

효율적인 엔트로피부호화를 위한 명암도 등급 이미지의 전처리 기법

김선자**, 한득수*, 박정만**, 유강수*, 이종하***, 곽훈성**
*전북대학교 영상공학과, **전북대학교 컴퓨터공학과,
전주공업대학교 전기정보학과***
e-mail : dshan@chonbuk.ac.kr

A Preprocessing Technique of Gray Scale Image for Efficient Entropy Coding

Sun-Ja Kim**, Deuk-Su Han*, Jung-Man Park**,
Kang-Soo You*, Jong-Ha Lee***, Hoon-Sung Kwak**
*Dept of Image Engineering, Chon-Buk National University
**Dept of Computer Engineering, Chon-Buk National University
***Dept. of Electronics Information, Jeonju technical College

요 약

엔트로피부호화(entropy coding)는 텍스트와 같은 일반적인 데이터들을 효율적으로 압축하는 반면에, 이미지 데이터들에 대해서는 그 성능이 다소 저하된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선시키기 위한 효율적인 전처리기법(preprocessing technique)을 소개한다. 제안한 전처리기법은 입력된 명암도 등급 이미지를 무손실 압축하기 이전에, 이미지 내에서 인접한 명암도 값들의 발생빈도(occurrence frequency)를 조사한다. 다음으로 각 픽셀 쌍들의 명암도 값들을 발생빈도에 기반한 순서화된 값(ordered number)들로 대체시킨 후, 최종적으로 엔트로피부호화에 의한 압축을 수행한다. 이와 같은 단계들을 거치면서 이미지 데이터의 통계적인 특성(statistical feature)이 보다 강화되기 때문에, 엔트로피부호화에서의 무손실 압축 성능을 효율적으로 개선시킬 수 있다. 실험을 통하여 256 명암도 등급 이미지들을 산술부호화와 허프만부호화를 사용하여 압축한 결과, 제안한 전처리기법이 압축 후 비트율(bit rate)을 최대 37.49%까지 감소시켰음을 확인하였다.

1. 서론

위성이미지, 의료이미지, 예술작품 보존을 위한 이미지 등과 같이 모든 데이터가 중요한 이미지들의 효율적인 저장, 처리, 전송 등을 위해서 무손실 압축 기법이 필요하다. 이러한 무손실 압축은 실행-길이(Run-Length) 부호화, LZW부호화, 산술부호화, 허프만부호화 등과 같은 다양한 압축 알고리즘들을 통해서 구현이 가능하고, 실제 응용을 위해 SPHIT, CALIC, UCM, JPEG-LS, JPEG2000 무손실모드 등과 같은 다양한 기법들이 개발되었다.

현재까지 연구, 사용되고 있는 이러한 데이터 압축 알고리즘들 중 엔트로피부호화 방식은 입력 스트림의 통계적인 특성에 기반하여 보다 빈번하게 발생하는 데이터들에 대해서는 적은 양의 비트를 할당하는 방식이다.[1] 이와 같은 방식은 텍스트와 같이 일반적인 데이터들에 대해서는 좋은 압축률을 보이는

반면에, 다양한 이미지 데이터들에 적용 시켰을 경우에는 압축 성능이 다소 저하된다. 이러한 단점은 보다 정밀한 표현을 위해 디지털 이미지의 기본요소인 픽셀(pixel)에 많은 비트를 할당할수록 더욱 잘 나타난다. 그리고 이미지 데이터를 효율적으로 압축하기 위해 예측적(predictive)인 기법을 사용하는 JPEG-LS[2]와 같은 방식들과는 다르게, 이러한 기법에서는 다차원적인 이미지 데이터의 특성을 고려하지 않고, 픽셀 값들을 단순히 스트림(stream)으로만 처리하기 때문에 이미지를 효율적으로 압축하기에는 한계가 있다.[3]

본 논문에서는 단순한 명암도 등급 이미지들이 엔트로피부호화기에 의해 보다 효율적으로 압축될 수 있도록 인접한(adjacent) 명암도 값들을 다른 값들로 변환하는 전처리기법을 소개한다. 제안한 전처리는 인접한 픽셀 쌍들의 발생확률을 토대로, 명

암도 값들을 순서화된 특별한 값들로 대체한다. 이러한 전처리를 하는 목적은 엔트로피부호화에서의 압축 성능을 향상시키기 위하여 데이터의 중복성(redundancy)과 같은 이미지의 통계적인 특성들을 강화시키는 것이다.

본 논문은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 산술부호화 및 허프만부호화에 대한 간략한 소개를 하고, 3장에서는 제안한 기법의 각 단계를 설명한다. 다음으로 4장에서는 산술부호화와 허프만부호화를 사용하여 제안한 기법에 대한 성능 평가를 수행하고 마지막으로 5장에서는 결과에 대한 전체적인 고찰 및 발전된 연구를 위한 향후 과제를 제시한다.

2. 산술부호화 및 허프만부호화

부호화 중복성을 제거하는 엔트로피부호화의 대표적인 것으로는 산술부호화와 허프만부호화가 있다. 픽셀 값들의 발생 확률을 이용하는 이러한 방식들은 가변(variable) 비트를 사용하여 자주 나타나는 값에는 보다 적은 비트를, 드물게 나타나는 값에는 보다 많은 비트를 할당하여 평균 부호 길이를 최소한으로 하는 효율적인 압축 기법이다. 이제 엔트로피부호화의 예로 산술부호화와 허프만부호화를 살펴 보겠다.

먼저 산술부호화는 각 심볼(symbol)들의 발생 확률에 기반하여, 입력되는 일련의 심볼열을 0에서 1 사이의 구간 내의 위치를 표시하는 2진 소수 값으로 부호화하는 방식이다. 산술부호화 기법은 현존하는 무손실 부호화 방법들 중 가장 이상적인 엔트로피부호화가 가능하지만, 실행속도가 느리고, 임의접근(random access)이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 하지만 재귀적인 부분할(recursive interval) 시에 부호 구간 내에서 실제로 부분할 되는 점은 그때까지 발생된 픽셀 값들의 빈도수에 의존하기 때문에 국부적인(local) 이미지 특성에 잘 적용된다.[4]

다음으로 허프만부호화는 입력 심볼들의 발생 빈도를 나타내는 이진트리를 구성한 후, 이진트리의 각 간선에 한쪽에는 0을 다른 한쪽에는 1을 할당하여 루트에서 단말 노드까지의 경로를 통해 각 심볼들마다 최적화된 가변적인 부호어를 할당하게 된다. 이러한 이진트리의 사용으로 각 부호어들은 전치특성(prefix property)을 갖게 되므로 가변길이 부호어들을 위한 구분자를 사용할 필요가 없게 되어 데이터의 밀집도를 더욱 높일 수 있다. 또한 두 단계에 걸쳐서 압축을 수행해야만 한다는 단점을 가지고 있

음에도 불구하고 한 번에 한 심볼씩 부호화시키는 모든 부호화 기법들 중에서 심볼당 가장 적은 비트수를 할당한다.[5]

이와 같이 심볼에 대한 비트수가 이미지 내에서의 빈도수에 반비례하는 두 가지 엔트로피 부호화 방식은 심볼당 비트들의 평균 수치를 최소화할 수 있는 부호어들을 생성한다. 하지만 이미지 데이터들은 값의 범위가 다양하고, 그 용량 또한 비교적 크기 때문에 이와 같은 엔트로피부호화에 의해 효율적으로 압축되지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 기법을 사용하여 이미지의 픽셀 값들을 재조정하는 전처리 기법을 소개한다.

3. 제안한 전처리 기법

임의의 명암도 등급 이미지를 표현하기 위해서 한 픽셀에 n 비트가 사용되었다면, 이미지의 명암도 스케일 G 는 2^n 이 되고 그 값들의 집합 $G=\{0, 1, \dots, N-1\}$ 이다. 그리고 엔트로피부호화를 위해 $M \times N$ 크기의 이미지 데이터들은 일반적으로 일차원적인 순서열 $S=\{S_1, S_2, \dots, S_{M \times N}\}$ 로 변환된다. 본 논문에서는 전처리를 위해 순서열 S 에 최하위의 그레이레벨 값을 나타내는 S_0 를 첫 번째 원소로 포함시킨다. 즉, $S=\{S_0, S_1, S_2, \dots, S_{M \times N}\}$ 이 된다. ($S_0=0$)

이산적인 값을 가지는 명암도 등급 이미지들의 데이터 중복성을 높이기 위하여, 제한한 전처리 기법에서는 $G \times G$ 크기의 두 개의 행렬을 사용한다. 하나는 S 에서 인접한 픽셀 값의 쌍들의 발생 빈도수를 저장하기 위한 CNT(Counted Number Table)이고, 다른 하나는 CNT의 순서화된 값을 저장하는 ONT(Ordered Number Table)이다. 제안한 전처리는 이 두 개의 행렬을 가지고 다음과 같은 간단한 단계를 거쳐서 이미지의 픽셀 값들을 재조정한다.

Step 1. 그레이레벨 G 를 갖는 $M \times N$ 크기의 입력 이미지의 값들을 일차원적인 순서열 S 로 변환.

Step 2. $G \times G$ 행렬 CNT의 값들을 0으로 초기화하고, 순서열 S 에서 차례로 발견되는 순서쌍 (S_i, S_j) 에 대해 CNT의 S_i 행, S_j 열 원소 값을 1씩 증가시켜 CNT 작성.(단, $0 \leq i < M \times N$; $0 \leq j \leq M \times N$; i, j 는 정수)

Step 3. CNT의 각 행들에 대해 내림차순 정렬을 한 후, 각 발생 빈도수의 순위(1~ G 등급)를 값으로 하는 $G \times G$ 행렬 ONT를 작성.(단, 동일한 빈도수인 경우 열(column) 값이 작은 원소에 우선순위 부여)

Step 4. ONT를 참고로 순서열 S 에 차례로 나타나는 순서쌍 (S_i, S_j) 값을 ONT의 S_i 행, S_j 열 원소 값으로 대체하여 새로운 순서열 S' 생성.

이와 같은 단계를 거쳐 변환된 순서열 S' 는 최종적으로 허프만부호화기나 산술부호화기 등을 통하여 압축된다. 실제로 그림 1과 같은 이미지를 전처리할 때, 생성되는 두 개의 참조행렬은 그림 2와 같고 최종 변환된 데이터는 그림 3과 같다. 그림 2를 살펴보면, CNT의 각 행마다 내림차순으로 순서화된 값으로 ONT가 구성됨을 알 수 있다. 단, CNT에서 발생빈도가 0인 경우에는 전처리에 아무런 영향을 미치지 않으므로 우선순위를 계산할 필요없이 그냥 0으로 두면 된다. 즉, CNT의 세 번째 행에서 2가 가장 크므로 ONT에서 최상위 순위 값인 1이 되었고, 0을 제외했을 때 1이 가장 작으므로 ONT에서 해당 행에서 최하위 순위 값인 2가 되었다.

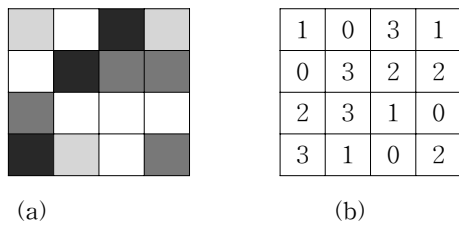


그림 1. 4x4 크기의 2 비트 그레이레벨 이미지 샘플
(a) 실제 이미지; (b) 각 픽셀의 명암도 값

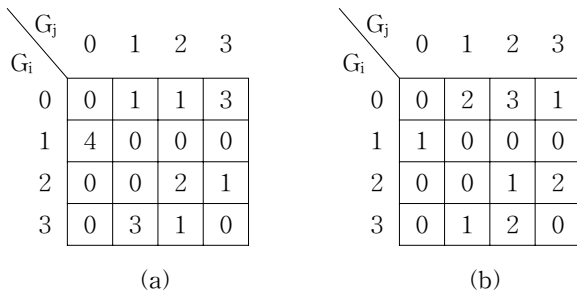


그림 2. 샘플 이미지에 대해 생성된 행렬들
(a) Counted Number Table(CNT); (b) Ordered Number Table(ONT)

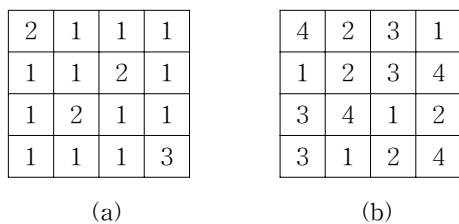


그림 3. 샘플 이미지의 전처리된 결과와 부가정보
(a) 전처리된 이미지 데이터; (b) 부가 정보(ONT)

그림 3의 (a)에서처럼 최종 변환된 데이터는 많은 수의 1값과 몇몇의 2, 3 값으로 구성된다. 이처럼 제안한 전처리를 통하여 변환된 데이터에서는 중복된 값이 훨씬 많이 나타나고, 표현에 필요한 데이터의 종류도 줄어들기 때문에 보다 향상된 엔트로피부호화의 성능을 기대할 수 있다. 위의 경우에서처럼

입력 이미지의 크기가 작을수록 부가 정보의 양이 상대적으로 커지기 때문에 제안한 전처리 기법에 의한 압축 성능이 다소 저하될 수 있다. 하지만 다수의 성능 평가를 통해 이러한 부가 정보의 양은 일반적인 크기의 이미지를 압축할 때에는 그다지 영향을 미치지 않았음을 확인하였다.

그림 4는 제안한 압축 시스템을 도시적으로 나타내고 있다. 이후의 복원은 부가 정보인 ONT를 참조하여 순서열 S' 를 원래의 순서열 S 로 변환하는 단순한 과정이다. 이제 성능 평가를 통하여 제안한 기법을 통해 실제로 얼마만큼의 압축률을 향상시킬 수 있는지에 대해 알아보도록 하겠다.

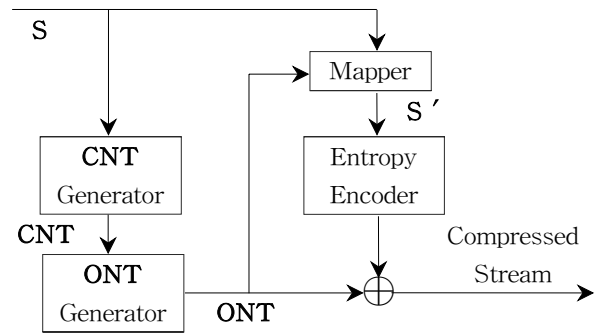


그림 4. 제안한 전처리를 통한 압축 시스템

4. 실험 결과 및 고찰

제안한 전처리 기법의 실제적인 압축 성능을 평가하기 위해서, 512x512부터 2048x2560까지 다양한 크기의 8 비트(0~255 값) 명암도 등급 이미지들을 가지고 허프만부호화 및 산술부호화를 통하여 실험을 해보았다. 실험을 통해 입력 이미지들을 원래의 방식대로 엔트로피부호화한 결과들과 전처리한 후 엔트로피부호화한 결과들과의 비교를 하였다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 방식에 대한 성능 평가를 위해 bpp(bit per pixel)를 사용하였다.

그림 5의 (a)는 768x512 크기의 8 비트 명암도 등급 이미지인 "boy"이고, (b)는 제안한 전처리 기법을 통해 변형된 이미지를 나타낸다. 본 논문에 제시된 전처리된 그림은 편의상 각 픽셀 값들을 반전시킨 것이다. 이들 두 가지 이미지들은 각각 (c), (d)와 같이 서로 다른 히스토그램(histogram)을 갖는다. 히스토그램에서 명암도 값들의 분포가 전처리되지 않은 원래의 이미지에서는 0~255 범위에 걸쳐서 고르게 분포되어 있는 반면, 전처리된 이미지에서는 왼쪽으로 편중(skewed)되어 있다. 이처럼 한쪽으로 치우친 히스토그램은 엔트로피부호화를 통한 무손실 압축 시, 압축률이 개선될 수 있음을 나타낸다.

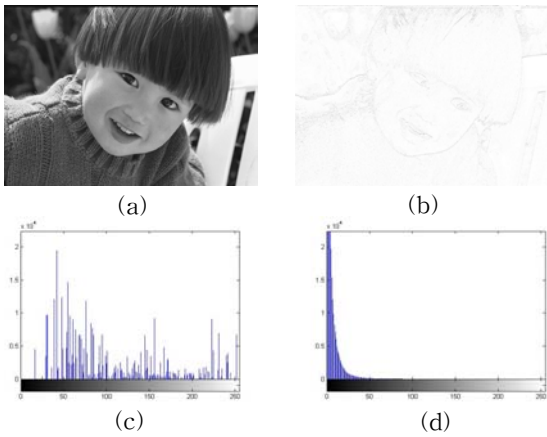


그림 5. “boy” 이미지에 대한 전처리의 예
 (a) 원래 이미지; (b) 전처리된 이미지; (c) 원래 이미지의 히스토그램; (d) 전처리된 이미지의 히스토그램

실험에 사용된 다른 이미지들도 모두 그림 5와 유사한 결과를 나타냈고, 허프만부호화에서 실제 bpp를 계산한 결과가 표 1에 나타난다. 그림 6의 두 가지 히스토그램에 나타난 것처럼 실제 압축의 결과에서도 제안한 전처리를 했을 때의 bpp 값이 효율적으로 개선되어, 이미지 표현에 사용된 비트수를 최대 37.49%까지 감소시켰음을 알 수 있다. 그림 6은 실험 결과에 대한 bpp 비교 그래프이다.

표 1. 각 그레이레벨 이미지들에서의 제안한 방식에 대한 bpp 비교(허프만부호화의 예)

Images (size)	Huffman(bpp)		saved bits(%)
	plain	pre-processed	
anemone (722×471)	7.30	5.75	21.27
arial (735×493)	7.36	6.88	6.55
bike3 (781×919)	6.89	4.81	30.19
boy (768×512)	6.43	4.08	36.61
cafe (2048×2560)	7.59	5.88	22.63
girl (512×512)	6.53	5.50	15.79
goldhill (720×576)	7.51	5.50	26.82
lena (512×512)	7.14	5.30	25.75
monarch (768×512)	6.83	4.57	33.14
tulips (768×512)	7.19	4.50	37.49
woman (2048×2560)	7.29	4.93	32.32

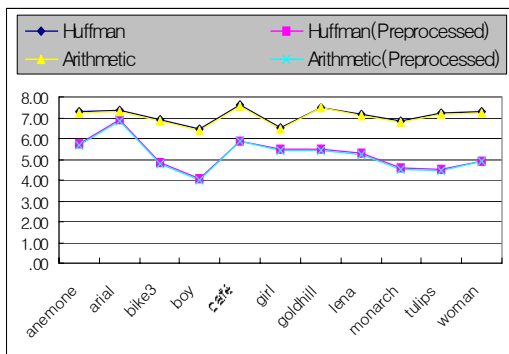


그림 6 . 실험 결과에 대한 bpp 비교 그래프

5. 결론

본 논문에서 제안된 전처리 기법은 입력된 이미지 데이터에서 인접한 명암도 쌍들의 발생빈도 순위를 계산하여 명암도 등급 이미지들을 보다 효율적으로 압축할 수 있는 형태로 변형하였다. 이와 같은 전처리를 통하여 변환된 새로운 이미지 데이터는 통계적으로 중복된 값들이 많아져서 엔트로피 부호화에 의한 압축률을 개선시킬 수 있었다. 비록 제안한 기법이 복구를 위한 부가 정보를 필요로 하지만, 실험을 통하여 명암도 이미지 부호화에 필요한 비트수를 최대 37.85%까지 감소시킬 수 있었음을 확인하였다.

제안된 기법은 알고리즘의 단순성으로 인해 구현이 쉽고, 비교적 빠른 실행이 가능하다. 크기가 작은 이미지에 대해서는 압축률이 크게 개선되지는 않았지만, 일반적인 크기의 이미지 전송에 필요한 비트수를 현저히 감소시켰다. 따라서 제안된 전처리 기법은 이미지의 손실을 허용하지 않는 의학 분야뿐만 아니라 특정 이미지의 빠른 전송이 필요한 분야들 그리고 저주파 대역을 사용하는 통신 매체 등과 같은 다양한 분야에 응용되어질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Khalid Sayhood, "Introduction to Data Compression", Morgan Kaufmann, 2000.
- [2] S. D. Rane and G. Sapiro, "Evaluation of JPEG-LS, the New Lossless and Controlled-Lossy Still Image Compression Standard, for Compression of High-Resolution Elevation Data", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, Vol. 39, No. 10, 2001.
- [3] N. Memon and R. Rodila, "Transcoding GIF images to JPEG-LS", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 43, Issue. 3, pp. 423-429, 1997.
- [4] M. Rabbani and R. Joshi, "An overview of the JPEG 2000 still image compression standard", Signal Processing : Image Communication, Vol. 17, pp. 3-48, No. 1, 2002.
- [5] R. Hashemian, "Direct Huffman coding and decoding using the table of code-lengths", Information Technology: Coding and Computing [Computers and Communications]. Proceedings. ITCC 2003. International Conference on, pp. 237 - 241, 2003.