

論文93-30B-12-9

자동 가변 블럭절단 부호화 기법

(Automatic Variable Block Truncation Coding Technique)

金泰均*, 朴來弘**

(Tae Kyoon Kim and Rae-Hong Park)

要約

본 논문에서는 자동 가변 BTC 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 블럭의 불연속 척도인 최빈값(mode)를 이용하여 블럭의 크기를 자동적으로 선택한다. 자동 블럭크기 결정기법과 기존의 BTC 기법을 결합하여 자동 문턱값 가변 BTC 알고리즘을 제안하였다. 컬러영상인 경우 부표본화한 I, Q 신호에 가변 BTC를 적용하였다. 제안한 알고리즘의 효율성을 보이기 위하여, 흑백 및 컬러실험영상에 대한 모의 실험결과를 기존의 방법들과 비교하였다. 모의실험 결과, 주관적 평가와 객관적 평가에서 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 우수한 성능을 나타내었다.

Abstract

This paper proposes an automatic variable block truncation coding (BTC) method. It selects the block size automatically based on the mode of the discontinuity measure of blocks. The combination of an automatic block-size determination scheme and the conventional BTC results in the proposed automatic variable BTC techniques. For color images, subsampling in I and Q chrominance components is adopted along with the variable BTC. To show the effectiveness of the proposed algorithm, its simulation results are compared to those of the several conventional BTC algorithms for monochrome and color test images. Computer simulation shows that the proposed algorithm gives better performance than the conventional ones based on the subjective and objective performance evaluation.

1. 서론

음성신호뿐만 아니라 영상신호 등을 종합정보통신망(ISDN)을 이용하여 전송하게 될 미래의 정보사회에서는 더욱 더 데이터의 압축이 필요하게 될 것이다. 음성이나 문자 등의 상징적인 정보에 비하여 물

체를 구체적으로 나타내는 영상 정보는 많은 데이터량을 갖는다. 따라서 이러한 영상 정보를 실시간 처리하거나 저장하는 데에는 많은 어려움이 있으며 이러한 많은 데이터량을 좀 더 적은 비트로 영상이나 영상이 포함하고 있는 정보를 나타내는 방법으로 영상 데이터 압축이 연구되고 있다. 블럭절단 부호화(Block Truncation Coding: BTC)^[1]는 공간영역 부호화중의 한가지 방법으로 계산량이 적고 실시간 처리가 가능하며 하드웨어 구현이 용이한 특성을 가지고 있다. 이 방법은 영상에서 부화상(subblock)

*準會員, **正會員, 西江大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)
接受日字: 1993年 1月 25日

은 비슷한 밝기 값 (gray level)을 갖는다는 특징을 이용하여 영상을 부화상으로 나누고 각각의 부화상에 대하여 샘플 평균과 샘플 표준편차 및 비트평면 정보를 전송하여 영상을 재구성하는 방법이다. 그러나 고정된 블럭크기를 이용하는 경우에는 영상의 국부적인 특성을 고려할 수 없으므로 블럭효과가 나타나는 등 화질의 손실이 일어나는 단점이 있다.

영상의 국부적인 특성을 고려한 기존의 BTC는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 고정된 블럭크기를 사용하지만 블럭내의 양자기를 영상의 특징에 따라 변화시키는 적응 BTC (adaptive BTC)이며 다른 하나는 가변 블럭크기를 사용하는 가변 BTC (variable BTC)이다. 적응 BTC나 가변 BTC를 사용하는 경우에는 단순히 고정된 블럭을 사용하는 경우 에 비해 영상의 국부적인 성질을 고려하여 처리하므로 일반적으로 복원 화질이 개선된다. 그러나 기존의 적응 BTC는 양자기를 결정하는 부분이, 가변 BTC는 블럭의 크기를 결정하는 부분이 각각 외부에서 파라미터로 입력된다. 그러므로 영상에 따라 파라미터의 값이 다르며 각 영상에 가장 적합한 파라미터를 얻기도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 외부에서 파라미터로 입력하는 대신 영상의 국부적인 특성을 고려하여 자동적으로 처리하는 자동 가변 BTC (automatic variable BTC)를 제안하였다.

제안한 알고리즘은 영상을 먼저 미리 정한 최대 블럭크기로 분할한 다음 각 블럭의 표준편차로부터 최빈값 (mode)을 구하여 이것을 블럭크기 결정시 문턱값 (threshold)으로 하여 자동적으로 블럭크기를 결정하는 알고리즘이다. 본 논문에서는 제안한 자동 블럭크기 결정 알고리즘을 기존의 가변 BTC와 결합하여 단순히 외부에서 입력한 파라미터로 블럭크기를 결정하는 방법 및 고정된 블럭을 사용한 경우의 방법과 비교하였다. 성능은 객관적인 면에서는 비트율과 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 비교하였으며 주관적인 면에서는 복원 영상의 화질을 비교하였다. 또 제안한 알고리즘을 흑백영상뿐만 아니라 컬러영상에도 확장, 적용하였는데, 이 경우의 객관적인 성능평가를 위해 RMSE (Relative Mean Square Error)를 사용하였다. II장에서는 기존의 고정, 가변 및 컬러 BTC 방법을 살펴보고 III장에서는 제안한 알고리즘에 대해서 살펴보고, IV장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰을 보였으며, V장에서는 결론을 내렸다.

II. 기존의 BTC

이 장에서는 기존의 BTC 방법을 고정블럭을 사용

한 경우, 가변블럭을 사용한 경우, 컬러 영상인 경우로 나누어 살펴본다.

1. 고정 BTC

1) 표준 BTC^[1]

표준 BTC는 입력된 영상을 $n \times n$ 의 겹치지 않는 부화상으로 나누어 2 레벨 양자기로 코딩하는 기법으로, 일반적으로 n 은 4를 사용한다. 나누어진 각 부화상에 대하여 블럭의 화소값을 각각 X_1, X_2, \dots, X_m ($N = n^2$)이라 하면, 1차와 2차 모멘트 그리고 분산은 각각 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i, & (1) \\ \bar{X}^2 &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i^2 \\ \sigma^2 &= \bar{X}^2 - (X)^2 \end{aligned}$$

이때의 샘플평균을 문턱값으로 선택하여 부화상의 화소를 '1' 혹은 '0'으로 변환하여 비트평면을 얻는다. 송신측에서는 각 부화상 단위로 샘플평균 (8 비트)과 표준편차 (8 비트) 및 비트평면 (16 비트)을 전송하므로 전송율은 2 비트/화소가 된다. 수신측에서는 이들을 수신하여 아래의 관계식을 이용하여 비트평면에서 '1'은 b 로, '0'은 a 로 변환한다.

$$\text{출력} = \begin{cases} b = X + \sigma \sqrt{\frac{(m-q)}{q}}, & \text{if } X_i > X_{th}, \\ a = X - \sigma \sqrt{\frac{q}{(m-q)}}, & \text{if } X_i \leq X_{th}. \end{cases} \quad (2)$$

여기서 X_{th} 는 블럭의 평균으로 표현되는 문턱값이고, q 는 문턱값보다 크거나 같은 화소의 개수 즉 비트평면에서 '1'의 개수를 나타낸다.

2) 절대값 모멘트 BTC^[2]

절대값 모멘트 BTC는 표준 BTC보다 계산이 간단하고 성능이 우수하며 표준 BTC가 부화상의 비트평면과 평균 및 표준모멘트를 전송하는데 비해서 부화상의 비트평면과 평균 및 아래와 같이 주어지는 블럭의 절대모멘트를 전송하는 방법이다.

$$\alpha = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |X_i - X| \quad (3)$$

수신측에서는 샘플평균과 절대값 모멘트를 수신하여 아래의 관계식을 이용하여 비트평면 '1'은 b 로, '0'은 a 로 변환한다.

$$\text{출력} = \begin{cases} b = X + \frac{m\alpha}{2(m-q)}, & \text{if } X_i > X_m, \\ a = X - \frac{m\alpha}{2q}, & \text{if } X_i \leq X_m. \end{cases} \quad (4)$$

$$c \leq T_1 \quad (9)$$

$$T_1 < c < T_2 \quad (10)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{m-q-1} |X_i - a| + \sum_{i=m-q}^m |X_i - b| \right] \leq T_3 \quad (11)$$

3) 최적 문턱값 BTC¹⁾

최적 문턱값 (optimal threshold) BTC는 부화상을 구성하는 부분은 표준 BTC와 동일하지만 샘플평균과 분산을 이용하여 2 레벨로 양자화하는 부분은 아래의 식과 같다.

$$\text{출력} = \begin{cases} b = X + \sigma \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}, & \text{if } X_i > X_m, \\ a = X - \sigma \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}, & \text{if } X_i \leq X_m. \end{cases} \quad (5)$$

각 부화상의 화소를 순서대로 정렬 (sorting)하여 식 (6)에 의하여 MSE를 구한 다음 가장 작은 MSE를 가지는 경우를 최적 문턱값으로 결정하여 q와 비트평면을 이용하여 식 (5)와 같이 출력을 얻는다. 식 (6)을 간단하게 정리하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{\beta} (X_i - a)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=\beta+1}^N (X_i - a)^2 \quad (6)$$

$$MSE = \sigma^2 - \sigma \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} (X - x(\beta)) \quad (7)$$

여기서 a, b는 각각 문턱값보다 작은 값 및 큰 값을 가지는 화소들의 평균값을 나타낸다. 최적 문턱값은 식 (7)에서 두번째 항을 최대로 하는 경우의 값을 나타낸다.

2. 가변 BTC

1) Murakami 등의 가변 BTC¹⁾

먼저 주어진 영상을 4×4 부화상으로 나누어 표준 BTC로 처리한 다음에 a, b를 구성하는 과정은 위에서 언급한 고정 블록절단 부화화 방법과 동일하나 적응적인 경우에는 구성된 a, b 값을 기준으로 부류를 나누어 주는 부분이 추가되는데 각각의 부류는 다음과 같은 방법으로 나누며 먼저 각각의 경우에 재구성된 a, b로부터 c를 구한다.

$$c = |a - b| \quad (8)$$

이와 같이 구해진 값을 외부 파라미터인 문턱값 T₁ 및 T₂와 비교하여 각각의 블록에 대해 부류를 구한다. 부류를 결정하는 방법은 다음의 식을 이용하여 처리한다.

식 (9)를 만족하는 경우에는 4×4 블록의 평균값만으로 구성한다. 식 (9)를 만족하지 않고 식 (10)과 (11)의 조건을 동시에 만족하면 각각의 방법에서 출력은, 예로 식 (2)와 같이 구성한다. 식 (9)-(11)을 모두 만족하지 않는 경우에는 2×2블록에 대해서 식 (2)와 같이 a, b로 재구성한다. 식 (11)의 좌변은 부화상내의 평균보다 작은 값들과 a와의 차의 합과 평균보다 큰 값들과 b와의 차의 합을 나타낸다.

2) Kamel 등의 가변 BTC¹⁵⁾

주어진 영상을 n = 8인 부화상으로 나누어 표준 BTC로 처리하며 각 블록의 표준편차가 외부에서 입력한 파라미터보다 작거나 같으면 8×8 BTC로 처리하며 나머지 블록들은 4개의 4×4 블록으로 나눈 다음에 표준편차가 외부에서 파라미터로 입력한 값보다 작거나 같은 블록은 4×4 BTC로 처리하며 나머지 블록들에 대해서는 2×2 블록으로 처리한다.

3) Nasiopoulos 등의 가변 BTC¹⁵⁾

블록내의 최대 밝기값과 최소 밝기값의 차를 외부 파라미터와 비교하여 블록의 크기를 결정하는 방법이다. 최대 블록크기는 4×4를 사용하며 이 값이 파라미터보다 큰 경우에는 4개의 2×2 블록으로 나누어 다시 처리한다. 처리 단계는 4×4 평균, 4×4 BTC, 2×2 평균, 2×2 BTC로 처리한다.

3. 컬러영상 BTC

가시 광선은 380-760nm의 파장을 갖고 있다. 컬러를 수량으로 표현하기 위해서 쓰이는 대표적인 것이 intensity, hue, saturation인데 intensity는 밝기를 표현하고 hue는 빨간색과 노란색, 파란색 등을 구분해 주는 성분이다. Saturation은 같은 빨간색에서 흰색이 섞여 있는 정도를 표현한다. 그런데 기본되는 3가지 컬러를 적절히 배합함으로써 여러가지 컬러를 만들 수 있다는 사실이 알려져 있다. 빨간색, 초록색, 파란색을 발생시키는 인을 가지고 있는 음극선관을 사용하여 이 3가지 색들을 기본 컬러로 하여 트라이스티물러스 값을 결정하는 좌표계가 R-G-B 좌표계이다.

이 좌표계에서는 기준 흰색에 정합될 때와 기본 컬러들의 트라이스티물러스 값들이 일치하도록 표준화되어 있다. Y-I-Q 좌표계는 Y는 컬러의 밝기값을 나타내고, 나머지 2가지 트라이스티물러스 값 I와 Q

는 조합되어 영상의 hue와 saturation을 나타낸다. R-G-B 대신에 Y-I-Q를 사용하는 경우, Y 신호만으로 흑백 영상을 얻을 수 있으며 현저한 화질 저하없이 I와 Q 신호의 대역폭을 줄일 수 있는 장점이 있다.

1) 부표본화 모멘트 BTC^[2]

이 방법은 영상을 R-G-B 평면이 아닌 Y-I-Q 평면에서 처리하는 방법으로 R-G-B 평면을 Y-I-Q 평면으로 변환하는 방법과 Y-I-Q 평면을 R-G-B 평면으로 변환하는 방법은 식 (12)와 같다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.621 \\ 1.000 & -0.272 & -0.647 \\ 1.000 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

먼저 주어진 R-G-B 평면의 컬러영상을 Y-I-Q 평면으로 변환한 다음 Y 신호보다 I, Q 신호가 인간의 시각 특성에 덜 민감하다는 특성을 고려하여 I 신호는 2×2 블럭의 평균값을 한 화소로 하는 부표본화(subsampling) 방법으로 처리하며, Q 신호는 4×4 블럭의 평균값을 한 화소로 부표본화하여 처리한다. Y-I-Q 각각의 신호에 절대값 모멘트 블럭절단 부호화 방법을 적용하여 처리하며 처리한 결과 영상을 보간(interpolation)한다. 보간한 영상을 식 (12)에 의해서 R-G-B 평면으로 다시 변환하는 방법이다.

2) 단일 비트평면 BTC^[6]

부표본화 모멘트 BTC가 Y-I-Q 평면에서 처리한 반면에 이 방법은 R-G-B 상호간의 상관 관계를 줄여서 처리하는 방법이다.

R-G-B 각각에 블럭절단 부호화 방법을 적용한 경우 대체로 비트평면은 유사하거나 거의 동일하다는 특성에 의해서 단일 비트평면으로 세가지 평면의 영상을 양자화하는 방법이다. 단일 비트평면을 구성하는 방법은 식 (13)과 같다.

$$W = \alpha R + \beta G + \gamma B$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (13)$$

즉 R, G, B 평면의 성분의 평균으로 새로운 W 평면을 얻는다. 얻어진 W 평면으로부터 구해진 비트맵을 이용하여 R, G, B 각각의 신호를 BTC한다. 이때 사용한 방법은 절대값 모멘트 BTC와 동일한 방법으로 BTC한다. 여기서 W는 식 (13)에서 α , β , γ 를 각각 1/3로 처리한 경우의 평면이다.

III. 제안한 자동 가변 BTC^[7]

이 장에서는 먼저 기존의 가변 BTC가 가지는 문제점을 살펴보고 이를 해결하기 위해서 제안한 알고리즘에 대해서 살펴본다.

1. 기존의 가변 BTC의 문제점

고정 BTC는 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고 영상 전체를 같은 크기의 블럭을 사용하여 처리함으로써 영상의 화질이 저하되는 현상이 일어난다. 그러므로 주어진 영상에 대해 영상의 국부적인 특성을 잘 고려하면서 파라미터의 값을 외부에서 입력하지 않고 자동적으로 결정하는 자동 가변 BTC 알고리즘의 개발이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 영상의 국부적인 특성을 고려하면서 자동적으로 블럭크기 결정을 위한 문턱값을 결정하여 블럭의 크기를 변화하는 자동 가변 BTC 알고리즘을 제안하였다.

2. 제안한 자동 가변 BTC

기존의 가변 BTC가 외부 파라미터에 의존하여 블럭의 크기를 결정하는 반면에 제안한 방법은 영상의 국부적인 특성에 따라 자동적으로 블럭의 크기를 결정하도록 하였다. 이와 같이 자동적으로 블럭의 크기를 결정하는 문턱값으로는 각 블럭의 표준편차의 최빈값을 이용하였다. 여기서 최빈값이란 연속적이거나 불연속적인 어떤 불규칙 변수(random variable) X의 확률밀도함수 p(x)를 최대로 하는 x값으로 정의된다. 최빈값은 outlier가 있는 경우에도 평균값이나 중앙값과 비교하여 영향을 적게 받는 장점이 있다. 이러한 성질을 이용하여 영상 평활화^[8, 11], 에지검출^[12, 13], 클러스터링^[11]에 적용하여 좋은 결과를 얻었으며 본 논문에서는 이러한 성질을 영상부호화의 하나인 BTC에서 블럭크기 결정에 적용하였다.

제안한 알고리즘의 흐름도를 그림 1에 나타내었다. 본 논문에서는 블럭의 표준편차값을 이용하여 불연속성을 측정하였다. 주어진 해상도에서 블럭들의 국부 표준편차의 분포는 단봉(unimodal) 분포를 이룰 것으로 예상된다. 앞에서 설명한 기존의 가변 BTC는 그림 1의 T₁, T₂와 같이 각각의 방법에 따라 외부에서 주어지는 파라미터가 1개 또는 3개가 필요하나 본 논문에서는 자동으로 블럭크기를 결정하기 위하여 주어진 해상도의 전체적인(global) 특징을 나타내는 표준편차의 최빈값을 구하여 블럭크기 결정의 문턱값으로 사용하였다. 그림에서 최대 블럭의 크기는 4로 최소 블럭의 크기는 2로 가정하였다. σ_{11} 는 4×4 해상도에서 각각의 블럭의 표준편차를 나타낸다. T₁은

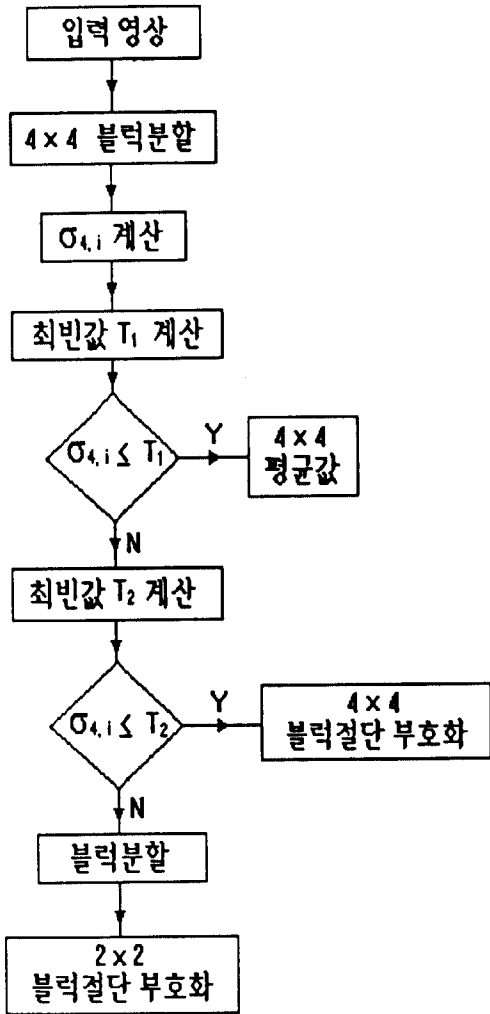


그림 1. 제안한 가변 BCT의 흐름도
 Fig. 1. Flowchart of the proposed variable BCT.

해상도 4×4에서의 표준편차의 최빈값을 나타내며, T2는 T1에서 결정되지 않은 나머지 블록들의 표준편차의 최빈값을 나타낸다. 예를 들면 만약 $\sigma_{4,i} \leq T_1$ 이면, 즉 주어진 해상도에서 블록의 표준편차값이 추정된 문턱값보다 작으면 주어진 해상도에서 균일한 지역으로 추정하여 4×4 평균값으로 처리한다. 결정되지 않은 나머지 블록들의 표준편차를 구하여 위와 같은 과정을 거쳐 추정된 문턱값보다 작은 블록은 주어진 해상도에서의 4×4 BTC를 적용한다. 추정된 문턱값보다 큰 블록들은 균일한 4개의 부분블록(subblock)으로 나누어 처리하며 최소 블록의 크기가 2×2가 될 때까지 처리한다. 이와 같은 방법으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 기존의 가변 BTC 등

에 적용한 경우의 알고리즘은 다음과 같다.

1) Murakami 등의 방법에 근거한 방법

Murakami 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한 경우에는 주어진 입력영상에 대해 4×4 각 블록으로부터 표준편차의 최빈값을 구한 다음에 각 블록들의 표준편차가 구해진 최빈값보다 작거나 같은 경우에는 각 블록을 4×4 평균으로 처리하며 처리되지 않은 나머지 블록들에 대해서는 다시 최빈값을 구하여 각각의 블록의 표준편차와 비교하는데 이때 최빈값보다 작거나 같은 블록들은 4×4 블록절단 부호화 방법을 사용하여 처리하며 최빈값보다 큰 나머지 블록들은 4개의 2×2 블록으로 나누어 각각의 블록에 2×2 BTC를 사용한다.

2) Kamel 등의 방법에 근거한 방법

Kamel 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한 경우에는 n = 8 부터 처리하였다. 8×8 블록의 표준편차의 최빈값을 구하여 블록의 표준편차가 최빈값보다 작거나 같은 블록은 8×8 BTC를, 최빈값보다 큰 블록들은 4개의 4×4 블록으로 나누어 다시 최빈값을 구한다. 이때 구한 최빈값보다 작거나 같은 표준편차를 가지는 블록들은 4×4 BTC로 처리하며 나머지 블록들은 2×2 BTC로 처리한다.

3) Nasiopoulos 등의 방법에 근거한 방법

Nasiopoulos 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한 경우에는 최상위 블록을 4×4부터 처리하였으며 최빈값보다 작거나 같은 표준편차를 가지는 블록들은 4×4 평균으로 처리하였으며 나머지 블록들에 대해서 다시 구한 최빈값보다 작은 블록들은 4×4 BTC로 처리한다. 최빈값보다 큰 표준편차를 가지는 블록들은 2×2의 부화상으로 나누어 2×2 블록의 최빈값을 구한 다음, 최빈값보다 작거나 같은 블록들은 2×2 평균으로 처리하며 나머지 블록들은 2×2 BTC로 처리한다.

3. 제안한 컬러영상 자동가변 BTC

흑백영상인 경우에 적용한 자동 가변 BTC를 컬러영상에 적용하였다. 즉 Murakami 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용하여 R, G, B 각각의 영상에 적용하였다. 이와 같은 방법으로 처리하는 경우 단순히 고정된 블록을 사용하여 처리한 경우보다 성능은 향상되지만 여전히 비트율이 높으므로 비트율을 보다 감소시키기 위해서 다음과 같은 방법을 제안하였다.

- 1 단계: 주어진 영상을 식 (12)를 이용하여 R-G-B 평면에서 Y-I-Q 평면으로 변환한다.
- 2 단계: Y-I-Q 평면으로 변환한 영상을 영상의 특성에 따라 I 및 Q 신호는 2 : 1로 부표본화한다.

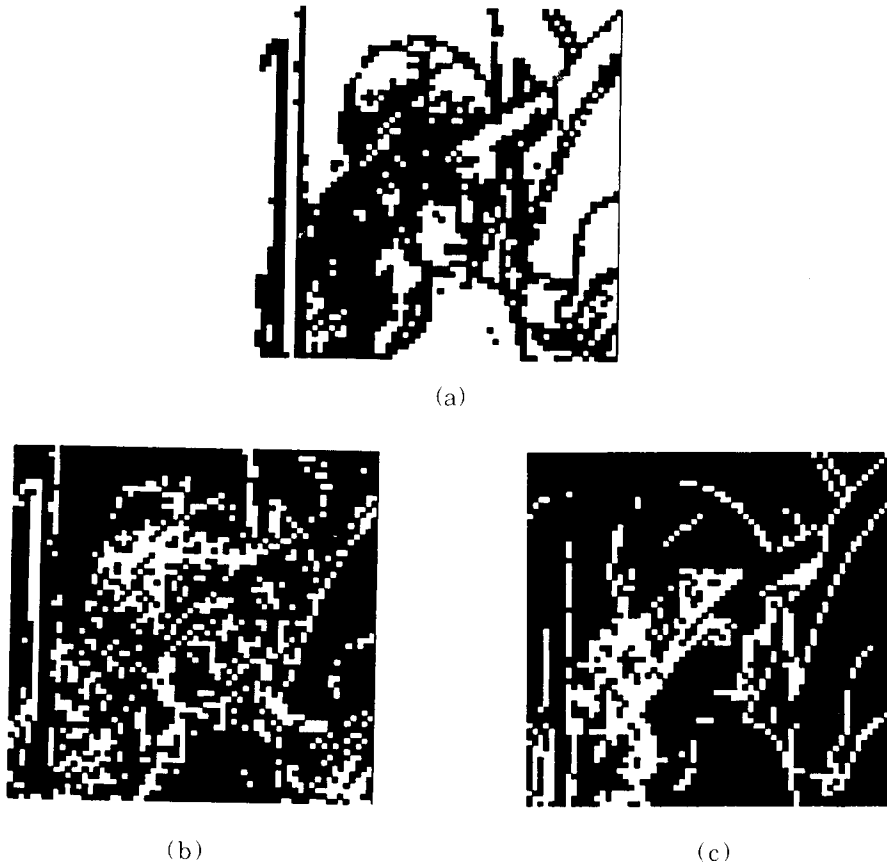


그림 2. Murakami 등의 방법에 근거한 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 비트맵

(a) 4×4 평균으로 처리한 영역(흰부분) (b) 4×4 BTC로 처리한 영역(흰부분)
(c) 2×2 BTC로 처리한 영역(흰부분)

Fig. 2. Bit map of the proposed algorithm based on the Murakami *et al.*'s method.

(a) 4×4 average (white area), (b) 4×4 BTC (white area), (c) 2×2 BTC (white area).

3 단계: 구해진 Y, I, Q 신호에 자동 가변 BTC를 적용한다.

4 단계: 처리한 결과 영상을 보간한다.

5 단계: 보간한 영상을 식 (12)를 이용하여 R-G-B 평면으로 변환한다.

IV. 실험결과 및 고찰

이 장에서는 실험영상이 흑백인 경우와 컬러인 경우에 제안한 방법과 기존의 방법의 성능을 PSNR 및 비트율 측면에서 비교, 고찰하였다.

1. 흑백 실험영상

입력영상은 256×256 크기에 256 밝기값을 가지는

영상에 대해서 실험하였다. 그림 2는 Lena 원영상에 Murakami 등의 가변 BTC에 제안한 알고리즘을 적용하여 3단계로 처리한 경우의 각 단계별 처리한 영역을 나타내는 비트영상이다. 그림에서 보듯이 대체적으로 동일한 영역을 가지는 부분은 4×4 평균으로 처리하였으며 머리카락과 같은 세밀한 부분은 2×2 BTC로 처리하였음을 알 수 있다. 그림에서 흰 부분이 각 단계별로 처리된 영역을 나타낸다. 이때 각각의 영역의 비율은 36.33%, 39.48%, 24.19%를 차지한다.

Murakami 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한 경우에는 4×4 평균, 4×4 BTC, 2×2 BTC의 3 단계로 처리하였다. 이때 확장하여 8×8 평균, 8×8 BTC, 4×4 BTC, 2×2 BTC의 4 단계로 처리한 경

우보다 3 단계로 처리한 경우의 PSNR이 0.02 dB 높으면서도 비트율은 0.23 bpp 줄어들어서 3 단계로 처리한 경우의 성능이 좋음을 알 수 있었다. 또한 16×16 평균, 16×16 BTC, 8×8 BTC, 4×4 BTC, 2×2 BTC의 5단계로 처리한 경우에는 2.19 bpp의 비트율에 32.40 dB의 성능을 나타내지만 최상위 블록의 크기가 너무 커서 재구성된 영상에서 블록 효과 (blocking effect)가 일어나므로 주관적인 판단으로는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 최대 블록크기는 영상에 따라 다르지만 세밀한 성분이 손상받지 않는 한도내에서 최대 블록크기를 설정해야 하며 주어진 실험조건에서는 3 단계로 처리한 경우의 성능이 가장 좋음을 알 수 있었다. 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 성능은 2×2 BTC로 처리한 경우의 36.31 dB에 5 bpp의 비트율을 가지는 경우와 비교하면 제안한 기법의 성능을 간접적으로 평가할 수 있다.

원영상과 $\sigma = 5, 10$ 의 가우시안 잡음이 들어간 경우에 Girl 영상에 각각의 방법으로 처리한 결과값을 표 1에 나타내었다. 최빈값은 잡음과 같은 outlier가 있는 경우에도 평균값이나 중앙값보다 outlier의 영향을 적게 받는 장점이 있다.¹⁴⁾ 잡음특성이 좋은 최

빈값을 이용함으로써 잡음영상 혹은 다양한 입력영상에 대해서도 적응성을 갖는 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 표준 BTC와 절대값 모멘트 BTC는 4×4 블록으로 처리하였으며 Murakami 등에 의한 방법은 외부에서 파라미터를 6.709, 29.99, 121.3으로 처리하였다. 이는 원영상 ($\sigma = 0$)인 경우에 제안한 알고리즘을 적용한 경우와 비슷한 성능 및 비트율을 얻는 경우의 파라미터이다. Kamel 등의 방법은 외부에서 입력하는 파라미터값으로 9를 사용하였으며 Nasiopoulos 등의 방법은 평활화 문턱값을 18로 처리하여 외부파라미터는 18, 120, 60을 사용하였다. 이와같은 파라미터는 제안한 알고리즘을 기존의 가변 BTC와 결합한 경우와 기존의 가변 BTC의 성능이 거의 비슷한 경우의 값이다.

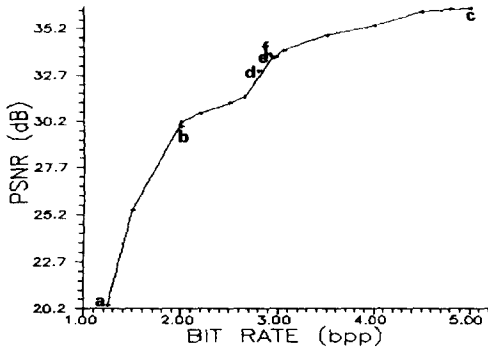
원영상과 $\sigma = 5, 10$ 의 가우시안 잡음이 들어간 Girl 영상에 Kamel 등의 방법으로 처리한 경우의 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 a, b, c는 고정 크기 8×8 BTC, 4×4 BTC, 2×2 BTC로 처리한 경우이다. 곡선은 외부 파라미터의 값을 변화시키면서 Kamel 등의 방법으로 처리한 경우의 비트율과 PSNR을 나타내며 d, e, f는 Kamel 등의 방법에 근거한 최빈값, 중앙값, 평균값을 이용한 자동가변 BTC이다. 그림에서 보듯이 제안한 알고리즘을 적용한 경우보다 성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 잡음이 섞인 경우에도 제안한 알고리즘을 적용한 경우는 단순히 외부에서 파라미터로 주어지는 기존의 방법들에 비하여 대체적으로 주관적인 성능이 좋음을 알 수 있었다. 한편 실험에서 Murakami 등의 방법에 사용한 파라미터는 $\sigma = 0, 5, 10$ 인 경우에 모두 같은 값을 사용하였으며 다른 방법들도 같은 방법으로 실험하였다.

표 1에서 보듯이 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 방법은 잡음이 섞인 경우에도 영상의 국부적인 특성을 고려하여 자동적으로 처리하므로 영상의 특성을 고려하지 않고 외부에서 일정한 파라미터를 주는 경우보다 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 표 1은 Girl 영상에 표준 BTC를 적용하여 처리한 경우이며, 표 2는 절대값 모멘트 BTC를, 표 3은 최적 BTC를 적용하여 처리한 경우의 결과이다. 표 1-3에서 8×8 고정블록을 사용한 경우에는 비트율은 감소하지만 PSNR이 떨어지며 2×2 고정블록을 사용한 경우에는 PSNR이 증가하나 비트율도 증가함을 알 수 있었다. 표 1에서 Murakami 등의 가변 BTC는 $\sigma = 5$ 인 경우가 $\sigma = 0$ 인 경우보다 PSNR은 약 7% 정도 줄었지만 비트율은 오히려 22.5% 정도 늘어난 반면에 Murakami 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한

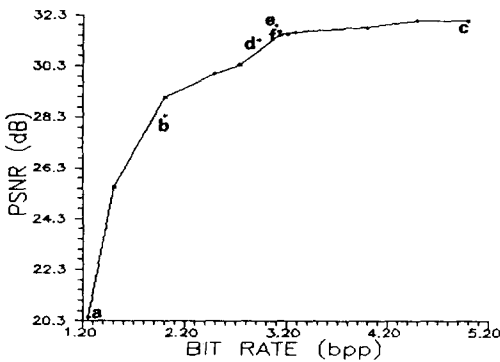
표 1. 성능 비교표 (Girl 영상, 표준 BTC, 단위: dB)

Table 1. Performance comparison (Girl image, standard BTC, unit: dB).

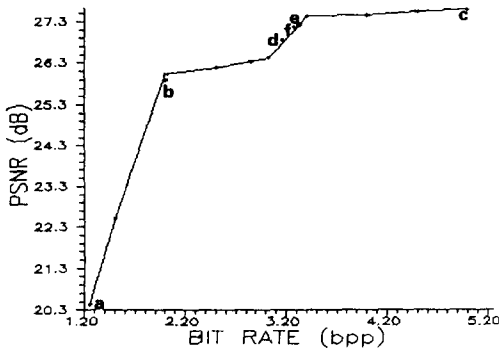
방법		잡음		$\sigma = 0$		$\sigma = 5$		$\sigma = 10$		
		PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp			
고정블럭 ⁽¹⁾	8×8	20.40	1.25	20.39	1.25	20.38	1.25			
	4×4	32.02	2.0	30.87	2.0	27.48	2.0			
	2×2	36.31	5.0	33.75	5.0	30.06	5.0			
가변블럭	Murakami 등의 방법	원래방법 ⁽²⁾	35.82	2.79	33.38	3.36	29.87	3.49		
		최빈값	35.82	2.79	33.61	3.27	29.99	3.41		
		자동 평균	35.43	2.81	33.40	3.32	29.90	3.45		
		중앙값	35.31	2.83	33.53	3.34	29.49	3.44		
	Kamel 등의 방법	원래방법 ⁽³⁾	34.49	3.41	31.64	3.74	28.35	3.89		
		최빈값	34.76	3.37	31.77	3.69	28.43	3.84		
		자동 평균	34.51	3.39	31.71	3.72	28.38	3.87		
		중앙값	34.49	3.40	31.74	3.71	28.42	3.88		
	Nasiopoulos 등의 방법	원래방법 ⁽⁵⁾	35.57	2.86	33.29	3.47	29.48	3.61		
		최빈값	35.71	2.83	33.53	3.41	29.69	3.57		
		자동 평균	35.62	2.85	33.31	3.44	29.55	3.59		
		중앙값	33.57	2.84	33.27	3.45	29.48	3.60		



(a)



(b)



(c)

그림 3. Kamel 등의 방법으로 잡음영상을 처리한 경우의 성능 비교표 (Girl 영상)
(a) $\sigma=0$ (b) $\sigma=5$ (c) $\sigma=10$

Fig. 3. Performance comparison for noisy images of the Kamel *et al.*'s method as a function of bit rate (Girl image).
(a) $\sigma=1$, (b) $\sigma=5$, (c) $\sigma=10$.

표 2. 성능 비교표 (Girl 영상, 절대값 모멘트 BTC, 단위: dB)

Table 2. Performance comparison (Girl image, absolute moment BTC, unit: dB).

방법	삽입	$\sigma = 0$		$\sigma = 5$		$\sigma = 10$		
		PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	
고정블럭 ^[2]	8×8	22.13	1.25	21.86	1.25	21.75	1.25	
	4×4	32.37	2.0	31.14	2.0	27.74	2.0	
	2×2	36.45	5.0	34.11	5.0	30.27	5.0	
가변블럭	Murakami 등의 방법	원래방법 ^[4]	36.12	2.74	33.69	3.33	30.16	3.47
		최빈값	36.12	2.74	33.97	3.25	30.24	3.39
		자동 평균	35.66	2.78	33.72	3.29	30.14	3.41
		중앙값	35.60	2.80	33.86	3.31	29.85	3.40
	Kamel 등의 방법	원래방법 ^[3]	34.81	3.40	31.98	3.71	28.66	3.85
		최빈값	35.03	3.36	32.06	3.63	28.73	3.81
		자동 평균	34.82	3.36	32.03	3.68	28.82	3.84
		중앙값	34.83	3.38	31.99	3.68	28.71	3.84
	Nasiopoulos 등의 방법	원래방법 ^[5]	35.90	2.84	33.56	3.45	29.81	3.57
		최빈값	36.06	2.81	33.88	3.39	30.09	3.52
		자동 평균	35.91	2.81	33.64	3.41	29.81	3.54
		중앙값	35.87	2.81	33.50	3.42	29.89	3.56

경우는 PSNR이 5.5% 정도 줄어들고 비트율은 20% 정도 늘어났다. 또한 $\sigma = 5$ 인 경우에 Kamel 등의 방법에 제안한 알고리즘에 최빈값을 이용한 경우는 단순히 외부 파라미터로 처리한 Kamel 등의 방법보다 PSNR은 약 2% 높으면서 비트율은 오히려 2% 정도 낮아졌다. 표 1-3에 의하면 표준 BTC 양자기를 사용한 경우보다 절대값 모멘트 BTC 양자기를 사용한 경우가 좋으며 그리고 최적 문턱값 BTC 양자기를 사용한 경우가 가장 좋았다. 또한 고정된 BTC를 사용한 경우보다 외부에서 파라미터를 입력하여 처리하는 기존의 가변 BTC를 사용한 경우가 그리고 제안한 자동 가변 BTC 알고리즘을 적용한 경우가 기존의 가변 BTC보다 좋은 성능을 보였다. 한편 제안한 알고리즘에 최빈값을 적용하여 자동으로 처리한 경우가 중앙값이나 평균값을 적용하여 처리한 경우보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 즉 제안한 알고리즘을 적용한 경우가 외부 파라미터에 의해서 가변 BTC한 경우보다 적은 비트로서 좋은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

$\sigma = 5$ 인 영상에 Murakami 등의 방법에 제안한 알고리즘을 적용한 경우는 각각의 영역이 차지하는 비율이 7.2%, 66.69%, 26.11%이며 외부에서 파라

표 3. 성능 비교표 (Girl 영상, 최적 문턱값 BTC, 단위: dB)

Table 3. Performance comparison (Girl image, optimal threshold BTC, unit: dB).

방법		참용	σ = 0		σ = 5		σ = 10	
			PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp
고정블럭 ⁽¹⁾	8 × 8		22.40	1.25	21.98	1.25	21.84	1.25
	4 × 4		33.41	2.0	32.26	2.0	28.90	2.0
	2 × 2		36.57	5.0	34.28	5.0	30.36	5.0
가변블럭	Murakami 등의 방법	원래방법 ⁽¹⁾	37.18	2.79	34.74	3.28	31.07	3.42
		최빈값	37.18	2.79	34.89	3.20	31.35	3.33
		자동 평균	36.67	2.73	34.71	3.24	31.16	3.37
		중앙값	36.63	2.74	34.91	3.28	30.87	3.36
		원래방법 ⁽²⁾	35.88	3.38	32.02	3.67	29.65	3.81
		최빈값	36.05	3.33	33.14	3.60	29.74	3.78
	Kamel 등의 방법	자동 평균	35.89	3.32	33.11	3.61	29.84	3.80
		중앙값	35.84	3.33	32.96	3.61	29.67	3.80
		원래방법 ⁽³⁾	36.93	2.80	34.54	3.42	30.76	3.51
	Nasiopoulos 등의 방법	최빈값	37.14	2.77	34.80	3.34	31.09	3.48
		자동 평균	36.94	2.76	34.67	3.38	30.86	3.51
		중앙값	36.74	2.77	34.16	3.42	30.40	3.54

메터로 주어지는 Murakami 등의 방법에서는 3.47%, 71.29%, 25.24%의 분포를 나타내었다. 분포에서 보듯이 제안한 알고리즘을 적용한 방법은 기존의 파라미터로 주어지는 방법에 비하여 평평한 부분(4×4 평균으로 처리한 부분)과 세밀한 부분(2×2 BTC로 처리한 부분)으로 나누어 처리하는 영역이 많음을 알 수 있었다. 따라서 잡음이 섞인 영상에서도 단순히 외부에서 파라미터를 입력하여 처리한 경우보다 영상의 국부적인 특성을 고려하여 자동적으로 처리하는 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 성능이 평평한 부분으로 처리한 영역에서의 평활화 효과가 보다 좋음을 알 수 있었다. Lena, House 등 여러가지 실험영상에 대해서도 제안한 알고리즘을 적용한 경우, 최빈값을 사용하여 블럭크기를 결정할 경우, 최적 문턱값 BTC 양자기를 사용한 경우에 성능이 가장 좋은 비슷한 추세를 보였다.

2. 컬러 실험영상

실험에 사용한 영상은 256×256 크기의 금문교, Couple 영상이다. 컬러영상인 경우에는 성능비교 척도로서 식 (14)와 같이 정의되는 RMSE (Relative Mean Square Error)⁽¹⁵⁾를 사용하였다. 여기에서

R(i,j)는 M×M 원영상을, R'(i,j)는 복원된 영상을 나타낸다.

$$\epsilon_R^2 = \frac{\frac{1}{M^2} \sum \sum [R(i,j) - R'(i,j)]^2}{\frac{1}{M^2} \sum \sum R^2(i,j) - \left[\frac{1}{M^2} \sum \sum R(i,j) \right]^2} \quad (14)$$

$$\epsilon_T^2 = \frac{\epsilon_R^2 + \epsilon_G^2 + \epsilon_B^2}{3}$$

R-G-B 평면에서 고정된 블럭을 사용하여 처리한 경우와 제안한 자동 가변 BTC를 적용한 경우의 성능을 표 4에 비교하였다. 결과에서 볼 수 있듯이 단순히 고정된 블럭을 사용한 경우보다 제안한 알고리즘을 사용한 경우에 성능이 향상되었다.

표 4. 제안한 알고리즘과 고정 BTC의 성능 비교표 R-G-B 평면)

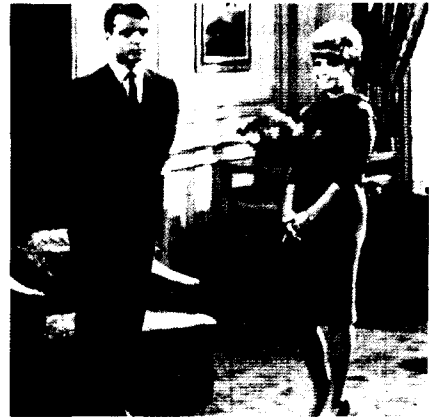
Table 4. Performance comparison for the proposed algorithm and fixed BTC (R-G-B planes).

실험영상		성능	ε _R ²	ε _G ²	ε _B ²	ε _T ²	bpp
금문교 영상	고정블럭 ⁽¹⁾		0.020	0.018	0.016	0.018	6.0
	제안한 방법		0.015	0.013	0.011	0.013	5.84
Couple 영상	고정블럭 ⁽¹⁾		0.027	0.028	0.032	0.029	6.0
	제안한 방법		0.023	0.023	0.026	0.024	6.03

그림 4에는 실험에 사용한 컬러영상을 나타내었으며 그림 5는 금문교 영상을 기존의 방법 및 제안한 알고리즘으로 처리한 결과이며 그림 6은 Couple 영상을 처리한 결과이다. 결과 영상은 타가 보드 (Targa board)를 통하여 모니터상에 나타난 화면을 카메라로 찍은 영상이다. 각 그림의 (a)는 R-G-B 평면에서 독립 비트평면⁽¹⁾을 이용한 경우이며, (b)는 부표본화 모멘트 BTC⁽²⁾로 처리한 경우이며, (c)는 단일 비트평면⁽⁶⁾을 이용한 경우이며, (d)는 제안한 알고리즘을 사용한 경우의 결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이 제안한 알고리즘을 사용한 경우의 결과가 주관적인 면에서 원영상에 가장 가깝게 처리되었음을



(a)



(b)

그림 4. 실험 컬러 원영상

(a) 금문교 영상 (b) Couple 영상

Fig. 4. Original color test image.

(a) Golden Gate Bridge. (b) Couple.

알 수 있었다. 즉 고정된 블럭을 사용하여 처리한 경우보다 가변 블럭을 이용하여 처리한 경우의 성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 제안한 알고리즘을 사용한 경우와 부표본화 모멘트 BTC는 R-G-B 평면에서 Y-I-Q 평면으로 변환하여 처리한 다음 결과영상을 다시 R-G-B 평면으로 변환하여 나타내었다.

제안한 알고리즘을 사용한 경우 Y, I, Q 신호의 부표본화 비는 1 : 2 : 2 를 사용하였는데 이는 실험을 통하여 가장 좋은 성능을 가지는 경우이다. 금문교 영상인 경우에 1 : 1 : 1인 경우에 제안한 알고리즘을 사용하여 처리한 경우는 1 : 2 : 2로 처리한 경우보다 성능은 0.003dB 향상된 반면 비트율은 오히려 0.33만큼 증가하였다. 1 : 2 : 4, 1 : 4 : 4, 1 : 4 : 8로 처리한 경우에도 1 : 2 : 2로 처리한 경우보다 성능 저하에 비하여 상대적으로 비트율의 감소는 두드러지지 않음을 알 수 있었다. 다른 여러가지 컬러 실험영상에 대해서도 비슷한 추세를 보였다.

금문교 영상인 경우의 제안한 방법으로 처리한 결과는 왼쪽의 산 내부와 밑의 물 표면에서 약간의 화질 손실이 있지만 거의 원영상과 동일함을 알 수 있었다. 즉 주관적인 평가에서는 제안한 방법이 거의 원영상에 가깝게 복원되었음을 알 수 있었다. 부표본화 모멘트를 사용한 경우에는 영상전체에서 블럭효과가 많이 나타남을 볼 수 있었는데 이는 Q 신호를 4 : 1 부표본화하였으므로 최종단에서 보간하는 과정에서

특히 많이 나타나며 단일 비트평면을 사용한 경우에는 왼쪽 기둥과 오른쪽 벽 등에서 화질의 손실이 나타났다. 제안한 방법은 Couple 영상에서는 거의 원영상과 동일하였으며 독립 비트평면을 사용한 경우에도 Couple 영상은 거의 원영상과 동일함을 알 수 있었으며 금문교 영상에서는 산등성이 부분에서 약간의 블럭효과가 나타남을 볼 수 있었다. 한편 부표본화

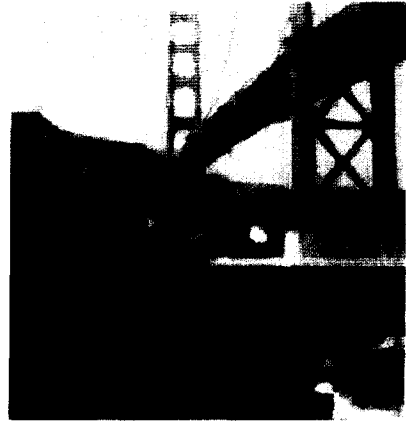
표 5. 컬러 BTC의 성능 비교표

Table 5. Performance comparison for the color BTC.

실험영상		성능				
		ϵ_R^2	ϵ_G^2	ϵ_B^2	ϵ_T^2	bpp
금문교 영상	독립비트평면 ⁽¹⁾	0.020	0.018	0.016	0.018	6.0
	단일비트평면 ⁽⁶⁾	0.253	0.084	0.084	0.140	4.0
	부표본화 모멘트 ⁽²⁾	0.046	0.091	0.084	0.074	2.65
	제안한 방법	0.018	0.016	0.013	0.016	2.44
Couple 영상	독립비트평면 ⁽¹⁾	0.027	0.028	0.032	0.029	6.0
	단일비트평면 ⁽⁶⁾	0.071	0.060	0.070	0.067	4.0
	부표본화 모멘트 ⁽²⁾	0.053	0.038	0.057	0.049	2.65
	제안한 방법	0.018	0.017	0.029	0.021	2.12



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 복원 영상 (金門교 영상)

(a) 독립 비트평면 방법 (b) 부표본화 모멘트 방법

(c) 단일 비트평면 방법 (d) 제안한 방법

Fig. 5. Reconstructed image (Golden Gate Bridge).

(a) Three bit map BTC, (b) Absolute moment BTC,

(c) Single bit map BTC, (d) Proposed technique.

모멘트 방법으로 처리한 경우에는 영상 전체에서 블러 효과가 많이 나타남을 볼 수 있었으며 단일 비트평면을 사용한 경우에는 주관적인 판단으로는 상당히 좋지 않음을 알 수 있었다.

표 5에는 실험영상에 단일 비트평면을 이용한 경우와 부표본화 모멘트를 이용한 경우, 제안한 방법을 사용한 경우, 독립 비트평면을 사용하여 처리한 경우

에 대하여 식 (14)를 사용하여 R, G, B 각각의 신호의 평균 오차와 비트율을 나타내었다.金門교 영상인 경우에 독립 비트평면을 사용한 경우는 R, G, B 각각의 신호에 절대값 모멘트 BTC를 사용하여 처리한 경우로 많은 비트를 필요로 하지만 상대적으로 가장 적은 오차를 보였다. 단일 비트평면을 이용한 경우에는 각각의 비트평면을 사용한 경우보다 데이터량



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 복원 영상 (Couple 영상)

(a) 독립 비트평면 방법 (b) 부표분화 모멘트 방법

(c) 단일 비트평면 방법 (d) 제안한 방법

Fig. 6. Reconstructed image (Couple image).

(a) Three bit map BTC. (b) Absolute moment BTC.

(c) Single bit map BTC. (d) Proposed technique.

이 33.34% 줄어들지만 상대적으로 오차가 약 56% 줄어들면서 오차는 약 2.7 배의 증가만을 보였다. 제안한 알고리즘을 사용한 경우에는 비트율은 약 61%의 감소를 보이면서 오차는 오히려 약간 줄어들음을 볼 수 있었다. 즉 객관적인 평가에서도 제안한 알고리즘을 사용한 경우의 성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 이와같은 추세는 다른 컬러 실험영상인 경우에도 거의 동일함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 영상의 국부적인 특성을 고려하여 자동적으로 블럭의 크기를 결정하는 자동 가변 블럭절단 부호화 알고리즘을 제안하였다. 흑백영상 및 컬러영상인 경우에 실험을 통하여 성능을 비교하였다. 흑백영상인 경우에는 기존의 고정된 블럭을 사용한

방법들과 비교할 때는 고정된 블럭크기에서 오는 상충 관계를 개선하는 효과를 보였으며, 특히 제안한 알고리즘은 외부에서 파라미터를 제공하는 기존의 가변 BTC와 비교하여 입력 영상으로부터 얻어진 표준편차의 최빈값을 문턱값으로 이용하여 영상의 국부적인 특성에 적합한 블럭 크기를 자동적으로 선택함으로써 성능개선을 보였다. 잡음이 들어간 경우에도 제안한 알고리즘을 적용한 경우는 좋은 결과를 보였다. 컬러영상인 경우에 제안한 알고리즘을 사용하여 자동적으로 블럭의 크기를 변화하면서 처리한 경우의 결과가 단순히 고정 블럭을 사용하여 처리한 경우보다 비트율을 약 55-60% 감소시키면서 성능은 거의 유사한 결과를 얻었다. 한편 제안한 알고리즘은 기존의 단순 고정블럭을 사용하여 처리한 경우나 외부 파라미터를 사용한 기존의 가변 BTC보다 계산이 복잡하다는 단점이 있으나, 이상과 같은 실험결과를 바탕으로 결론을 내려보면 본 논문에서 제안한 자동 가변 BTC를 사용하여 처리한 경우가 적절하다고 할 수 있다. 한편 차후의 연구과제로는 제안한 자동 가변 BTC 기법을 동영상인 경우에 적용하는 것을 들 수 있다.

參考文獻

- [1] E. J. Delp and O. R. Mitchell, "Image compression using block truncation coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 1335-1342, Sept. 1979.
- [2] M. D. Lema and O. R. Mitchell, "Absolute moment block truncation coding and its application to color images," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, pp. 1148-1157, Oct. 1984.
- [3] M. Kamel, C. T. Sun, and L. Guan, "Image compression by variable block truncation coding with optimal threshold," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-39, pp. 208-212, Jan. 1991.
- [4] S. Murakami et al., "One bit/pel coding of still pictures," *Proc. ICC*, pp. 23.1.1-23.1.5, 1979.
- [5] P. Nasiopoulos, R. K. Ward, and D. J. Morse, "Adaptive compression coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-39, pp. 1245-1254, Aug. 1991.
- [6] E. J. Delp and O. R. Mitchell, "The use of block truncation coding in DPCM image coding," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 39, no. 4., pp. 967-971, Apr. 1991.
- [7] 김 태균, 박 래홍, "자동 가변 블럭절단 부호화", 1992년도 제 5 회 신호처리합동학술대회 논문집, 제 5권, pp. 665-668, 1992년 9월.
- [8] 김 태균, 박 래홍, "다해상도 적응 영상 평활화 기법," 전자공학회 논문지-B, 제 29권, 제 6호, pp. 54-61, 1992년 6월.
- [9] 김 태균, 남 권문, 박 래홍, "스펙클 영상의 다단계 적응평활화 기법," 전자공학회 논문지-B, 제 29권, 제 1호, pp. 85-93, 1992년 1월.
- [10] R.-H. Park and P. Meer, "Multiresolution adaptive least squares smoothing of images," CAR-TR-513, Computer Vision Laboratory, Center for Automation Research, University of Maryland, College Park, Aug. 1991.
- [11] R.-H. Park and P. Meer, "Edge-preserving artifact-free smoothing with image pyramids," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 12, pp. 467-475, Aug. 1991.
- [12] 박 덕준, 박 래홍, "다해상도 에지 검출기법," 전자공학회 논문지-B, 제 28권, 제 12호, pp. 51-58, 1991년 12월.
- [13] 남 권문, 박 덕준, 박 래홍, "스펙클 영상에서의 다해상도 에지검출," 전자공학회 논문지-B, 제 29권, 제 10호, pp. 78-89, 1992년 10월.
- [14] J. J. Kim, D. Y. Kim, and A. Rosenfeld, "Mode-based cluster detection," CAR-TR-426, Computer Vision Laboratory, Center for Automation Research, University of Maryland, College Park, Feb. 1989.
- [15] W. K. Pratt, "Spatial transform coding of color images," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-19, pp. 980-992, Dec. 1971.

著者紹介

金泰均(準會員) 第29卷 B編 第1號 參照
현재 한국전자통신연구소 위성방송
시스템 연구실 근무

朴來弘(正會員) 第23卷 第6號 參照
현재 서강대학교 전자공학과 교수