경계선 정보를 이용한 다중 해상도 무손실 영상 압축을 위한 예측기법

(Prediction by Edge Detection Technique for Lossless Multi-resolution Image Compression)

김 태 화 † 이 윤 진 †† 위 영 철 †††
(Taehwa Kim) (Yunjin Lee) (Youngchul Wei)

요 약 무손실영상 압축에서 높은 압축률을 얻기 위해 데이터의 예측을 정확하게 하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 정확한 예측을 통해 압축률을 향상시키고 다중 해상도 기법을 사용하여 "빠른 미리보기"를 제공할 수 있는 압축 및 복원 알고리즘을 제안한다. 각 해상도의 영상이 단계적으로 처리되며 각 픽셀은 이전 단계의 픽셀 정보를 포함한 주변 픽셀 정보를 이용하여 압축되고 복원된다. 이때, 수평, 수직, 대각 경계선 정보와 평균 및 가중평균 정보를 이용해 예측함으로써 JPEG-LS 보다 3.6%, HINT보다 2.5% 좋은 엔트로피를 가지는 예측 성능을 얻을 수 있었다.

키워드 : 영상 압축, 다중 해상도 기법, 무손실 영상 압축, 예측기법

Abstract Prediction is an important step in high-performance lossless data compression. In this paper, we propose a novel lossless image coding algorithm to increase prediction accuracy which can display low-resolution images quickly with a multi-resolution image technique. At each resolution, we use pixels of the previous resolution image to estimate current pixel values. For each pixel, we determine its estimated value by considering horizontal, vertical, diagonal edge information and average, weighted-average information obtained from its neighborhood pixels. In the experiment, we show that our method obtains better prediction than JPEG-LS or HINT.

Key words : Image Compression, Lossless image compression, Multiresolution, Prediction technique

1. 서 론

영상 압축 기법은 크게 압축 과정에서 입력 영상의 정보 손실을 허용하여 압축률을 높이는 손실 압축과 입력 영상을 정확히 복원할 수 있는 무손실 압축 기법으로 나눌 수 있다. 의료 영상, 인공위성 촬영 영상 등과 같이 정보의 정확성이 중요한 경우, 일반적으로 무손실 영상 압축 기법이 사용된다. 또한, 최근 영상의 화질에 대한 기대치가 높아지면서 영상 편집 과정 중에 손실이 누적되는 손실 압축보다 무손실 영상 압축 기법의 사용이 늘고 있다. 현재 GIF(Graphics Interchange Format)[1], PNG(Portable Network Graphics)[2], JPEG-LS(Joint Photographic Experts Group Lossless)[3]와 같은 무손실 압축 기법이 표준화되어 널리 사용되고 있다.

카메라 기술과 휴대용 디스플레이 기술의 발전에 따라 고화소의 영상을 작은 출력 화면에 보여주는 일이 빈번하게 이루어지면서 다중 해상도 압축 기법의 필요성이 증가하고 있다. 순차적 압축 기법과 달리 다중 해상도 압축 기법은 낮은 해상도의 영상을 먼저 전송하고 점차적으로 해상도를 높이기 위한 정보를 전송하는 방법이다[4]. 따라서 영상 전체가 전송되지 않은 상태에서도 영상을 확인할 수 있고, 휴대용 단말기와 같이 제한

· 본 연구는 2007학년도 아주대학교 일반연구비 지원에 의하여 연구되었으며 방위사업청과 국방과학연구소(UD060048AD)의 지원으로 수행하였습니다.

† 학생회원 : 아주대학교 정보통신대학원
dashu@korea.com
†† 정 회 원 : 아주대학교 미디어학부 교수
yunjin@ajou.ac.kr
††† 종신회원 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 교수
ycwee@ajou.ac.kr

논문접수 : 2009년 10월 26일
심사완료 : 2009년 12월 24일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제37권 제3호(2010.3)

된 해상도를 가지는 화면에서는 중간 단계의 영상으로도 충분한 효과를 볼 수 있어 최근 널리 사용되고 있다. 잘 알려진 다중해상도 압축 기법으로는 PNG, HINT[5], JPEG 2000[6] 등을 들 수 있다.

PNG와 HINT(Hierarchical INTerpolation)는 간단한 예측 방법을 통하여 영상을 예측하고 잉여값(residual)을 압축하는 방법으로 압축을 수행한다. 따라서 비교적 계산의 복잡도가 낮은 반면 높은 압축률을 기대하기 어렵다. 또한, JPEG 2000 등의 웨이블렛(wavelet)을 기반으로 하는 기법들은 압축률 대비 계산의 복잡도가 상당히 높다는 특징을 가진다.

본 논문에서는 HINT에 기반한 다중해상도 무손실 영상 압축 방식을 제안한다. 본 논문에서는 다중 해상도 영상 압축 기법의 특징을 최대한 활용하여 HINT에서보다 정교한 예측 기법을 적용한다. 이와 같은 예측 기법을 통하여 약간의 계산량 증가만으로 HINT보다 높은 압축률을 가지며, JPEG 2000 등의 웨이블렛 기반 압축 방법에 비해 낮은 복잡도를 가지는 압축 방법을 제안한다. 특히 다중 해상도 기법의 특징, 즉, 영상 정보의 일부만으로도 저해상도의 영상을 재구성할 수 있다는 장점을 그대로 유지하여 인터넷을 이용한 전송이나 작은 크기의 디스플레이에 효과적으로 적용될 수 있는 압축 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 방법의 중요한 특징은 먼저 다중해상도 기법의 특징, 즉 낮은 해상도의 영상을 중간 단계에서 확보할 수 있다는 점을 활용하여 정교한 예측을 수행한다는 점이다. 중간 단계의 결과를 이용하여 고해상도의 영상을 예측하기 위해서는 정교한 예측 방법과 더불어 정확한 예측을 가능하게 하는 다중해상도 영상을 구성하는 순서, 즉 압축 순서가 중요한 요소가 된다. 따라서 본 논문에서는 정교한 예측이 가능하게 하기 위한 다중해상도 부호화 순서를 제안하고 이와 같은 부호화 순서에 적합한 예측 방법을 제안하여 기존의 방법에 비해 높은 성능을 얻고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 기존 연구에 대해 소개를 하고, 3장에서는 다중 해상 기법을 위한 새로운 압축 순서를 설명하고 이를 이용한 예측 방법에 대해 설명한다. 4장에서 실험 결과를 보이고 5장에서는 결론에 대해 논의한다.

2. 본론

2.1 관련 연구

2.1.1 다중 해상도 무손실 압축 기법

표준 무손실 영상 압축 기법에서는 PNG가 유일하게 다중 해상도 압축 기법을 제공한다. PNG는 무손실의 트루 컬러(Truecolor)를 지원하고 8비트의 투명도를 조절할 수 있어 최근 많이 사용되고 있다. 하지만, PNG는 예측 방법이 단순하여 압축률이 매우 낮다.

PNG의 일반적인 기법에서 전체 영상을 왼쪽 위부터 오른쪽 아래까지 순차적으로 압축을 하는데 비해 다중 해상도 기법에서는 전체 영상의 픽셀들을 일곱 단계로 나누어 압축 및 복원을 한다. 전체 영상의 픽셀들을 그림 1과 같은 형태로 볼 때 가로, 세로 방향으로 여덟 픽셀마다 단계가 변하는 주기가 반복된다. 첫 번째 단계에서는 그림 1의 번호가 1인 픽셀들만을 모아서 압축을 하며 나머지 단계에서도 단계별 번호에 해당되는 픽셀들만 모아 각 단계별로 이전 단계와의 연관성이 없이 압축된다. 이때, 압축하는 값은 같은 단계의 바로 앞 픽셀의 값을 예측 값으로 사용하여 예측 값에서 현재 픽셀의 값을 뺀 나머지 값을 압축한다. 예를 들어, 첫 번째 단계의 경우, 예측 값으로 여덟 픽셀만큼 떨어진 픽셀 값을 사용하게 된다. 이와 같은 방식 때문에 PNG의 다중 해상도 압축방법은 PNG의 순차적 압축 방법보다 압축률이 10%~30% 정도 낮아진다.

HINT는 의료 영상을 위해 제안된 다중 해상도의 무손실 영상 압축 기법으로 이전 단계에서 복원된 저해상도 영상을 보간 하여 현재 단계의 영상을 예측하는 방법으로 단순한 보간법을 사용하여 영상이 비교적 빠르게 복원된다. HINT는 그림 2와 같이 다섯 단계로 영상을 압축 및 복원하며 각 단계는 가로, 세로 방향으로 네 픽셀 마다 단계가 변하는 주기가 반복된다. PNG와 달리, 다른 단계의 정보도 이용하여 압축 성능을 향상시켰다. 예를 들어, 가장 왼쪽 위에 있는 픽셀 위치를 가로, 세로 좌표 계를 사용하여 (1, 1)이라고 했을 때, (2, 2)에 해당하는 네 번째 단계 픽셀의 예측 값은 (1, 1)에 있는 첫 번째 단계의 픽셀, (1, 3)에 있는 세 번째 단계

1	6	4	6	2	6	4	6	1	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3	6	4	6	3	6	4	6	3	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1	6	4	6	2	6	4	6	1	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

그림 1 PNG-Interlaced Mode 압축 순서

1	5	3	5	1	5	3	5	1	5	3	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
3	5	2	5	3	5	2	5	3	5	2	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
1	5	3	5	1	5	3	5	1	5	3	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
3	5	2	5	3	5	2	5	3	5	2	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
1	5	3	5	1	5	3	5	1	5	3	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
3	5	2	5	3	5	2	5	3	5	2	5
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4

그림 2 HINT 압축 순서

의 픽셀, 그리고 (3, 1)에 있는 세 번째 단계의 픽셀과 (3, 3)에 있는 두 번째 단계의 필셀 값들을 보간 하여 구한다. 또한 (2, 3)에 해당하는 다섯 번째 단계 픽셀의 예측 값은 (1, 3)의 세 번째 단계의 픽셀과 (2, 2)의 네 번째 단계의 픽셀, 그리고 (2, 4)의 네 번째 단계의 픽셀, (3, 3)의 두 번째 단계의 픽셀 값들을 보간 하여 구한다. 그러나 단순히 보간 방법만을 이용하여 예측함으로써 다른 순차적 압축 방법보다 압축률이 낮다.

본 논문에서는 기존의 PNG나 HINT와 같은 다중 해상도의 무손실 압축 기법에서 사용된 단순한 예측 기법 대신 다양한 경계선 정보를 고려하여 여섯 가지의 예측 값을 정하는 방식을 사용하여 예측 성능을 높인다.

2.1.2 경계선을 고려한 무손실 압축 기법

JPEG-LS는 정지 영상을 위한 표준화된 무손실 압축 기법으로 간단한 경계선 검출(edge detection) 방법을 기반으로 예측 값을 구하고 콘텍스트 모델(context model)을 이용한 예측 수정(error correction)을 통해 높은 압축률을 제공한다. 그림 3에서 P_x 픽셀을 압축할 때, P_0, P_1, P_3 위치의 세 픽셀 값으로부터 경계선을 검출하고 이를 고려하여 예측 값을 정한다. 예를 들어, 그림 3과 같이 P_0와 P_1의 차가 P_0와 P_3의 차이보다 작은 경우, 경계선은 수평 방향에 놓여 있다고 예측할 수 있으며 이때, P_x의 예측 값으로 P_3의 픽셀 값을 사용한다. JPEG-LS는 이와 같은 방식으로 수평(P_3), 수직(P_1), 중간값($P_3+P_1-2P_0$)의 방식 중 하나를 선택하여 P_x 값을 예측한다.

CALIC(Context-based, adaptive, lossless image coding)[7]은 JPEG-LS보다 더 복잡한 경계선 검출 방법을 기반으로 예측을 하고 콘텍스트 모델을 이용해 예측 수정을 한다. 그림 4에서 P_x픽셀을 압축할 때, P_0, P_1,

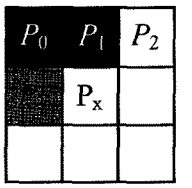


그림 3 JPEG-LS 경계선 검출 방법

P_3, P_4, P_5, P_6을 이용하여 강한 수평 경계(P_6), 강한 수직 경계(P_3), 가중 평균 ($(P_3+P_6)/2 + (P_4-P_2)/4$), 수평 경계, 약한 수평 경계, 수직 경계, 약한 수직 경계 중 하나를 선택하여 P_x값을 예측한다. JPEG-LS보다 더 많은 정보를 이용하여 보다 정확한 예측을 하지만 경계선 정보를 구하기 위해 복잡한 계산을 사용하여 JPEG-LS보다 속도가 느린 단점이 있다.

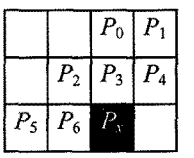


그림 4 CALIC 경계선 검출 방법

2.2 제안하는 압축 방법

경계선 정보를 검출하기 위해서는 주변 픽셀 정보를 이용해야 한다. 이때 어떤 방식으로 주변 픽셀을 참고하느냐에 따라 경계선 정보의 신뢰도가 달라질 수 있다. JPEG-LS나 CALIC 등의 순차적 압축 기법에서는 그림 3, 4에서와 같이 왼쪽과 위쪽 픽셀들의 정보만을 이용할 수 있다. HINT의 압축 순서에서는 그림 2와 같이 홀수 번째 단계에서는 상, 하, 좌, 우의 픽셀들만을, 짝수 번째 단계에서는 대각선 방향의 픽셀만을 참조할 수 있기 때문에 다양한 경계선 정보를 검출 할 수 없다. 본 논문에서는 이런 제한을 극복하기 위해 모든 단계에서 주위 여덟 방향의 픽셀 정보를 얻어올 수 있는 압축 순서로 압축을 진행한다. 특히 그림 5와 같이 다중 해상도 기법을 통하여 오른쪽 픽셀과 아래쪽 픽셀을 참조하여 수평, 수직, 두 대각선의 네 방향의 경계선 정보를 검출하며 이와 같은 방법으로 보다 정교하게 경계선을 검출할 수 있고, 따라서 예측 값의 오차를 줄일 수 있었다.

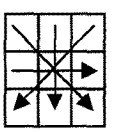


그림 5 네방향의 경계선 검출 방법

2.2.1 압축 순서

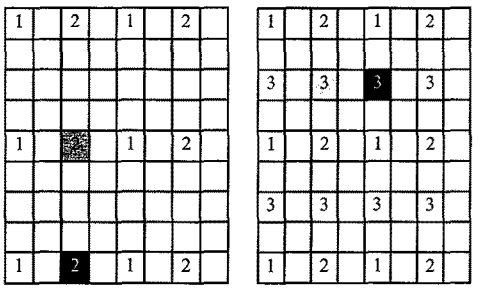
그림 6은 본 논문에서 제안한 다중 해상도의 압축 순서를 나타낸다. 압축 순서는 총 다섯 단계로 이루어져 있으며 홀수 번째 단계에서는 영상의 크기가 상하로 늘어나고 짝수 번째 단계에서는 좌우로 늘어난다. 그림을 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 원본의 점진적 해상도로 복원할 수 있도록 하여 큰 영상을 작은 화면에 보여줄 때 필요한 크기만을 복원함으로써 빠르게 화면에 보여줄 수 있도록 하였다. 그림 6의 1의 위치의 픽셀들을 복원함으로써 1/16 크기의 영상을 얻을 수 있다. 또한 전체 화면을 복원하는 데 있어 웨이블렛과 달리 늘어난 픽셀 정보만을 새로 복원하여 다중 해상도 기법의 복원 성능을 향상시켰다. 제안된 순서로 영상을 압축하게 되면 첫 번째 단계를 제외한 나머지 단계에서는 순차적 압축 기법보다 더 많은 주위 픽셀 정보를 이용할 수 있다.

가로 및 세로를 각각 네 배를 축소하여 빠른 미리 보기를 할 경우 첫 번째 단계를 순차적 압축 방법으로 복원하게 되므로 전체를 순차적 압축 방법으로 복원한 후 크기를 줄이는 방법에 비하여 16배 이상 빠른 속도로 미리 보기를 할 수 있게 된다. 또한 가로 및 세로를 각각 네 배보다 더 많이 축소하여 빠른 미리 보기를 할 경우 또한 첫 번째 단계를 순차적 압축 방법으로 복원한 후 크기를 줄이는 방법을 적용하여 16배 정도의 빠른 속도로 미리 보기를 할 수 있다.

첫 번째 단계의 경우, 예측 시 이용할 이전 단계의 정보가 없으므로 무손실 순차적 압축 기법 중 표준으로 사용되는 JPEG-LS를 이용하여 픽셀들을 압축하였다. 두 번째 단계부터는 이전 단계에서 압축된 픽셀의 정보를 이용하여 압축하고자 하는 픽셀을 예측한다. 그림 7(a)는 두 번째 단계의 픽셀 예측 시 사용되는 주변 픽셀을 나타낸다. 회색으로 표시된 픽셀을 압축할 때, 상, 하, 좌, 우, 대각선의 여덟 방향 중 아래쪽은 검은 색으로 표시된 픽셀을 제외한 일곱 픽셀의 정보를 이용할 수 있다. 그림 7(b)는 세 번째 단계를 보여 준다. 마찬가지로 회색으로 표시된 픽셀을 압축할 때 여덟 방향 중 오른쪽에 있는 검은색으로 표시된 픽셀을 제외한 일곱 픽셀의 정보를 이용 할 수 있다. 네 번째 단계는 두 번째 단계와 같은 방식으로 주변 픽셀 정보를 이용할 수 있으며 다섯 번째 단계는 세 번째 단계와 같다.

1	4	2	4	1	4	2	4	1	4	2	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	4	2	4	1	4	2	4	1	4	2	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	4	2	4	1	4	2	4	1	4	2	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

그림 6 제안 압축 순서



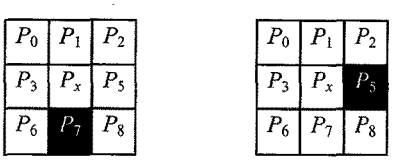
(a) 2 번째 단계의 예측 (b) 3 번째 단계의 예측

그림 7 두 번째와 세 번째 단계의 예측

2.2.2 경계선을 고려한 예측 기법

3.1장에서 제안된 다중 해상도 방식에 따른 압축 순서에 의해 두 번째 단계부터 P_x를 압축하고자 할 때 주위의 여덟 방향 중 일곱 개의 픽셀 정보를 사용할 수 있다. 즉, 그림 8에서 픽셀 정보를 P_i, i=0, …, 8이라고 할 때, 짝수 번째 단계에서는 P_7, 홀수 번째 단계에서는 P_5를 제외한 픽셀들이 사용된다. 단계마다 같은 예측 방법을 적용하기 위해 짝수 번째 단계에서는 P_6과 P_8의 평균값, 홀수 번째 단계에서는 P_2와 P_8의 평균값을 각각 P_7과 P_5의 값을 근사하여 예측에 사용한다. 따라서 각 단계에서는 여덟 개의 픽셀 정보를 모두 사용하여 P_x의 예측 값을 계산하게 된다.

경계선 검출에 의한 픽셀의 예측방법은 입력 영상에서의 경계선을 찾아 경계선의 방향을 따라 픽셀 값을 예측하는 것이다. 예를 들어, 그림 9에서 사각형의 밝기가 픽셀 값이라고 했을 때, 오른쪽 위에서 왼쪽 아래 방향으로 경계선이 있으므로 P_2와 P_6의 평균값을 이용하여 P_x를 예측하면 예측 값의 오차를 줄일 수 있다.



(a) 2,4 번째 단계의 예측 (b) 3,5 번째 단계의 예측

그림 8 단계별 P_x의 예측에 사용되는 주변 픽셀

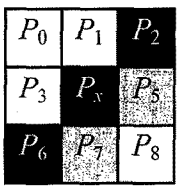


그림 9 경계선 검출을 이용한 예측 기법의 예

본 논문에서는 수평, 수직, 좌우 대각선 네 방향의 경계선을 고려한다. 순차적 압축방법에서는 수직, 수평 방향을 적용할 때 왼쪽, 위쪽 픽셀의 값을 직접 예측에 사용하는 데 비해, 본 논문에서는 경계선상의 픽셀 값들의 평균을 이용함으로써 예측을 더 정확하게 하도록 하였다. 또한, 뚜렷한 경계선이 검출되지 않는 경우에는 정교한 보간법을 사용하여 P_x를 예측함으로써 예측의 오차를 최소화하였다.

픽셀의 예측 값은 경계선의 존재 여부 및 방향에 따라 평균, 가중평균, 수평, 수직, 우측 대각선, 좌측 대각선의 여섯 가지 방식 중 하나로 결정된다. 각 픽셀에 대한 예측 값을 선택하는 조건은 주변 픽셀의 평균값과 각 픽셀 사이의 차이의 합 d_{sum}, 수평 방향에 있는 픽셀들 사이의 차이 d_h, 수직 방향에 있는 픽셀들 사이의 차이 d_v, 왼쪽에서 오른쪽으로의 픽셀들 사이의 차이 d_{lr}, 오른쪽에서 왼쪽으로의 픽셀들 사이의 차이 d_{rl}로 결정된다. 즉, d_{sum}이 작으면 주변 픽셀들의 값이 거의 비슷하여 경계선이 없다고 볼 수 있으며 d_h, d_v, d_{lr}, d_{rl} 중 하나가 다른 값들보다 상당히 작다는 것은 그 방향의 경계선이 존재한다고 할 수 있다. d_{sum}, d_h, d_v, d_{lr}, d_{rl}은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{avg} = \sum|P_i|/8 \ (0 \le i \le 8, i \ne 4) \quad (1)$$

$$d_{sum} = \sum|P_{avg} - P_i| \ (0 \le i \le 8, i \ne 4) \quad (2)$$

$$d_h = |P_0-P_1|+|P_1-P_2|+|P_3-P_5|+|P_6-P_7|+|P_7-P_8| \quad (3)$$

$$d_v = |P_0-P_3|+|P_2-P_5|+|P_1-P_7|+|P_3-P_6|+|P_5-P_8| \quad (4)$$

$$d_{lr} = (|P_1-P_5|+|P_0-P_8|+|P_3-P_7|) \times 3 \quad (5)$$

$$d_{rl} = (|P_1-P_3|+|P_2-P_6|+|P_5-P_7|) \times 3 \quad (6)$$

표 1은 각 예측 방식에 대한 선택 조건과 예측 값 계산 방법을 보여 준다. d_{sum}이 작은 경우, 경계선이 없는 지역으로 볼 수 있는데 이때 HINT에서 사용한 것과 같이 단순히 주변 픽셀의 평균값을 예측 값으로 사용하는 대신 이를 평균과 가중 평균의 두 방법을 사용하여 평면과 텍스처 부분에 다른 예측 방법을 적용하였다.

d_{sum}이 25미만으로 아주 작은 경우에는 평면으로 예측하여 상, 하, 좌, 우 네 픽셀의 평균값으로 예측하고 d_{sum}이 25이상 60미만이면 텍스처로 예측하여 수직, 수평 방향의 픽셀 차이를 가중치로 두어 차이가 큰 쪽의 정보를 더 참조하도록 하였다. 수직 방향의 차이 값이 수평 방향보다 크면 수평 방향의 예측 값이 더 적용되고 수평 방향의 차이 값 수직 방향보다 크면 수직 방향의 예측 값이 더 적용되도록 하였다.

표 1 여섯 가지의 예측 값들

예측 방식	조건	예측 값
AVG	$d_{sum} < 25$	$(P_1+P_3+P_5+P_7)/4$
WAVG	$25 \le d_{sum} < 60$	$(P_h d_v + P_v d_h)/(d_h + d_v)$
Horizontal	d_h가 가장 작음	$P_h = (P_3+P_5)/2$
Vertical	d_v가 가장 작음	$P_v = (P_1+P_7)/2$
RL대각선	d_{lr}이 가장 작음	$P_{rl} = (P_2+P_6)/2$
LR대각선	d_{rl}이 가장 작음	$P_{lr} = (P_0+P_8)/2$

d_{sum}이 60보다 클 경우 경계선이 있는 지역으로 예측하고 수평, 수직, 우측 대각선, 좌측 대각선 네 방향의 경계선을 고려하여 예측 값을 계산하였다. 경계선의 방향은 경계선 방향의 차이 중 가장 작은 값을 갖는 방향을 선택하여 결정한다. 이때 수직, 수평 방향의 주변 픽셀과의 거리에 비해 대각선 방향은 차이 값을 다섯 개가 아닌 세 픽셀들의 차를 사용하였기 때문에 가중치를 5/3 를 주어야 한다. 또한 대각선의 경우 픽셀과의 거리가 수직, 수평보다 $\sqrt{2}$배 차이가 나기 때문에 같은 차이 합을 가질 경우 P_x와 거리가 가까운 수직, 수평의 경계선 정보를 선택하는 것이 더 좋은 예측 값을 얻을 수 있다. 이때, $(5/3) \times \sqrt{2} = 2.37$이므로 본 논문에서는 2.37 주변의 값들을 사용한 실험을 통해 계수를 3으로 결정하여 식 (5), (6)에서와 같이 대각선 방향의 차이 (d_{lr}, d_{rl})를 보정하여 비교한다.

텍스쳐를 판단하는 임계값(60)은 값이 클 때는 경계선이 무시되는 경우가 발생하고 작을 때는 분명하지 않은 경계선이 선택되어 압축률을 향상시키기 어렵다. 평면을 나타내는 임계값(25) 역시 값이 클 경우 텍스쳐나 비선형적인 그라데이션을 평면으로 예측하여 예측이 부정확해 지는 경우가 발생하고 반대의 경우 영상에 자주 나타나는 평면의 예측이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 다양한 실험을 통하여 최적의 임계값(60와 25)을 결정하고 사용하였다.

2.3 실험 결과

본 논문에서는 압축 실험에 널리 사용되는 그림 10의 영상들을 대상으로 실험하였다. 압축 성능의 비교를 위해 본 논문에서 제안한 방법을 HINT 엔트로피(entropy) 값을 사용하여 비교하였다. 또한 최근 무손실 압축 법으로 각광받고 있는 순차적 압축 방법인 JPEG-LS의 엔트로피와도 비교하여 본 논문에서 제안하는 방법의 성능을 측정하였다. 엔트로피를 얻기 위한 식은 다음과 같다.

$$e = -\sum P(x_i) \cdot \log P(x_i) \quad (7)$$

이때, 예측 방법의 비교를 위해 JPEG-LS의 경우 예

그림 10 실험에 사용된 예제 영상들

측 값과 실제 값의 차를 보정해주는 예측 수정을 제외하여 예측 방법만을 적용하였을 때의 엔트로피 값을 비교 대상으로 하였다. 표 2에서 볼 수 있듯이 본 논문에 제안된 방법으로 계산된 엔트로피 값은 JPEG-LS보다 3.6%, HINT보다 2.5% 성능이 향상되었다.

표 2 엔트로피 값 비교

입력 영상	JPEG-LS	HINT	제안방법
boat	5.101	5.165	4.974
lena	4.546	4.509	4.352
pepper	4.939	4.732	4.622
sailboat	5.383	5.273	5.294
woman	4.427	4.461	4.278
평균	4.879	4.828	4.704

표 3은 실험 영상들의 단계별 엔트로피 값이다. 각 단계가 진행될수록 그림 7과 같이 주변 여덟 방향의 픽셀 간의 거리가 가까워지면서 정확히 예측이 되어 압축률이 향상됨을 알 수 있다. 특히, 순차적 압축과 같은 거리의 픽셀을 사용하는 다섯 번째 단계는 JPEG-LS보다 더 정확한 예측을 하고 있음을 알 수 있다

그림 11부터 그림 16에서는 Lena 영상으로 압축한 결과이다. 왼쪽에는 Lena의 원본 영상을, 오른쪽에 각 여섯 가지의 예측 방식이 선택된 픽셀을 검은색으로 나타내었다. 오른쪽의 예측된 픽셀은 다섯 번째 단계의 예측 결과를 세로로 두 배 확대한 그림이다. 그림 11은 수직 경계선을 예측한 결과 이다. 그림 12에서는 수평 경계선을 예측한 결과를 나타내었다. 그림 13과 14를 통해 Lena 그림의 우측 대각선을 잘 찾고 있고 좌측 대각선은 별로 나타나지 않음을 알 수 있다. 그림 15에서 가중 평균 예측 방식이 모자 및 배경의 텍스처 부분을 주로 예측하고 있음을 알 수 있다. 그림 16에서 경계선이 아닌 평면부분을 평균으로 잘 예측하고 있음을 보여준다. 그림 11부터 그림 16을 통해 네 가지의 수평, 수직, 대각선의 경계선 정보 및 텍스처 부분과 평면 정보를 비교적 정확하게 예측하고 있음을 알 수 있다.

표 3 각 단계별 엔트로피 값

입력 영상	1 단계	2 단계	3 단계	4 단계	5 단계	평균
boat	6.068	5.423	5.270	5.054	4.560	4.974
lena	5.638	4.913	4.600	4.299	3.990	4.352
pepper	5.683	4.802	4.686	4.521	4.441	4.622
sailboat	6.405	5.642	5.577	5.062	5.075	5.294
woman	5.355	4.755	4.470	4.274	3.964	4.278
평균	5.973	5.285	5.146	4.740	4.586	4.866

그림 11 단계별 수직 검출 결과

그림 12 단계별 수평 검출 결과

그림 13 단계별 RL 대각선 검출 결과

그림 14 단계별 LR 대각선 검출 결과

그림 15 단계별 가중평균 검출 결과

그림 16 단계별 평균 검출 결과

3. 결 론

본 논문에서는 다중 해상도 무손실 압축에서 사용하지 않았던 수평, 수직, 대각선 네 방향의 경계선 정보를 이용한 예측 방법을 제안하였고 경계선을 정확하게 검출할 수 있도록 다중 해상도 영상 압축의 압축 순서를 제안하였다. 또한 경계선 정보가 명확하지 않은 부분에서 평균 대신 가중평균을 사용하여 텍스처 부분을 평균값을 이용한 것보다 정확하게 예측하도록 함으로써 수평, 수직, 중간 값 정보를 이용하여 예측하는 JPEG-LS보다 3.6%, 주위를 보간 하여 예측하는 HINT보다 2.5% 엔트로피가 작아지도록 예측 성능을 향상시켰다. 이와 같은 엔트로피 감소는 엔트로피 부호화(entropy coding)과정 이후에 최종적인 압축 성능이 향상될 것으로 기대할 수 있다.

향후 연구에서는 계산의 복잡도를 약간 증가시키더라도 제안된 네 경계선 방향 외의 방향, 예를 들면 22.5도, 67.5도 등의 더 많은 경계선 방향을 추가하여 압축률을 향상시키는 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다. 더불어 가중평균의 가중치를 수직, 수평 예측의 오류 값의 비율로 계산하는 것 대신 콘텍스트를 이용하여 압축률을 을 더 향상시키기 위한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] http://www.w3.org/Graphics/GIF/spec-gif89a.txt
[2] http://www.libpng.org/pub/png/book/
[3] M. J. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: Principles and standardization into JPEG-LS," *IEEE Trans. Image Process*, vol.9, no.8, pp.1309-1324, Aug. 2000.
[4] A. N. Akansu and R. A. Haddad, Multiresolution Signal Decomposition: Transforms, Subbands, Wavelets, Academic Press, 1992, ISBN 0-89871-274-2.
[5] T. Endoh and Y. Yamazaki, "Progressive coding scheme for multilevel images," in *Proc. Picture Coding Symp.*, Tokyo, pp.21-22, 1986.
[6] Peter Schelkens, Athanassios Skodras, Touradj Ebrahimi, "The JPEG 2000 Suite," 2009.
[7] X. Wu and N. Memon, "Context-based, adaptive, lossless image coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol.45, no.4, pp.437-444, Apr. 1997D. Chaum, "Blind Signatures for Untraceable Pay-ments," Advanvances in Cryptology-Proceeding of Crypto'82, Springer-Verlag, pp.199-204, 1982.

김 태 화

2000년 2월 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부(공학사). 2002년 2월 아주대학교 정보통신대학원 정보통신전공(석사). 2002년 3월~2007년 1월 큐랩 연구원. 2007년 3월~현재 아주대학교 정보통신 대학원 정보통신전공 박사과정 중. 관심분야는 영상처리, 정보 압축, 컴퓨터 그래픽스

이 윤 진

1999년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(공학사). 2005년 8월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(공학박사). 2005년 9월~2006년 5월 포항공과대학교 박사후 연구원. 2006년 5월~2007년 6월 미시간 대학교 박사후 연구원. 2007년 6월~2007년 10월 포항공과대학교 박사후 연구원. 2007년 10월~2008년 2월 서울대학교 BK21 연구교수. 2008년 3월~현재 아주대학교 미디어학부 조교수. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, 디지털 형상처리

위 영 철

1982년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과(학사). 1984년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과(석사). 1989년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과(박사). 1990년 3월~1995년 4월 삼성종합기술원 수석연구원. 1995년 5월~1998년 2월 현대전자 기획부장. 1998년 3월~현재 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 영상처리, 정보 압축, 컴퓨터 그래픽스