

H.264 동영상 표준 부호화 방식의 블록화 현상 제거를 위한 적응적 후처리 기법

준회원 최 권 열*, 정회원 홍 민 철**

A Spatially Adaptive Post-processing Filter to Remove Blocking Artifacts of H.264 Video Coding Standard

Kwon Yul Choi* Associate Member, Min-Cheol Hong** Regular Member

요 약

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 블록화 현상 제거 및 화질 개선을 위한 적응적 후처리 기법에 대해 제안한다. H.264의 루프 필터는 부호화기 내부에 위치함에 따라 부호화 복잡도를 증가시키고, 블록화 현상을 완벽히 제거하지 못하며, 영상을 과도하게 열화 시킨다. 따라서 본 논문에서는 부호화기의 복잡도를 낮추는 동시에 고화질의 영상을 복원하기 위해 Constraint Least Squares(CLS) 기법과 투영 기법을 결합하였다. 또한 인간의 시각 시스템을 반영하기 위해 가중치 norm CLS 기법을 사용하였으며, 이를 위해 블록 경계와 블록 내부에 위치한 화소들의 위치에 따라 각기 다른 국부 분산과 라플라시안 연산자를 새롭게 정의하였다. 국부 화소들은 높은 상관관계를 갖는다는 특성을 이용하여 투영 기법을 위한 투영 집합을 정의하였다. 끝으로 H.264의 양자화 인덱스(QP)를 완화도 조절을 위해 공통적으로 사용하였다. 실험 결과를 통해 제안된 후처리 기법이 H.264의 루프 필터보다 블록화 현상을 효과적으로 제거하는 동시에 CLS 기법보다 빠르게 수렴함을 확인할 수 있었다.

Key Words : H.264, Loop Filter, Post-processing, Blocking Artifact

ABSTRACT

In this paper, we present a spatially adaptive post-processing algorithm for H.264 video coding standard to remove blocking artifacts. The loop filter of H.264 increases computational complexity of the encoder. Furthermore it doesn't clearly remove the blocking artifacts, resulting in over-blurring. For overcoming them, we combine the projection method with the Constraint Least Squares(CLS) method to restore the high quality image. To reflect the Human Visual System, we adopt the weight norm CLS method. Particularly pixel location-based local variance and laplacian operator are newly defined for the CLS method. In addition, the fact that correlation among adjoining pixels is high is utilized to constrain the solution space when the projection method is applied. Quantization Index(QP) of H.264 is also used to control the degree of smoothness. The simulation results show that the proposed post-processing filter works better than the loop filter of H.264 and converges more quickly than the CLS method.

* 본 연구는 서울시 산학협력 사업 (과제번호 10544) 지원 및 숭실대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* LG 이노텍 (kychoi@lginnotek.com), ** 숭실대학교 정보통신전자공학부 (mhong@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-03-128, 접수일자 : 2008년 3월 14일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 31일

I. 서 론

일반적인 디지털 정지 영상 및 동영상 정보는 정보량이 방대한 이유로 이들을 활용한 응용이 국한되었고, 이에 따라 영상 정보량을 줄이기 위해 다양한 부호화 방식 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 영상 부호화 방식은 ISO/IEC가 발표한 MPEG 계열의 부호화 방식과 ITU-T에 의해 개발된 H.26X 계열의 부호화 방식이 있다. 최근에는 두 단체의 연합 기구인 JVT(Joint Video Team)에 의해 H.264(MPEG4 Part10)이라는 새로운 형태의 동영상 표준 부호화 방식이 개발되었다.

H.264, MPEG4, JPEG과 같은 영상 부호화 방식의 개발로 통신 및 저장 대역폭 제한이 완화되었고, 이로 인해 영상 기반의 다양한 멀티미디어 서비스가 가능해졌다. 이미 국내에서도 이들을 이용한 화상 통화, HD 방송, DMB 방송 등이 상용화되었다. 이와 같은 대부분의 영상 부호화 방식들은 에너지 압축률(energy compaction)이 높으며, Karhunen-Loeve 변환 및 Fourier 변환과 비교해 추가 정보를 요구하지 않는 블록기반의 이산여현변환(Block-based Discrete Cosine Transform)을 사용한다^[1]. 그러나 압축률을 높이기 위한 핵심 요소인 DCT 도메인에서의 양자화 과정은 시작적으로 불편한 현상을 초래하는 블록화 현상을 초래하여 화질을 저하시킨다^[1,2]. 일반적으로 압축률이 높을수록 손실되는 DC 및 저주파 성분이 증가하여 블록화 현상은 더욱 심해진다.

블록화 현상을 제거하기 위해 부호화기내 처리 기법(loop filter), 후처리 기법(post-processing) 등의 접근 방식이 연구되어 왔다. 이중 후처리 기법은 복호화기에서만 복원된 영상을 처리해주는 기법으로써 여타 영상 부호화 방식의 분석 및 수정 없이 손쉽게 적용할 수 있는 큰 장점을 갖고 있다^[1,2].

가장 최근에 개발된 H.264 동영상 표준 부호화 방식은 화면내 예측 기법, 가변 블록 크기 움직임 예측, 4×4 정수 변환, 루프 필터 등의 새로운 기법을 도입하여 기존의 영상 부호화 방식보다 우수한 압축 효율을 자랑한다. 그러나 새로운 기법들로 인해 복잡도가 증가하여 상대적으로 막대한 연산량을 문제점으로 갖고 있다^[3]. 특히 루프 필터는 부호화기와 복호기 내부에 쌍으로 존재함으로써 부호화기의 연산량을 증가시킨다. 또한 H.264의 루프 필터는 임계값을 이용한 적응적 저주파필터로써 부정확한 임계값으로 인해 블록화 현상을 완벽히 제거

하지 못 하며, 영상을 과도하게 열화시켜 윤곽선 정보를 손상시킨다^[2].

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식에 적용된 루프 필터의 단점인 부호화기내 연산량 문제를 해결하고, 과도한 열화 현상 및 왜곡 현상을 보완하기 위한 복호화기에서의 후처리 기법에 대해 제안한다. 제안된 후처리 기법은 인간의 시각 시스템을 이용한 적응적 가중치 norm CLS 기법과 국부 화소들의 활동성을 이용한 투영 기법(projection)이 결합된 형태다. 실험을 통해 제안된 방식이 H.264의 루프 필터보다 윤곽선 정보를 보존하는 동시에 블록화 현상을 효과적으로 제거함을 확인할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 가중치 norm CLS 기법과 투영 기법이 결합된 일반적인 영상 복원 기법에 관해 설명하며, III장에서는 가중치 norm CLS 기법에 사용된 가중치 설정 방법 및 투영기법에 사용된 국부 움직임 정보를 추출하는 방법을 기술한다. 마지막으로 IV장 및 V장에서는 실험 결과 및 결론에 대해 기술한다.

II. 연구 배경

영상 부호화에 사용되는 양자화(quantization)는 일대다 대응이므로 블록화 현상 제거 또는 양자화로 인해 손실된 정보 복원은 불량 조건(ill-posed condition)을 포함하는 문제로 볼 수 있다. 따라서 영상 부호화로 인해 훼손된 영상의 화질을 개선하는 것도 넓게 영상 복원의 문제로 생각할 수 있으므로 정규화 반복 기법을 블록화 현상 제거를 위해 사용할 수 있다.

영상 부호화에 의해 훼손된 $M \times N$ 크기의 이차원 영상은 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y = x + n \quad (1)$$

식 (1)의 y , x 및 n 은 스택 순서로 정렬된 $MN \times 1$ 열벡터들로 각각 압축에 의해 열화되고 블록화 현상을 포함하는 훼손된 영상, 원영상 및 첨가된 양자화 노이즈를 나타낸다. 일반적으로 첨가 노이즈는 가우시안 노이즈라 가정하고 최소제곱(least squares) 접근 방식이 많이 사용된다.

대표적인 최소제곱 방식으로 CLS(constraint least squares) 방식이 있으며, 이 방식은 영상은 일반적으로 완전하다는 사전 정보를 제약 조건으로 사용한다. 이를 반영한 기본적인 CLS 정규화 복원 방식

은 식 (2)와 같이 정의되며^[4,5], 한 단계 발전된 가중치 norm CLS 정규화 복원방식은 식 (3)과 같이 정의된다^[5,6].

$$M(x) = \|y-x\|^2 + \alpha \|Cx\|^2 \quad (2)$$

$$M(x) = \|R(y-x)\|^2 + \alpha \|LCx\|^2 = \mathcal{J}(x)^2 + \alpha Q(x)^2 \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)의 우변 첫째 항들은 데이터에 대한 신뢰도를 나타내고, 둘째 항들은 원 영상에 대한 완화도를 나타낸다. α 는 상충되는 우변의 첫째항과 둘째항의 기여도를 제어하는 정규화 파라미터이고, C 는 2차원 라플라시안 연산자로서 일종의 고주파 통과 필터이다.

인간의 시각 시스템(Human Visual System)은 평탄한 영역과 복잡한 영역에 존재하는 같은 노이즈에 대해 각기 다르게 반응한다. 그러므로 각 영역의 노이즈를 적응적으로 처리하기 위해 $MN \times MN$ 크기의 대각 행렬 R 과 L 을 식 (3)에 추가하였다. 행렬 R 과 L 은 가중치 대각 행렬로써 대각 성분들은 0과 1사이의 가중치를 갖는다.

Steepest Descent 방식과 연속 근사 방식을 사용하여 식 (3)으로부터 식 (4)와 같은 정규화 반복기법의 해를 유도해 낼 수 있다^[5,6]. β 는 수렴 속도를 나타내는 변수로 $0 < \beta < \frac{2}{\|R^t R + \alpha C^t L^t LC\|}$ 조건을 만족해야만 한다.

$$x_{k+1} = x_k + \beta(R^t R y - (R^t R + \alpha C^t L^t LC)x_k) = Gx_k \quad (4)$$

CLS 기법을 이용해 유도된 해인 식 (4)는 식 (5)와 같이 특정 조건을 만족하는 집합으로 투영 (projection)시킬 수 있다. 특정 조건은 주어진 상황, 영상 및 목적에 따라 다양하게 설정될 수 있다. 연산자 P 는 이러한 특정 조건을 만족시키는 집합으로 투영시키는 연산자를 나타낸다^[7].

$$\hat{x}_k = Px_k \quad x_{k+1} = G\hat{x}_k = GPx_k \quad (5)$$

III. 블록화 현상 제거를 위한 적응적 후처리 기법

3.1 가중치 norm CLS 기법

참고 문헌 [5]는 가중치 행렬의 대각 원소들을 결정하기 위해 정방향 윈도우 내부 화소들에 대한 평

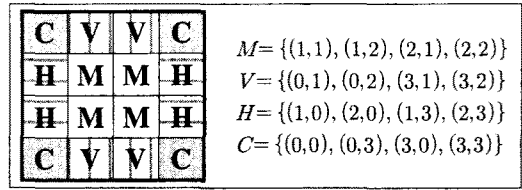


그림 1. 4×4 블록 내부 영역 분할

균과 분산을 이용하였으며, 분산 최대값을 모든 화소 처리과정에 반영하였다. 그러나 노이즈와 주어진 영상의 특성에 의해 분산 최대값은 변형될 수 있으므로 이 값을 영상의 모든 화소에 적용하는 것은 위험하다. 예를 들어 각종 노이즈나 블록화 현상에 의해 상대적으로 큰 분산 최대값이 선택되면 행렬 L 의 대부분의 원소들이 1에 가까운 가중치를 갖게 되어 영상 전체가 심하게 열화된다. 또한 양자화 크기가 커질수록 블록 경계에서의 분산은 블록화 현상에 의해 상대적으로 큰 값을 갖게 되므로 오히려 블록화 현상을 보존하게 된다.

이와 같은 이유로 국부 활동성 파악을 위해 변형된 분산 LA 를 제안한다. 국부 활동성을 파악하는 과정에서 블록화 현상에 의한 영향을 최소화하기 위해 블록 경계의 블록 내부의 국부 활동성을 각기 다른 방식으로 정의한다. 그림 1은 4×4 블록내의 화소들을 영역화한 것으로, V 는 상하 블록 경계 영역을, H 는 좌우 블록 경계영역을, C 는 모서리 블록 경계 영역을, M 은 블록 내부 영역을 나타낸다.

4×4 블록 기준으로 영역 M 의 LA 는 식 (6), 영역 H 의 LA 는 식 (7), 영역 V 의 LA 는 식 (8)과 같다. 또한 영역 C 의 LA 는 수평·수직방향 LA 의 평균으로 정의한다.

$$LA(i, j) = |x(i, j) - m(i, j)| + |x(i-1, j) - m(i, j)| + |x(i+1, j) - m(i, j)| + |x(i, j-1) - m(i, j)| + |x(i, j+1) - m(i, j)| \quad \text{for } (i, j) \in M \quad (6)$$

$$\text{where } m(i, j) = (4x(i, j) + 3x(i+1, j) + 3x(i-1, j) + 3x(i, j+1) + 3x(i, j-1))/2^4$$

$$LA(i, j) = \sum_{p=-2}^2 |x(i, j+p) - m(i, j)| \quad \text{for } (i, j) \in H \quad (7)$$

$$\text{where } m(i, j) = (4x(i, j) + 3x(i, j-2) + 3x(i, j-1) + 3x(i, j+1) + 3x(i, j+2))/2^4$$

$$LA(i, j) = \sum_{p=-2}^2 |x(i+p, j) - m(i, j)| \quad \text{for } (i, j) \in V \quad (8)$$

$$\text{where } m(i, j) = (4x(i, j) + 3x(i-2, j) + 3x(i-1, j) + 3x(i+1, j) + 3x(i+2, j))/2^4$$

식 (9)의 가중치 함수 $\omega(\cdot)$ 을 사용하여 최종적인 가중치 대각행렬 L 과 R 을 독립적으로 결정한다.

$$\omega(LA(i, j)) = \begin{cases} (M+90-LA(i, j))/2^8 & \text{if } LA(i, j) \leq 10 \\ (M+110-3LA(i, j))/2^8 & \text{if } 10 < LA(i, j) < 50 \\ (M+10-LA(i, j))/2^8 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

where $M = \begin{cases} 4 \times QP & \text{블록 내부 화소} \\ 5 \times QP & \text{블록경계 화소} \end{cases}$

$$L(m, m) = \begin{cases} 1 & \text{if } \omega(LA(i, j)) > 1 \\ 0 & \text{if } \omega(LA(i, j)) < 0 \\ \omega(LA(i, j)) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$R(m, m) = 1 - L(m, m)$$

where $0 \leq i \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1, m = i \times N + j$

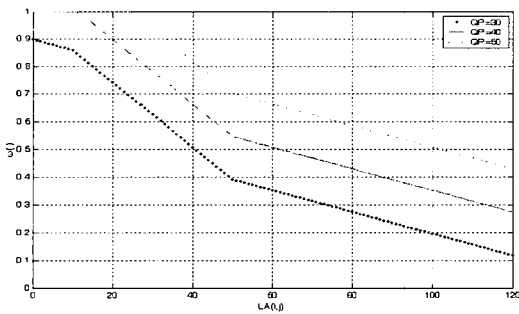


그림 2. 가중치 함수 $\omega(\cdot)$

0과 1 사이의 값을 갖는 가중치 함수 $\omega(LA(i, j))$ 는 구현의 편의와 연산량을 고려하여 1차 함수로 설계하였다. 특히 블록 경계에서의 블록화 현상을 효과적으로 제거하기 위해 매개변수 M 을 이용하여 블록 경계에 위치한 화소에 상대적으로 큰 가중치를 적용하였다. 또한 QP가 증가할수록 블록화 현상은 심해짐으로 이를 반영하기 위해 상대적으로 큰 QP에 대해서 큰 가중치를 적용하였다.

또한 국부활동성 방향에 대응하는 적응적 라플라시안 연산자 C 를 사용하였다. 국부활동성과 같은 방향의 고주파성분을 효과적으로 추출하여, 블록 경계에서 블록화 현상을 효율적으로 제거하기 위해 그림 3과 같이 4×4 블록 내부 위치에 따라 적응적으로 다른 라플라시안 연산자를 적용하였다. 제안된 라플라시안 연산자의 연산은 모두 쉬프트연산자로 구현 가능하도록 설계하였다.

$$\begin{bmatrix} 0 & -0.25 & 0 \\ -0.25 & 1 & -0.25 \\ 0 & -0.25 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -0.5 & 1 & -0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$(i, j) \in (CUM) \quad (i, j) \in V \quad (i, j) \in H$

그림 3. 4×4 블록 내 위치에 따른 라플라시안 연산자

지금까지 설명한 가중치 norm CLS 기법은 소수점 연산 및 나눗셈 연산으로 인해 많은 연산량을 초래한다. 따라서 연산량 절감을 위해 수식의 변형이 요구된다. 기본적으로 소수점 연산을 배제하고 나눗셈 연산자를 쉬프트 연산자로 대체함으로써 계산 복잡도를 낮출 수 있다. 이를 반영하여 식 (4), (9), (10)를 각각 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$x_{k+1} = \frac{x_k \times 2^{16} + \beta(R^t R y - (R^t R + \alpha C^t L^t L C)x_k)}{2^{16}} \quad (11)$$

$$\omega(LA(i, j)) = \begin{cases} M+110-LA(i, j) & \text{if } LA(i, j) \leq 10 \\ M+130-3LA(i, j) & \text{if } 10 < LA(i, j) < 50 \\ M+30-LA(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

where $M = \begin{cases} 4 \times QP & \text{블록 내부 화소} \\ 5 \times QP & \text{블록경계 화소} \end{cases}$

$$L(m, m) = \begin{cases} 256 & \text{if } \omega(LA(i, j)) > 1 \\ 0 & \text{if } \omega(LA(i, j)) < 0 \\ \omega(LA(i, j)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R(m, m) = 256 - L(m, m) \quad (13)$$

where

$0 \leq i \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1, m = i \times N + j$

3.2 투영 기법

가중치 norm CLS 기법은 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 첫째, 가중치 norm CLS 정규화 기법은 그림 3의 라플라시안 연산자에서 보는 것과 같이 거리=1인 상하좌우 화소만 고려한다. 이것은 일종의 3-tab 필터로써 블록화 현상을 제거하기에 부적합하다. 둘째, 블록 경계에서의 국부 활동성을 측정하기 어렵다. 즉 블록 경계에서 블록화 현상과 영상의 고유 테두리를 구별하기란 쉽지 않다. 셋째, 만약 가중치 norm CLS 기법을 이용하여 블록화 현상을 완벽히 제거한다 해도 많은 반복 횟수를 요구한다. 그러므로 이와 같은 단점들을 보완하여 적은 횟수의 반복으로도 블록화 현상을 완벽히 제거하기 위해 식 (5)와 같이 CLS 정규화 반복 기법해에 투영 기법을 적용하였다.

투영 기법을 적용하기 위해 먼저 투영 집합을 정의해야 한다. 투영 집합을 정의하기 위한 가정을 그림 4에 나타내었다. 일반적으로 국부 화소들간의 상관관계는 높다. 그러므로 블록 경계 화소들의 차는 블록 내부 화소들의 차와 높은 상관관계를 갖는다. 이와 같은 특성을 투영 집합을 정의하는데 사용한

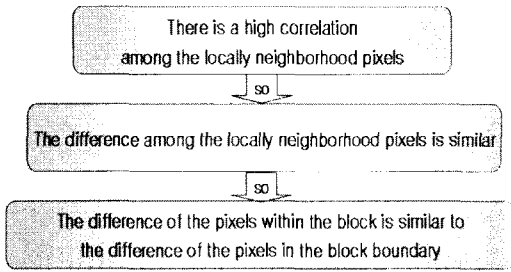


그림 4. 투영 집합 정의

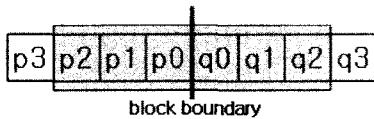


그림 5. 블록 경계 주변 화소들

다. 투영 집합의 제약 조건을 결정하기 위한 국부 정보로써 블록 경계 주변 화소들의 차이값 평균을 이용한다. 그림 5에서 블록 경계는 p0와 q0 사이이다. 블록 경계에 위치한 p0와 q0의 이웃 화소들의 차이값 평균 MPD, p0와 q0를 포함한 전체 이웃 화소 차이값 평균 MAD 그리고 블록 경계의 차이값 BD는 각각 식 (14), 식 (15), 식 (16)과 같다.

$$MPD = (3|p_2 - p_1| + 5|p_1 - p_0| + 5|q_0 - q_1| + 3|q_1 - q_2|) / 2^4 \quad (14)$$

$$MAD = (3|p_2 - p_1| + 3|p_1 - p_0| + 4|p_0 - q_0| + 3|q_0 - q_1| + 3|q_1 - q_2|) / 2^4 \quad (15)$$

$$BD = |p_0 - q_0| \quad (16)$$

블록 경계의 이웃 화소들간의 차가 크면 클수록 해당 영역은 활동성이 큰 영역이므로 블록 경계 차이값 BD가 존재할 수 있는 범위가 넓어진다. 반면 블록 경계의 이웃 화소들간의 차가 작으면 작을수록 해당 영역은 활동성이 작은 영역으로 블록 경계의 차이값이 존재할 수 있는 범위가 좁아지게 된다. 이러한 특성을 고려하여 식 (14), (15), (16)을 이용해 블록 경계 차이값 BD에 대한 투영 연산자 P를 다음과 같이 정의 한다.

$$P(BD) = \begin{cases} BD_BOUND & \text{if } BD > BD_BOUND \\ BD & \text{else} \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{where } \begin{cases} BD_BOUND = (1-\gamma) \times MAD + \gamma \times BD \\ \gamma = \frac{T \times MPD^2}{T \times MPD^2 + 1} \\ T = \begin{cases} (8/QP) \times 2 & \text{블록 내부 화소} \\ (8/QP) \times 1 & \text{블록 경계 화소} \end{cases} \end{cases}$$

일반적으로 QP가 클수록 블록화 현상은 심해지고, MPD가 작을수록 완만한 영역이므로 엄격한 한계(tighter bound)를 갖는다. 반대의 경우는 완만한 한계(looser bound)를 갖는다. P(BD)를 이용한 최종적인 투영해는 식 (18)과 같다. 블록 경계 화소들에 대해 먼저 투영 시킨 후, 블록 내부 화소들에 대해 투영시킨다.

$$\begin{aligned} & \text{if } (p_0 < q_0) \\ & P_f(p_0) = p_0 + P(BD), P_f(q_0) = q_0 - P(BD) \\ & \text{else} \\ & P_f(p_0) = p_0 - P(BD), P_f(q_0) = q_0 + P(BD) \end{aligned} \quad (18)$$

3.3 색차 신호 처리 기법

인간의 시각 시스템은 휘도 신호보다 상대적으로 색차 신호에 둔감하다. 그러므로 위에서 열거한 많은 연산량을 요구하는 반복 기법을 색차 신호에 적용하는 것은 비효율적이다. 따라서 색차 신호를 식 (17), (18)을 이용해 1회 투영시킴으로써 부최적화해(sub-optimal solution)를 구할 수 있다. 실험을 통해 투영 기법을 1회 적용시킴으로도 충분한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 방식의 객관적·주관적 성능을 평가하기 위해 다양한 영상과 양자화 크기에 대해서 실험하였다. 정규화 파라미터는 식 (19)와 같이 참고문헌 [4], [5]와 동일하게 설정하였다. 특히 $J(x)^2$ 를 QP_{step} 에서 유도함에 따라 원영상에 대한 정보 없이도 제안한 방식을 적용할 수 있는 큰 장점을 갖고 있다.

$$\alpha = \frac{J(x)^2}{Q(x)^2} = \frac{QP_{step}}{Q(x)^2 / (MN)} \quad (19)$$

또한 반복 기법을 종료하기 위한 조건은 식 (20)과 같다.

$$\frac{\|x_{k+1} - x_k\|_2^2}{\|x_k\|_2^2} < E \quad \text{or} \quad ERATION\ NUMBER > I$$

$$\text{where } E = \begin{cases} 5 \times 10^{-6} & \text{for proposed method} \\ 5 \times 10^{-7} & \text{for only CLS method} \end{cases} \quad (20)$$

$$IN = \begin{cases} 5 & \text{for proposed method} \\ 15 & \text{for only CLS method} \end{cases}$$

객관적인 성능 평가를 위하여 PSNR을 사용하였다. $M \times N$ 크기의 8bit 영상에 대한 PSNR은 식 (21)과 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MN \times 255^2}{\|x - \hat{x}\|^2} \right) \quad (21)$$

위 식에서 $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름(Euclidean Norm)을 나타내고, x 는 원영상을, \hat{x} 는 복원된 영상을 나타낸다. 표 1에 Hall_monitor sequence의 PSNR 결과와 평균 반복 횟수(AIN)을 제시하였다. 루프 필터는 부호화기에서 화질이 개선된 영상을 참조영상으로 이용하여 화면간 예측(inter prediction)을 하므로 상대적으로 작은 예측 에러(residual)값을 생성함에도 불구하고, 복호화기에서만 처리된 제안 방식이 H.264의 루프 필터보다 우수한 PSNR을 보임을 알 수 있다. 특히 QP가 클수록 제안한 방식으로 처리된 결과의 PSNR 성능이 더욱 우수함을 확인할 수 있다. 또한 제안된 방식은 CLS 기법만 적용한 결과보다 높은 PSNR을 보임을 확인할 수 있다. 특히 평균 반복 횟수(AIN)가 CLS 기법보다 적음에도 불구하고 높은 PSNR을 보임을 확인할 수

표 1. QCIF Hall_monitor의 AIN & PSNR(dB)

QP	filter type	AIN	SNRY	SNRU	SNRV
QP31	no filter	-	34.96	38.21	40.46
	loop filter	-	35.34	38.66	40.73
	Hong's CLS	6	35.10	38.7.1	40.76
	only CLS	4	35.16	38.77	40.77
	proposed filter	3	35.44	38.77	40.77
QP36	nofilter	-	31.21	36.58	39.20
	loop filter	-	31.60	36.94	39.45
	Hong's CLS	8	31.54	36.91	39.47
	only CLS	6	31.56	37.06	39.47
	proposed filter	3	31.77	37.06	39.47
QP41	nofilter	-	27.64	36.01	38.69
	loop filter	-	28.06	36.42	38.88
	Hong's CLS	11	28.10	36.40	38.88
	only CLS	10	28.06	36.51	38.93
	proposed filter	5	28.25	36.51	38.93
QP46	nofilter	-	24.22	35.21	37.42
	loop filter	-	24.58	35.50	37.52
	Hong's CLS	15	24.61	35.51	37.50
	only CLS	15	24.71	35.59	37.56
	proposed filter	5	24.84	35.59	37.56

표 2. 각 방식들의 CPU 소요 시간 비교(단위 : ms)

filter type	H.264 loop filter	Hong's CLS	only CLS	proposed filter
CPU 소요 시간	7	45	33	60

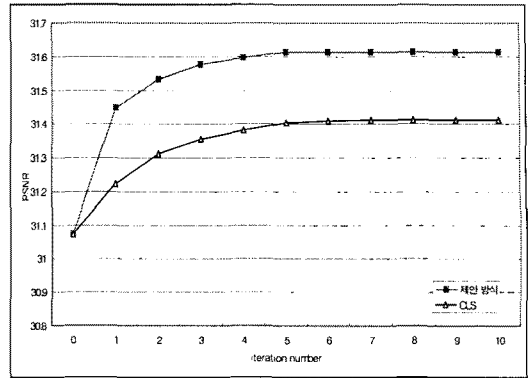


그림 6. QCIF Hall_monitor(QP36) 92번째 영상의 수렴 속도

있다. 즉 CLS 기법보다 루프기법이 결합된 제안 방식이 빠른 수렴 속도를 나타낸다. 그림 6은 이들의 수렴 속도를 나타낸다.

주관적 화질 평가를 위해 실험 결과 영상을 그림 7, 8에 제시하였다. Hall_monitor의 실험 결과에서 보는 것처럼 제안된 방식은 임펄스 노이즈와 링 현상을 깨끗하게 제거하였으며, H.264의 루프 필터가 제거하지 못 한 블록화 현상도 제거하였다.

각각의 방식들의 연산량을 비교하기 위해 연산을 수행하는데 걸리는 시간을 조사하였다. 표 2에 동일

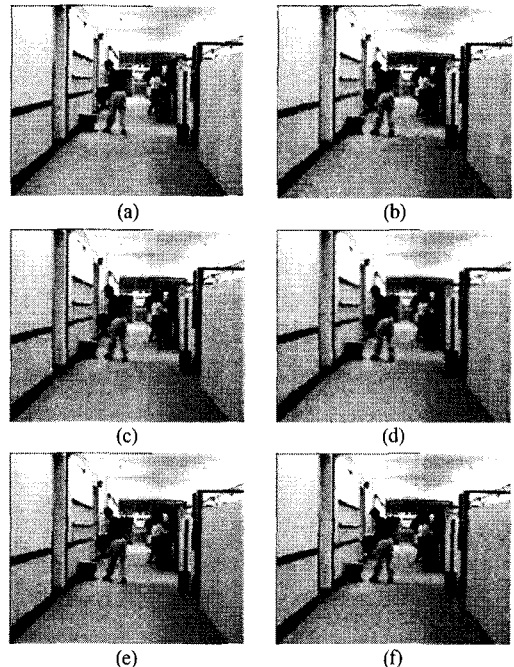


그림 7. (a) QCIF Hall_monitor 92번째 원영상, (b) QCIF Hall_monitor(QP36) 92번째 부호화 영상, (c) 제안된 CLS 처리된 영상, (d) Hong의 CLS 처리된 영상, (e) H.264 루프 필터 처리된 영상, (f) 제안 방식 처리된 영상

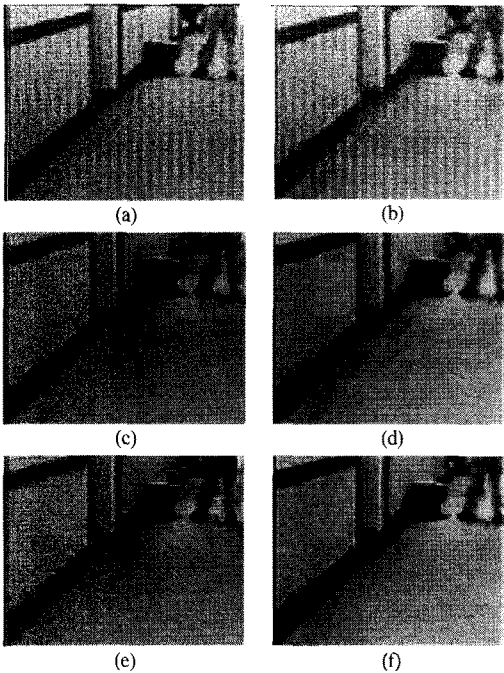


그림 8. (a) QCIF Hall_monitor 92번째 원영상의 좌측하단 2배 확대 영상, (b) QCIF Hall_monitor(QP36) 92번째 부호화 영상의 좌측하단 2배 확대 영상, (c) 제안된 CLS 처리된 영상의 좌측하단 2배 확대 영상, (d) Hong의 CLS 처리된 영상의 좌측하단 2배 확대 영상, (e) H.264 루프 필터 처리된 영상의 좌측하단 2배 확대 영상 (f) 제안 방식 처리된 영상의 좌측하단 2배 확대 영상

한 실험환경에서 각 방식들의 CPU 소요 시간을 나타내었다. 제안한 방식을 포함한 CLS 기반의 방식들은 반복 기법을 사용하므로 1회 반복 소요 시간을 측정하였다.

적응적 저주파통과 필터인 H.264의 루프 필터가 가장 적은 소요 시간을 필요로 하고, 제안한 방식이 가장 많은 소요 시간을 요구한다. 하지만 제안한 방식은 기존의 CLS 기반의 방식들보다 반복 횟수가 적음으로 CLS 기반의 방식들이 결과적으로 더 많은 연산량을 요구하게 된다.

또한 H.264의 루프 필터는 부호화기와 복호화기에서 각각 실행되므로 실질적인 실행 횟수는 2회이다. 특히 실시간 부호화를 고려할 때, 동일한 소요 시간이라 하더라도 복호화기에서의 소요 시간보다 부호화기에서의 소요 시간이 상대적으로 더 큰 저해 요인으로 작용한다. 그러므로 H.264의 루프 필터보다는 상대적으로 많은 연산량을 요구하지만, 영상의 화질 향상 정도와 부호화기에서 실행되지 않고 복호화기에서만 실행되는 것을 고려한다면 충분히 사용 가능하다고 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 블록화 현상 제거를 위한 후처리 기법을 제안하였다. 빠르게 수렴하는 동시에 고화질의 영상을 얻기 위해 영상 복원에서 사용되는 적응적 가중치 norm CLS 정규화 기법과 투영 기법(projection)을 결합하였다. 가중치 norm CLS 정규화 기법은 인간의 시각 체계를 반영한 것으로 블록 경계와 내부 각기 다른 방식으로 국부 활성성을 정의하였다. 투영 기법의 투영 집합을 정의하기 위해 국부 화소간의 상관관계가 높다는 특성을 이용하였으며, 화소간의 상관관계를 나타내기 위한 국부 활성성 정보로써 블록 경계 주변 화소들 간의 차이값을 활용하였다.

CLS 기법과 투영 기법을 결합시킴으로써 블록화 현상을 매우 정교하게 제거할 수 있었으며, 동시에 빠르게 수렴함을 확인할 수 있었다. 제안한 방식은 후처리 특성 때문에 여타 DCT 기반의 부호화 방식에 쉽게 적용될 것으로 기대된다. 특히 상대적으로 많은 연산량으로 인해 실시간 응용보다는 감시용 DVR(Digital Video Recorder)과 같이 정확한 판단을 위해 고화질의 영상을 요구하는 응용 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] M.-Y. Shen and C.-C. J. Kuo, "Review of postprocessing techniques for compression artifact removal," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 9(1), Mar. 1998, pp.2-14.
- [2] Z. Li, E.J. Delp, "Blocking Artifact Reduction Using a Transform-Domain Markov Random Field Model," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.15, No.12, Dec. 2005, pp.1583-1593.
- [3] ITU-T SG16/Q6, JVT-G050r1 Draft ITU-T Recommendation on Final Draft International Standard of Joint Video Specification, May 2003.
- [4] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifact of block discrete cosine transform compressed images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.3, No.6,

Dec. 1993, pp.421-432.

- [5] S-W Hong, Y-H Chan, W-C Siu, "an adaptive constrained least square approach for removing blocking artifact," IEEE ISCAS 95, Vol.2, May 1995, pp.773-776.
- [6] A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Restoration Algorithm," Optical Engineering, Vol.28, No.7, Jul. 1989, pp.735-748.
- [7] M-C Hong, H-T Cha, H-S Hahn, "A Spatially Adaptive Gradient-Projection Image Restoration," IEICE Trans. Information and Syst., Vol.E85-D, No.5, May. 2002, pp.910-913.
- [8] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images," IEEE Trans. Circuits Syst., Vol.3, No.6, Dec. 1993, pp.421-432.

최 권 열 (Kwon Yul Choi)

준회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부(학사)
2008년 2월 숭실대학교 정보통신
공학과(석사)
2008년 1월~현재 LG노택연구원
<관심분야> 영상 복원 및 en-
hancement, 정지 및 동영상 필
터링, 영상 부호화

홍 민 철 (Min-Cheol Hong)

정회원



1988년 2월 연세대학교 전자공
학과 졸업 (학사)
1990년 8월 연세대학교 전자공
학과 졸업 (석사)
1990년 7월~1991년 8월 LG 정
보통신 연구원
1997년 9월 Northwestern
University, 전기및컴퓨터공학과 졸업 (박사)
1997년 9월~1998년 8월 Northwestern University,
Research Fellow
1998년 9월~2000년 2월 LG 전자, 선임연구원
2000년 3월~현재 숭실대학교, 부교수
<관심분야> 영상 복원 및 enhancement, 정지 및 동영
상 필터링, 동영상 부호화, 비선형 필터링, Image
Deconvolution, Rate Control