

# 동영상 스트림의 블록화 현상 방지를 위한

## 정규화 영상복원 기법

황인경, 정시창, 김성진, 백준기  
중앙대학교 첨단영상전문대학원 영상공학과  
병렬광접속 연구실

# Reduce Blocking Artifacts of Video Stream Using Regularized Image Restoration

I. K. Hwang, S. C. Joung, S. J. Kim and J. K. Paik

Parallel Optical Connection Lab.

Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film

Chung-Ang University

paikj@chungang.edu

### 요약

본 논문에서는 인터 프레임(P-프레임) 압축으로 인해 발생하는 블록화 현상을 모델링 하고 기존에 정의된 제한요소를 효율적으로(reasonable) 축소하고 축소된 제한요소를 이용한 후처리를 통해 블록경계는 물론 블록 내부의 불연속을 효율적으로 제거하는 방법을 제안한다. 다음 프레임의 예측영상을 블록화가 제거된 영상에 사용함으로써 프레임간 영상 스트림에서도 주관적으로나 객관적으로나 현저하게 블록화가 제거된 영상을 얻을 수 있다. 제안된 알고리즘은 HDTV나 영상통신과 같은 영상 스트림의 후처리 과정에 적합하다.<sup>1)</sup>

### 1. 서론

지금까지의 영상압축에 있어 Block transform coding은 가장 많이 사용되어온 방법이다. 그 중에서도 Discrete Cosine Transform(DCT)는 높은 에너지 집중 효과 및 상대적인 구현상의 용이함 때문에 가장 많이 사용되어 왔고 Joint Photography Experts Group(JPEG)과 Moving Picture Experts Group(MPEG)등의 정지영상 압축표준 및 동영상 압축표준에 채택되었다. 그러나 BDCT는 블록화 현상이라는 단점을 가지고 있고 이는 이웃하는 블록간의 상관관계를 고려하지 않은 상태에서 각각의 블록을 독립적으로 처리함으로써 인해 블록의 경계면에서 불연속이 생긴다는 것이다.

대부분의 동영상 압축표준은 BDCT만으로 압축된 인터 프레임(I 프레임) 압축과 매크로 블록을 기준으로 한 움직임 예측과 움직임 보상을 사용한 인터 프레임(P 프레임) 압축을 혼합한 하이브리드 구조를 채택하고 있다. 이러한 이유로 인해 BDCT로 인해 발생하는 블록화 현상이 블록의 경계면 뿐만 아니라 블록의 내부에도 존재하게 된다. 움직임 예측과 보상으로 압축된 영상은 BDCT만으로 압축된 영상에 비해 데이터의 양을 현저하게 줄일수 있다는 장점에도 불구하고 움직임이 적은 영상 스트림에서조차 모든 프레임에 적용을 하지 못하는 이유가 블록내부의 블록화 현상으로 인한 원 영상과의 오차가 누적되어 현저한 화질 열화를 갖기 때문이다. 이로 인해 일정량의 인터 프레임 압축 후에는 인터 프레임으로의 압축을 필요로 하게 된다. 블록화 현상 제거를 위한 기존의 방법은 BDCT로 인해 발생하는 블록의 경계에서의 불연속을 처리하기 위한 방법이 대부분이며[7-9], 움직임 예측 및 움직임 보상이라는 과정을 통해 발생하는 블록 내부의 블록화 현상을 처리하기에는 적합하지 못하다. 또한 인터 프레임 압축된 영상의 블록화 현상을 제거하기 위한 방법도 한 장의 영상에 발생하는 열화를 없애는 데에 관심을 가지고 있으므로 영상 스트림의 블록화 현상의 처리에는 적합하지 못하다.

본 논문은 위에서 언급한 문제들을 해결하기 위해 열화된 영상에 제한요소를 이용한 반복적 방법을 사용하여 블록내부 및 블록경계에 발생하는 열화를 제거하고 또한 블록열화가 제거된 영상을 다음 영상의 움직임 보상에 사용함으로써 영상의 스트림에서 프레임이 증가하여

1) 본 연구는 교육부 두뇌한국21 사업과 과학기술부 국가지정연구실 사업 지원에 의해 수행되었습니다.

도 화질의 열화를 줄일 수 있는 방법에 대해 제안한다. 본 논문의 나머지 부분은 2장에서 P 프레임으로 압축된 영상의 블록화 현상을 모델링하고 3장에서 제약조건의 축소 및 축소된 제약조건을 이용한 제약적 최적화 접근 방법을 이용한 블록화 현상 제거 방법을 제안하며 4장과 5장에서 실험결과 및 결론을 맺는다.

## 2. P 프레임 압축영상의 열화 모델

본 논문에서는 열화 모델의 간단한 표현을 위해  $N \times N$  영상을 식 (1)과 같은 일차원 벡터로 표시한다.

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

여기서  $k = (p-1)(N/B) + q$  이며  $x_k$ 는  $(p, q)$ 차 블록에서 사전 순으로 배열된  $B^2$ 개의 요소 들을 나타낸다[1].

그림 1은 동영상에서 P 프레임의 압축과정을 나타낸다.

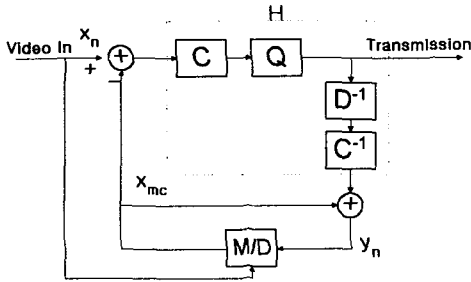


그림 1. P-프레임 압축의 블록도

$C$ 와  $C^{-1}$ 는 각각 블록기반 정방향 DCT와 역방향 DCT를 나타내고,  $Q$ 와  $D^{-1}$ 은 각각 양자화 과정과 역 양자화 과정을 나타내며,  $M/D$ 는 움직임 예측과 지연과정을 나타내며 양자화 과정은 나누기 연산과 반올림 연산의 연속으로 나타낼 수 있다[1,2].

$H = C^{-1}D^{-1}QC$ 라 하면,  $n$ 번째 P-프레임의 열화과정은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

for  $n=1, 2, \dots, M$

여기에서  $n$ ,  $y_n$ ,  $x_n$ ,  $y_{n-1}$  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. 식 (2)는 식 (3)과 같이 간략화 될 수 있다.

$$y_n = H(x_n - x_{mc}) + x_{mc} \quad (3)$$

재구성된 이전 프레임의 영상에서 블록 경계에만 불연속이 존재한다고 가정하면, 이전 프레임의 재구성된 영상으로부터 움직임 보상된 영상  $x_{mc}$ 은 블록 경계와 블록 내부 두 곳에서 불연속이 존재하게 된다. 블록의 크기를  $8 \times 8$ 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. 그리고, 인접하는 두 매크로 블록의 움직임 벡터가 일치하지 않는다면, 불연속은 매크로 블록 경계에서도 발생한다[3].

## 3. 제안된 영상복원 알고리즘

이 장에서는 앞장에서 기술한 열화 모델에 근거한 공간 적응적 영상 복원 알고리즘을 제안한다. 3.1절에서는 제안된 복원 알고리즘을 적용하기 위한 제약조건의 축소방법을 유도하고 3.2절에서는 유도된 식을 이용하여 복원하는 알고리즘을 제안한다.

### 3.1 효율적인 복원을 위한 제약조건의 축소방법

앞장에서 전술한 것과 같이 블록 경계 및 블록 내부의 블록화 현상을 없애기 위해서는 블록 경계의 블록화 현상을 없애기 위한 제약조건과 블록내부의 블록화 현상을 없애기 위한 제약조건 그리고 양자화 과정에서 발생하는 반올림 행렬로 인한 제약조건 등을 고려해야 한다. 일반적인 영상 복원 과정에서는 복원을 하기 위한 제약조건이 많으면 많을수록 더욱더 원래의 영상에 가까운 영상을 복원을 할 수 있다[4-5]. 하지만 효율적인 알고리즘을 통해 그 중의 일부 제약조건을 필요 없게 만든다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있게 된다.

식 (3)에서 보면 프레임간 압축으로 인해 발생하는 영상 스트림의 열화는 열화모델  $H = C^{-1}D^{-1}QC$ 를 통과한 열화와 더불어  $x_{mc}$ 에 누적된 열화로 인하여 발생하게 된다. 그 중에서도  $x_{mc}$ 에 누적된 열화는 영상의 스트림에서 프레임이 증가할수록 커져서 열화를 제거하기가 더욱 어렵게 되며  $x_{mc}$ 에서 발생하는 열화로 인해 블록내부의 불연속이 발생하게 된다. 따라서  $x_{mc}$ 에 누적된 열화를 제거하게 되면 프레임간 압축으로 인해 발생하는 열화를 최소화 할 수 있게 되고 블록 내부에 발생하는 블록화 현상을 없앨 수 있기 때문에 블록 내부의 블록화 현상을 제거하기 위한 제약조건은 더 이상 그 의미를 잃게 된다.

식 (2)를 사용하여 이를 전개하면 다음과 같으며,

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

⋮

$$y_2 = H(x_2 - Py_1) + Py_1 \quad (4)$$

$$y_1 = Hx_1 \quad (5)$$

식 (4)는 처음 인터 프레임 압축에 사용되는 식이 되며 식 (5)는 정지 영상의 압축이나 인트라 프레임 압축에 사용되는 형태의 식이 된다. 식 (2)에서 식 (5)로의 유도에서 볼 수 있듯이 모든 누적된 열화는 처음에 발생하는 열화를 제거함으로써 없앨 수 있다. 이와 같은 방법은 그림 2와 같은 귀환로를 만들어 줌으로 인해 가능하게 된다.

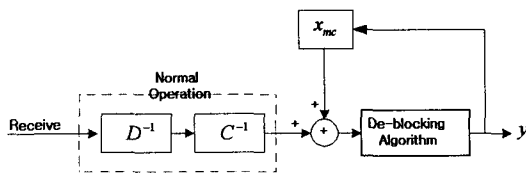


그림 2. 블록 내부 및 경계에 발생하는 블록화 현상을 제거하는 귀환로를 갖는 블록도

처음 프레임에서 열화모델  $H = C^{-1}D^{-1}QC$ 를 통과하여 블록 경계에 블록화 현상이 존재하는 영상이 들어왔을 때 블록화 현상을 없애는 알고리즘을 적용하여 블록화 현상을 제거한 후 블록화 현상이 제거된 영상을 다음 프레임의 움직임 보상 영상의 입력으로 넣어 주고 연속하여 들어오는 영상에서 열화모델을 통과하여 생기는 영상의 블록 경계에서의 블록화를 없애고 그 영상을 다음 영상의 움직임 보상 영상의 입력으로 넣어주는 과정을 반복하게 된다면  $x_{mc}$ 에 누적되는 열화 즉 블록 내부에 발생하는 블록화 현상을 없앨 수 있게 된다.

### 3.2 제안된 영상복원 알고리즘

3.1절에서 우리는 식 (5)를 얻을 수 있었다. 열화 과정이 선형공간 불변 혹은  $H$ 가 정수 요소를 가지는 블록 순환 구조라면 선형 최소 제곱 에러(LMMSE) 혹은 제한적 최소 제곱 에러(CLS)형 필터를 사용하여 쉽게 해를 구할 수 있다[3]. 만약 열화 과정이 선형 공간 변화 혹은  $H$ 가 상수 요소를 가졌지만 블록순환 구조가 아니라면 공간 적용 반복적 영상 복원 기법을 이용하여 충분한 수의 반복과정을 거치면 원 영상을 예측해 낼 수 있다[6]. 그러나 2장에서 설명한 바와 같이 BDCT에 근거한 압축 및 복구과정의 열화모델  $H$ 는 비선형, 공간 가변 연산자임을 알 수 있었다. 따라서 블록화 현상을 발생시키는 열화의 역 변환에 대한 절대적인 해는

없다. 이것이 반복적 형태의 영상 복원이나 최적화 방법이 고려되어야 하는 이유이다.

제한적 최적화 접근 방법에 근거한 일반적인 영상복원 과정은

$$\|A\hat{x}\|^2 \leq \epsilon^2, \quad (6)$$

을 조건으로

$$\|y - H\hat{x}\|^2 = 0, \quad (7)$$

을 만족하는  $\hat{x}$ 을 찾는 것이다.  $\hat{x}, y, H$  그리고  $A$ 는 각기 복원된 영상, 블록화를 가지고 있는 영상, 열화 연산자 그리고 고주파 통과 필터를 나타낸다.

블록 경계에서의 블록화 현상 방지를 위한 제약조건을  $C_1$ , 반올림으로 인해 발생하는 오차에 대한 제약조건을  $C_2$ 라고 하면 제약적 연산자  $C_H$ 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$C_H = C_2C_1 \quad (8)$$

공간 적응적 정규화 복원방법을 사용하여  $k$ 번째의 반복을 하게 되면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = C_H x \quad (9)$$

$$x^{k+1} = x^k + \beta(H^T y - (H^T H + \lambda A^T A)x^k) \quad (10)$$

정규화 부분,  $\lambda A^T A$ 는 저주파 통과 필터로 바꿀 수 있고 [2], 따라서 식 (10)은 식 (11)로 간략화 시킬 수 있다.

$$x^{k+1} = L\{x^k + \beta(H^T y - H^T Hx^k)\} \quad (11)$$

## 4. 실험 결과

이 실험에서 우리는 QCIF 포맷의 포맷 영상을 사용하였으며 영상 압축은 H.263을 사용하였고 양자화 값은 30을 사용하였다. 실험영상의 첫 번째 프레임은 인트라 프레임 압축을 하였으며 나머지는 모두 인터 프레임으로 압축을 하였다.

그림 3의 (a), (b)와 (c)는 각각 압축되지 않은 2번째 프레임(인터 프레임으로 압축될 첫 번째 프레임), 그것의 압축된 프레임과 복원된 영상을 나타낸다. 각각의 PSNR은 (b)가 27.07dB이며 (c)는 27.63dB이다.

그림 4의 (a), (b)와 (c)는 그림 3과 같은 순서로 20번째 프레임의 영상이며 (b)와 (c)의 PSNR은 각각 26.59dB와 27.11dB이다. 그림 5는 압축된 영상과 복원 영상의 PSNR 그래프를 보여주고 있으며 압축영상과 복원영상의 평균 PSNR은 약 26.84dB와 27.43dB로 대략 0.58dB가 향상되었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 DCT뿐만 아니라 매크로 블록 단위의 움직임 보상으로 인해 발생하는 블록화 현상을 모델

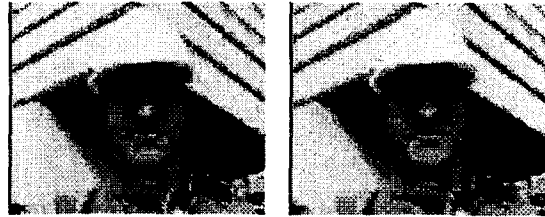
링하였고 이를 효율적으로 처리할 수 있는 복원방법을 제안하였다. 복원된 전 영상을 다음 영상의 움직임 보상에 사용함으로써 기존의 움직임 보상으로 인한 열화 제거 알고리즘 보다 효율적이고 간단하게 블록화 현상을 제거할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 HDTV나 영상통신 등과 같이 동영상을 전송하는 시스템의 후처리 과정에 적합하다.

## 6. 참고 문헌

- [1] T. K. Kim and J. K. Paik, Fast image restoration for reducing block artifacts based on adaptive constrained optimization, *J. Visual Comm., Image Representation*, vol. 9, no. 3, pp. 234-242, September 1998.
- [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. Jung, and J. K. Paik, "PostProcessing of Inter-Frame Coded Images Based on Convex Projection and Regularization," *Proc. SPIE Image, Video Comm, Proc.*, Vol. 3974, pp. 396-404, January 2000
- [4] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice Hall, 1977
- [5] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989
- [6] A. K. Katsaggelos, Iterative Image Restoration Algorithm, *Optical Engineering*, vol. 28, no. 7, pp. 735-748, July 1989.
- [7] 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.
- [8] H. Reeve and J. S. Lim, Reduction of blocking effects in image coding, *Optical Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 34-37, January 1984.
- [9] S. Minami and A. Zakhor, An optimization approach for removing blocking effects in transform coding, *IEEE Trans. Circuits, Syst., Video Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 74-82, April 1995.

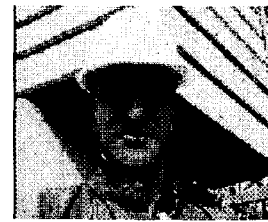


(a) 원 영상



(b) 압축 영상 (c) 복원 영상

그림 3. 실험영상의 2번째 프레임



(a) 원 영상



(b) 압축 영상 (c) 복원 영상

그림 4. 실험영상의 20번째 프레임

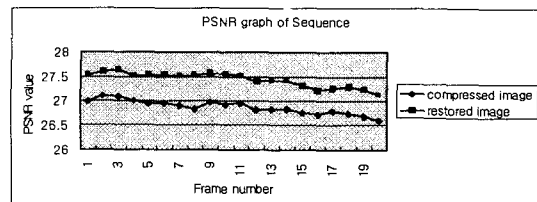


그림 5. 압축 영상과 복원 영상의 PSNR 그래프