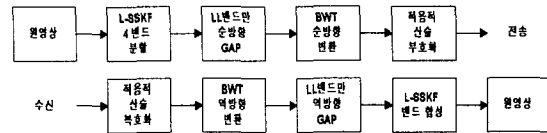


그림 5. L-SSKF와 GAP와 BWT 결합방법의 무손실 영상 압축/복원 블록 다이어그램

그림 5은 L-SSKF와 GAP와 BWT 결합방법의 전체 처리과정을 나타내었다. 완전 재생 필터 특성을 가지는 L-SSKF(5×3)을 사용하여 4밴드로 계층적으로 대역을 분할한 후에 최저주파영역에 남아있는 화소간의 상관성을 GAP를 거쳐 더욱 줄인 후 BWT를 수행한다. GAP는 영상의 엔트로피 성분을 줄여 화소간의 상관관계를 줄이는 역할을 한다. 이 방법에서도 BWT수행시 MTF 처리과정을 생략하였다.

## 5. 실험 및 분석

제안한 무손실 영상 압축방법의 성능평가를 위해 7가지 실험영상을 사용하였다. 실험에 사용된 영상들 모두 512×512 크기의 8비트 그레이 레벨을 갖는 영상들이다. 그림 6은 위쪽 왼편부터 Sailboat, Lena, Peppers, Babara이고 아래쪽 왼편부터 Tiffany, Aerial, Crowd의 7가지 실험영상을 차례로 나타내었다.



(a) Sailboat (b) Lena (c) Peppers (d) Babara



(e) Tiffany (f) Aerial (g) Crowd

그림 6. 실험영상들

본 논문에서는 압축률을 비교하기 위한 방법으로 bpp(bits per pixel)을 사용하였으며 다음 식 (5)로 표현한다.

$$bpp = \frac{8 \times \text{압축된파일크기}}{\text{원래의파일크기}} \quad (5)$$

표 1. 여러 실험 영상들에 대한 압축률 결과

실험 영상	PKZIP	Original BWT	L-JPEG (mod 6)	GAP	L-SSFF (10band)	L-SSFF +BWT	L-SSFF +GAP +BWT
Sailboat	7.249	5.924	5.500	5.251	5.364	5.281	5.185
Lena	7.124	5.597	4.565	4.401	4.540	4.487	4.392
Peppers	7.294	5.638	5.064	4.745	4.833	4.775	4.673
Babara	7.582	6.504	5.417	5.251	5.220	5.069	5.025
Tiffany	6.516	5.278	5.088	4.876	5.018	4.953	4.875
Aerial	7.139	6.093	5.482	5.311	5.471	5.349	5.272
Crowd	6.397	5.147	4.652	4.483	4.686	4.564	4.445
평균	7.043	5.740	5.110	4.903	5.019	4.925	4.838

표 1은 7가지 실험영상에 대해 LZ계열의 PKZIP, 블록 정렬 알고리즘(Original BWT), 무손실 JPEG표준안, 화소예측방법의 한종류인 GAP 그리고 L-SSKF를 사용한 대역분할방법 등의 여러 무손실 압축방법과 본 논문에서 제안한 L-SSKF와 BWT 결합방법(L-SSKF+BWT)과 L-SSKF와 GAP와 BWT 결합방법(L-SSKF+GAP+BWT)의 압축률을 비교한 결과를 나타내었다. 표 1에서 보듯이 L-SSKF와 BWT 결합방법은 기존 압축 방법보다 0.094~0.815의 압축률 개선을 보이고 GAP와는 비슷한 압축결과를 나타내었고 L-SSKF와 GAP와 BWT 결합방법은 여러 기존 압축방법들에 비해 0.065~0.902의 압축률 개선을 보였다. 이는 제안한 방법들이 상관관계가 적은 텍스트에 우수한 압축성능을 가지는 BWT를 수행하기에 앞서 L-SSKF를 비롯하여 GAP를 수행하여 엔트로피가 적으면 적을수록 상관관계가 더 줄어드는 특성[6]을 이용하여 영상 화소간의 상관관계를 줄였기 때문이다. 이와같이 본 논문에서 제안한 방법들이 기존 무손실 영상압축 방법들보다 우수한 압축성능을 가지는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문은 상관 관계가 적은 텍스트 압축에 뛰어난 성능을 가지는 BWT를 영상에 적용하여 무손실적이면서 압축성능이 우수한 방법을 제안하였다. 즉, 영상이 가지고 있는 화소사이의 상관성을 줄이기 위해 L-SSKF를 사용하여 대역을 분할하고 BWT를 수행하였다. 또한 BWT를 수행하기전에 대역분할된 최저주파 부분에 GAP를 사용하여 상관관계를 더욱 줄여 압축성능 개선을 개선시켰다. 이 방법들은 기존의 BWT와 무손실 JPEG 표준안 및 LZ 계열의 방법보다 우수한 무손실 압축성능을 나타내었다.

## 참고문헌

- [1] W. Pennebaker and J. Mitchell, "JPEG Still Image Data Compression," Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [2] M. Burrows and D.J.Wheeler, "A Block-sorting Lossless Data Compression Algorithm," SRC Research Report 124, Digital Systems Research Center, Palo, Alto, May 1994.
- [3] X. Wu and N. Memon, "Context-Based, Adaptive, Lossless Image Coding," *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 45, No. 4, pp. 437-444, April 1997.
- [4] K. Komatsu, K. Sezaki, Y. Yasuda, "Reversible Subband Coding of Images," *System and Computers in JAPAN*, vol. 26, no. 12, pp. 40-48, November 1995.
- [5] S. Chokchaitam, M. Iwashashi, N. Buabthong, N. Kambayashi, "Utilization of remaining correlation of L-SSKF for lossless image compression," *Proceedings of Circuits / Systems, Computers and Communications, IEEE*, Vol. 2, pp. 736-738, July 1999.
- [6] N. Memon, K. Sayood and S. S. Magliveras, "Lossless Compression of Multispectral Image Data," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 2, pp. 282-289, March 1993.