

압축 비디오의 화질 향상을 위한 차분 영역에서의 정칙화된 영상 복원

김성진, 정시창, 황인경, 백준기

중앙대학교 첨단영상전문대학원 영상공학과 광병렬접속연구실

Regularized Image Restoration in the Differential Image Domain for Enhancing the Compressed Video

Sung-Jin Kim, Shi-Chang Joung, In-Kyung Hwang, and Joon-Ki Paik

Parallel Optical Connection Lab.

Department of Image Engineering

Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film

Chung-Ang University, 221 Huksuk-Dong, Tongjak-Ku, Seoul 156-756, Korea

trijin@ms.cau.ac.kr, jungs@ms.cau.ac.kr, ikhwang@ms.cau.ac.kr, paikj@cau.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 프레임간 압축 영상의 열화 과정의 모델과, 동영상에 존재하는 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안한다. BDCT기반으로 압축된 정지영상은 DCT계수를 양자화 하는 과정이 블록별로 처리되기 때문에, 블록 경계에 불연속이 발생한다. 동영상의 경우 블록 경계에서 불연속이 발생 할 뿐만 아니라 움직임 보상과정이 합쳐진 혼성 구조로 되어 있어서 블록 내부에서도 불연속이 존재하게 된다. 블록 영계만을 생각한 기존의 처리 방법은 동영상의 처리에 있어 적합하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 효율적인 블록화 현상 제거를 위해, 양방향 움직임 보상과 반화소 정밀도를 이용한 새로운 평활화 제약조건을 구성하고 차분 영역에서의 정규화 방법을 이용한 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

멀티미디어의 수요가 증가함에 따라서 많은 비디오 압축 관련 기술들이 개발되었고 몇몇 기술들은 국제적인 표준으로 채택되었다. 가장 널리 사용되는 영상 압축 기술은 Block Discrete Cosine Transform(BDCT)을 이용

하는데 그 이유는 높은 에너지 집약 특성 때문이다. 양자화 과정을 거치면서 에너지 집약 특성이 낮은 고주파의 데이터들의 제거로 압축이 된다. 그러나 BDCT를 이용한 압축 기술의 가장 큰 단점은 블록화 현상인데 양자화와 블록의 독립적인 처리로 인해서 블록의 경계에서 불연속이 발생하게 된다[1]. 또 H.263이나 Moving Picture Experts Group(MPEG)과 같은 동영상 압축에 있어서는 매크로 블록을 기준으로 하는 움직임 보상과 BDCT혼합 구조를 채택하고 있다. 이러한 혼합 구조는 블록 경계뿐만 아니라 블록 내부에서도 불연속을 발생시킨다.

그러나 종래의 블록화 현상 제거 기술들은 BDCT에 의해서 발생하는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상에 초점을 두어서 프레임간 압축에서의 움직임 추정이나 보상에 의해서 발생하는 블록 내부의 블록화 현상은 고려하지 않았다. 그러므로, 최적화된 결과는 제시할 수 없었다.

본 논문에서는 프레임간 압축된 영상의 블록화 현상 제거를 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 우선 재구성하기 전의 차분 영상을 직접 처리한다. 본 논문에서 제

본 연구는 과학 기술부 국가 지정 연구실 사업 지원에 의해서 수행되었습니다.

안하는 알고리즘은 두 번째 평활화 조건을 포함하는 개선된 정규화 방법을 이용한다. 고주파 통과 필터와 함께, 양방향 움직임 보상과 반화소 정렬도를 이용한 참고 영상을 만들어 새로운 평활화 제약조건으로 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 프레임간 압축된 영상의 블록화 현상에 대한 열화 모델을 제시한다. 3장에서는 동영상에서의 블록화 현상을 제거하기 위해 사용한 새로운 평활화 제약조건과 정규화된 영상 복원 알고리즘을 제시한다. 그리고 평활화 제약조건에 적용하는 참고 영상을 설명한다. 4장과 5장에서는 실험 결과와 결론을 도출한다.

2. 프레임간 압축된 영상에서의 열화 모델

열화 모델을 간단히 나타내기 위해서 $N \times N$ 의 영상 $x(m, n)$ 을 $B \times B$ 의 블록으로 하는 일차원 벡터 형태로 나타낸다[2].

$$X = \left[x_1^T \ x_2^T \ \dots \ x_{\frac{N}{B}}^T \right]^T \quad (1)$$

$k = (p-1) \cdot (N/B) + q$ 이고, x_k 는 (p, q) 번째 블록의 밝기값을 $B^2 \times 1$ 차원의 lexicographically ordered vector로 나타낼 수 있다.

일반적인 동영상 압축 시스템에서의 프레임간 부호화 과정을 나타내면 그림 1과 같다. 여기서 C 와 C^{-1} 은 순방향, 역방향 BDCT 변환 행렬을 나타내고 Q 와 D^{-1} 은 양자화와 역양자화 행렬을 나타낸다. 그리고 M/D 는 움직임 보상과 프레임 지연을 나타낸다[3].

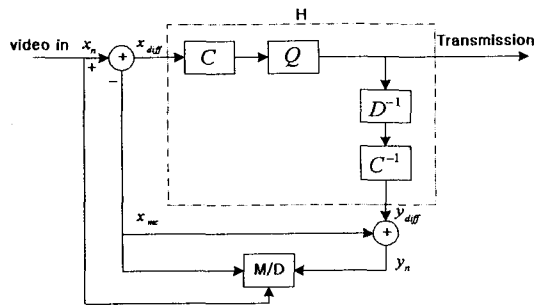


그림 1 프레임간 압축영상의 열화 모델

$H = C^{-1}D^{-1}QC$ 라고 하면, 그림 1을 행렬식으로 표현하

게 되면,

$$y_n = H(x_n - Py_{n-1}) + Py_{n-1}, (n=1, \dots, M) \quad (2)$$

여기서 M, y_n, x_n, y_{n-1} 그리고 P 는 각각 프레임간 압축된 영상의 개수, 블록화 현상을 가진 현재 재구성된 영상, 현재 원 영상, 이전에 재구성된 영상 그리고 움직임 보상 과정을 나타낸다. Py_{n-1} 은 이전 프레임과 움직임 보상된 영상을 나타내며, 간단히 x_{mc} 로 나타낸다. 영상통신 시스템의 수신부에서 x_{mc} 는 간단히 나타낼 수 있다. 수식 (2)를 간단히 나타내면,

$$y_{diff} = Hx_{diff}, \text{ 이고 } y = x_{mc} + y_{diff}, \quad (3)$$

여기서 y_{diff} 와 x_{diff} 는 압축 영상의 차분 영상과 원 영상의 차분 영상 $x - x_{mc}$ 를 나타낸다. 그림 2는 프레임간 압축된 영상의 열화모델의 블록도이다. 그림 2와 (3)에서 알 수 있듯이, 열화 과정은 차분 영상에서만 일어나게 되고, 재구성된 블록화 영상은 움직임 보상된 영상에 열화된 차분 영상을 더하여 얻어진다.

이전 프레임의 재구성된 영상에서 블록 경계에 불연속이 존재한다면, 이전 프레임의 재구성된 영상으로부터 움직임 보상된 영상 x_{mc} 은 블록 경계와 블록 내부 두 곳에서 불연속이 존재하게 된다. 블록의 크기를 8×8 로 한다고 가정하고, (i, j) 번째 블록을 포함하는 매크로 블록의 움직임 벡터를 (a, b) 라고 하면, 영상의 불연속은 (i, j) 번째 블록 내부의 a' 번째 행과 b' 번째 열에서 발생한다. 이것을 수식으로 표현하면,

$$a' = (8-a) \bmod 8, b' = (8-b) \bmod 8. \quad (4)$$

그리고, 인접하는 두 매크로 블록의 움직임 벡터가 일치하지 않는다면, 불연속은 매크로 블록 경계에서도 발생한다.

3. 개선된 정칙화 영상 복원

정지 영상에서의 열화 모델은

$$y = Hx \quad (5)$$

이고, 여기서 y, H 와 x 는 각각 블록화 된 영상, 열화 과정, 원 영상을 나타낸다. 제약적 최적화 접근을 근간으로 하는 영상 복원 과정은 다음의 목표함수(Objective

Function)를 최소화시키는 \hat{x} 를 찾는 것이다. 여기서 목표함수는

$$f(\hat{x}) = \|y - H\hat{x}\|^2 - \lambda \|A\hat{x}\|^2 \quad (6)$$

이고, 여기서 A 와 λ 는 각각 전처리 평활화 제약조건을 포함하기 위한 고주파 통과 필터와 원 영상의 효용과 복구된 영상의 평활화를 조절하는 매개 변수이다. 정칙화된 반복적 복원 방식은

$$x^k = x^{k-1} + \beta(y - (H + \lambda A^T A)x^{k-1}) \quad (7)$$

이고, 여기서 x^k 와 β 는 각각 k 번째 복원 결과와 수렴 속도를 조절하는 단위 길이를 나타낸다.

프레임간 압축된 영상에 있어서는, 2장에서 설명한 것에 따라서, 수식 (6)의 목표함수(Objective function)는

$$f(\hat{x}_{diff}) = \|y_{diff} - H\hat{x}_{diff}\|^2 + \lambda \|A\hat{x}_{diff}\|^2 \quad (8)$$

와 같이 표현된다. 여기서 \hat{x}_{diff} 는 k 번째 반복 단계에서의 복구된 차분 영상을 나타낸다. 다시 말해서 \hat{x} 대신에 복구된 차분 영상 \hat{x}_{diff} 를 찾기 위해 수식이 변한다. 수식 (8)에 제안하는 새로운 평활화 제약조건을 적용하면

$$f(\hat{x}_{diff}) = \|y_{diff} - H\hat{x}_{diff}\|^2 + \lambda_1 \|A(x_{mc} + \hat{x}_{diff})\|^2 + \lambda_2 \|(x_{mc} + \hat{x}_{diff}) - x_{ref}\|^2 \quad (9)$$

이다. 여기서 x_{ref} , λ_1 , λ_2 는 각각 참고 영상과 관련된 정규화 매개 변수이다. 수식 (9)를 반복적 복원 방식을 이용하면

$$x_{diff}^k = x_{diff}^{k-1} + \beta[y_{diff} - Hx_{diff}^{k-1} - \lambda_1 A^T A(x_{mc} + x_{diff}^{k-1}) - \lambda_2(x_{diff}^{k-1} + x_{mc} - x_{ref})] \quad (10)$$

이고, 마지막으로 각각의 반복단계에서 재구성된 영상은

$$x^k = x_{mc} + x_{diff}^* \quad (11)$$

이고 여기서 x_{diff}^* 는 수식 (10)을 통해 수렴된 해를 나타낸다.

첫 번째 평활화 제약조건은 '블록화 현상과 같은 고주파 요소들 감소시키는 역할을 한다. 그리고 두 번째 평활화 제약조건은 '열화된 영상을 바람직한 특성을 가지도록 하는 역할을 한다. 참고 영상은 우선 반화소 정밀도를 포함하는 양방향 움직임 보상된 영상을 만든다[4]. 그

리고 참고 영상의 블록 경계와 블록 내부의 블록화 현상을 제거하기 위해서 비선형 필터를 적용시키면

$$x_{ref} = F_2 F_1 x_b \quad (12)$$

여기서 x_b , F_1 , F_2 는 반화소 정밀도를 이용한 양방향 예측한 영상, 블록 경계의 블록화 현상을 제거하는 비선형 필터 그리고 블록 내부의 블록화 현상을 제거하는 비선형 필터이다.

비선형 필터는 다음과 같이 정의한다. 압축된 영상은 수식 (1)에서와 같이 열벡터 형태로 나타낼 수 있다.

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_N], \quad (13)$$

블록 경계에서의 블록화 현상은 $8k$ 번째와 $8k+1$ 번째 열에서 발생하기 때문에, 블록 경계의 블록화 현상을 제거하기 위한 비선형 필터 F_1 은

$$\begin{aligned} \hat{x}_i &= x_i - \frac{1}{2}(x_i - x_{i+1}) \\ \hat{x}_{i+1} &= x_{i+1} + \frac{1}{2}(x_i - x_{i+1}) \end{aligned} \quad (15)$$

으로 나타낼 수 있고, 여기서 \hat{x} 은 필터링 된 영상을 나타내고 $i = 8 \cdot k$ 을 나타낸다.

마찬가지 방법으로 블록 내부의 블록화 현상을 완화시키는 비선형 필터를 정의할 수 있다.

비슷한 방법으로, F_1 과 움직임 벡터를 이용하여 블록 내부의 블록화 현상도 제거할 수 있다. 더 자세하게 나타내기 위해서 블록 내부의 불연속을 제거하는 비선형 필터를 F_2 로 나타내고

$$\begin{aligned} \hat{x}_{i+a} &= x_{i+a} - \frac{1}{2}(x_{i+a} - x_{i+a+1}) \\ \hat{x}_{i+1+a} &= x_{i+1+a} + \frac{1}{2}(x_{i+a} - x_{i+a+1}) \end{aligned} \quad (16)$$

이다.

4 실험 결과

실험에 있어서, 양자화 레벨을 30으로 한 QCIF Suzie 영상을 사용하였고, 그림 2는 x 로 나타낸 원 영상에서의 두 번째 프레임이다. 그림 3은 y 로 나타낸 전체 영상을 프레임간 압축한 영상이다. 그림 3에서 블록 경계와 블록 내부의 불연속을 볼 수 있다. 그림 4는 제안된 알

고리듬에 의한 차분 영상의 복원 영상이고 그림 5는 이것을 이용한 복원된 영상이다. 그림 5를 통해서 블록화 현상이 제거된 것을 볼 수 있었고, PSNR은 약 0.58db 증가하였다.



그림 2 원 영상



그림 3 프레임간 압축 영상



그림 4 차분 영상의 복원 영상



그림 5 복원된 프레임간 압축된 영상

5 결론

본 논문에서는 압축된 영상의 화질을 개선하기 위한 새로운 정칙화 복원 알고리즘을 제안하였다. 반복적인

과정이 차분 영역에서 행해져서 좀 더 정확한 복원이 가능하다. 그리고 원하는 영상과 반화소 정밀도를 이용한 양방향 움직임 보상된 영상의 차분을 최소화 되도록 하는 새로운 정규화 제약 조건을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 압축된 영상에서 블록화 현상을 줄이고 그로 인해서 PSNR을 약 0.6 dB 향상시켰다.

참고 문헌

- [1] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images, *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, no. 7, pp. 896-908, July 1995.
- [2] T. K. Kim and J. K. Paik, Blocking artifacts reduction based on regularized iterative image restoration, *Proc. 1998 Int. Tech. Conf. Circuit, Systems, Computers, Communications*, vol. 1, pp. 55-58, July 1998.
- [3] S. C. Joung and J. K. Paik, Modified regularized image restoration for postprocessing inter-frame coded images, *Proc. 1999 Int. Conf. Image Processing*, vol. 3, pp. 474-478, October 1999.
- [4] C. J. Tsai, P. Karunaratne, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, A compressed video enhancement algorithm, *Proc. 1999 IEEE International Conference on Image Processing*, vo3. 4, pp. 454-458, October 1999.