

저 비트율 비디오를 위한 효과적인 후처리 기법 및 성능 평가

전 기 철, 김 중 호, 정 제 창
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
hobohemia@ece.hanyang.ac.kr

Efficient postprocessing method for low bit-rate video and its performance evaluation

Kicheol Jeon, Jongho Kim, Jechang Jeong
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 인터넷 스트리밍 및 모바일 응용 등에서 요구되는 저 비트율 비디오를 위한 효과적인 후처리 기법을 제안한다. 블록기반 압축영상의 특성상 낮은 비트율에서는 블록킹 현상과 같은 화질열화가 불가피하다. 이러한 블록기반 압축영상의 블록킹 현상에 대하여 본 논문에서 제안한 디블록킹 기법은 블록 경계 주변의 특성에 따라 필터링 모드를 달리 적용하여 효율적으로 블록킹 현상을 제거함으로써 주관적, 객관적 화질을 향상시킨다. 제안한 알고리즘에서는 모드 선택의 정확성을 높이기 위하여 저역통과필터를 이용한 간단한 전처리 과정을 거치도록 하고, 또한 영상의 실제 에지와 블록킹 현상을 구분하기 위하여 3가지 모드를 도입하며, 이를 통해 필터링에 의한 실제 에지 부분의 화질열화를 방지하도록 한다. 마지막으로 corner outlier와 같은 특수한 artifact의 제거를 위해 별도의 모드를 추가한다. 실험에서는 MPEG-4로 복호된 영상에 대하여 제안한 필터를 적용하고, 최근 표준화가 완료된 H.264의 루프필터 및 최근 발표된 저 비트율 비디오에 대한 후처리 기법과의 비교실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 평가한다.

I. 서론

최근 많은 양의 멀티미디어 데이터가 다양한 망을 통하여 서비스되면서 동영상 데이터의 처리가 매우 중요하게 되었다. 또한 인터넷 스트리밍 및 모바일 멀티미디어 서비스와 같이 저 비트율, 저 복잡도를 요구하는 응용에 대한 사용자의 요구도 급속히 늘어나고 있다. 이러한 서비스에 사용되는 대부분의 동영상 부호화 표준(MPEG, H.26x 계열)은 블록기반의 변환 및 움직임 보상에 의한 하이브리드 부호화 구조를 가지고 있다. 따라서 저 비트율 부호화를 위해 큰 폭의 양자화를 수행할 경우에 변환의 단위인 각 블록들 사이에 경계가 뚜렷하게 드러나는 블록킹 현상이 발생하게 된다. 대용량의 비디오 데이터를 고품질을 유지하면서도 소량의 데이터로 부호화하려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있지만 여전히 한계가 있고, 결국은 큰 폭의 양자화를 수행하여 비트율을 줄이는 방법이 필수적이다. 그러므로 블록킹 현상의 효과적인 제거는 저 비트율 비디오 처리에 있어서 화질 열화를 보상하기 위한 매우 중요한 부분이라고 할 수 있다.

이러한 블록킹 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 여러 가지 후처리 기법들이 제안되어 왔다. 대표적인 방법으로 블록킹 현상 제거 성능이 뛰어난 MPEG-4 비디오 부호화 표준의 후처리 기법[1]과 Tai et al.이 제안한 저 비트율 MPEG-4 비디오를 위한 후처리 방법[2]이 있으며, 최신의 비디오 부호화 표준인 H.264의

경우 블록킹 현상을 제거하기 위하여 부호화 단계에서 루프필터를 사용한다[3].

본 논문에서 제안하는 후처리 기법은 블록킹 현상을 효율적으로 제거함과 동시에 원 영상에 존재하는 에지 또는 디테일을 최대한 보존한다. 알려진 바와 같이 인간의 시각 특성은 평탄한 영역에서의 블록킹 현상을 복잡한 영역에서의 블록킹 현상보다 더욱 두드러지게 받아들인다. 이러한 인간의 시각 특성을 감안하여 본 논문에서는, 복잡한 영역에서는 blurring 현상을 방지하기 위해 두 블록의 경계를 중심으로 최소한의 픽셀만을 보정한다. 반면에 평탄한 영역에서는 강한 필터를 적용하여 디블록킹 효과를 극대화한다. 이 때 블록 경계를 중심으로 평탄한 정도가 다를 경우에는 적용하는 필터의 강도를 달리하여 적용한다. 화면간 예측 프레임(inter frame)의 경우에는 움직임 보상과정에 의해 전 화면의 블록킹 현상이 다음 화면의 블록 내부에 위치할 수 있으므로, 이를 제거하기 위해 영상의 평탄한 정도에 따라 블록 내부에 까지 필터링을 수행토록 한다.

본 논문에서는 이와 같은 방법을 통하여 저 비트율 비디오에서 성능이 좋은 MPEG-4 디블록킹 필터의 성능을 개선하고 더불어 최근 각광받고 있는 H.264의 루프필터와 또 다른 후처리 기법을 구현하여 성능을 비교한다.

※ 본 논문은 정보통신부의 출연금으로 수행한 IT SoC 핵심설계인력양성사업의 수행결과입니다.

II. 제안하는 후처리 기법

본 논문에서 제안하는 후처리 기법은 4개의 모드로 구성되며, 필터링 과정에 앞서 전처리 과정을 포함한다.

(1) 전처리 과정

디블록킹 필터를 적용하기 전에 정확한 블록킹 모드를 구분하기 위하여 블록 내부의 불필요한 신호(i.e. ringing effect)를 제거하기 위하여 사용한다. 이를 위해 경계확장을 하여 얻어진 10×10 블록에서 세로방향의 고주파 성분의 양을 나타내는 D_1 과 가로방향의 고주파 성분의 양을 나타내는 D_2 를 다음과 같이 정의한다.

$$D_1 = \sum_{i=0}^8 \sum_{j=0}^8 \psi(x_{10i+j+1} - x_{10i+j})$$

$$D_2 = \sum_{i=0}^8 \sum_{j=0}^8 \psi(x_{10j+i+1} - x_{10j+i})$$

$$\text{where } \psi(\Delta) = \begin{cases} 1, & \text{if } |\Delta| \geq 2QP \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 QP는 양자화 파라미터(Quantization Parameter)이고, $D_1 + D_2 > 0$ 이면 그 블록에 링잉 현상 혹은 영상의 에지 등에 의한 세밀한 부분이 존재하는 것으로 판단한다. 원 영상에 존재하는 에지는 보존하고 링잉 현상에 의한 고주파 성분을 없애야 하므로 조건 $D_1 + D_2 > 0$ 과 함께 식 (2)의 조건에 의해서 필터링할 화소를 결정한다.

$$\begin{cases} |x_{i+1,j} - x_{i+1,j+1}| \leq QP \ \&\& \\ |x_{i+1,j+1} - x_{i+1,j+2}| \leq QP, & \text{for } 0 \leq i, j < 8 \end{cases} \quad (2)$$

조건 $D_1 + D_2 > 0$ 과 식 (2)의 조건을 만족하는 화소에 대하여 식 (3)과 같이 지역통과 필터링을 수행하고 그 결과로 8×8 블록의 각 화소 $v_{i,j}$ 를 얻는다.

$$v_{i,j} = \frac{1}{4}(x_{i+1,j} + 2x_{i+1,j+1} + x_{i+1,j+2}), \quad \text{for } 0 \leq i, j < 8 \quad (3)$$

(2) 모드 판별

전처리 과정에 의해 얻어진 8×8 블록에 대해 각 필터링 모드를 구분하기 위해 식 (4)를 정의한다.

$$F(P_k) = \sum_{i=0}^3 \Omega(v_{i+4k} - v_{i+4k+1})$$

$$\text{where, } \Omega(\Delta) = \begin{cases} 1, & |\Delta| \leq T_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)에서 k 는 그림 1에서 정의한 각 화소 영역의 인덱스이고, T_1 는 픽셀 사이의 평탄한 정도를 나타내기 위한 문턱값이다. 식 (4)에 의해 얻어진 $F(P_k) > T_2$ 이면 그 영역은 평탄한 영역으로 판단한다. 블록경계를 중심으로 양쪽 모두 평탄하지 않을 경우 MPEG-4에서 사용되고 있는 DCT 계수를 이용한 블록 경계의 화소값을 보정하는 방법을 사용한다. 또한 P_1 과 P_2 의 최소값과 최대값의 차이인 $diff$ 값을 정의하여 $diff < 2QP$ 이면

블록 경계에서 발생한 블록킹 현상으로 판단하여 필터링을 수행하고, 그렇지 않으면 영상의 실제 에지로 판단하여 필터링을 수행하지 않는다.

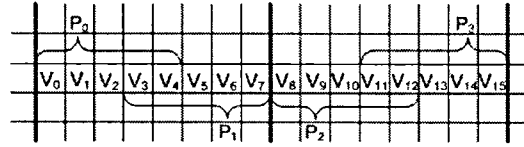


그림 1. 디블록킹 필터링을 위한 경계확장의 정의
(Index P_0, P_1, P_2, P_3 는 세로방향에 대해서도 동일)

(3) 모드 1

모드 1은 P_1 과 P_2 가 모두 평탄하고 블록 경계에서 블록킹 현상이 발생하는 영역에 대해서 적용된다. 특히 블록킹 현상이 평탄한 부분에 발생하므로 인간의 시각에 매우 두드러지게 보이는 부분이다. 경계에서 발생한 블록킹 현상은 실제 영상에는 없었던 신호이므로 식 (5)와 같은 9-tap 지역통과필터를 이용하여 제거한다. 탭 수가 긴 강한 필터이므로 모드구분이 정확하지 않으면 실제 영상의 중요한 부분이 손상되어 blurring 현상이 발생한다.

$$v'_n = \frac{1}{16} \sum_{k=0}^8 b_k \cdot A_{n+k-4}, \quad 4 \leq n \leq 11$$

$$\{b_k; 0 \leq k \leq 8\} = \{1, 1, 2, 2, 4, 2, 2, 1, 1\} \quad (5)$$

식 (5)에서 A_n 은 필터링의 대상이 되는 화소를 나타내고 표 1과 같이 P_0 와 P_3 의 평탄한 정도에 따라 구분하여 적용한다. 즉, 필터의 대상이 되는 화소영역 P_1 및 P_2 에 대해서 영역이 속해있는 블록이 평탄하다면 원화소를 그대로 사용하고 평탄하지 않다면 가장 바깥쪽의 화소를 사용하여 필터링을 수행한다.

표 1. 모드 1에서의 필터링 대상화소의 결정

Condition		n		A_n
P_0	P_3	from	to	
flat	flat	0	15	v_n
complex	flat	0	11	v_n
		12	15	v_{11}
flat	complex	0	3	v_4
		4	15	v_n
complex	complex	0	3	v_4
		4	11	v_n
		12	15	v_{11}

(4) 모드 2

기존의 MPEG-4에서 적용하고 있는 블록킹 현상 제거방법은 블록의 경계를 중심으로 대칭적으로 적용하고 있다. 그러나 실제 블록킹 현상은 블록을 경계로 비대칭적으로 발생하는 경우가 많아 이를 고려한 필터링 모드를 추가한다. 즉, 모드 2는 P_1 혹은 P_2 중 한 영역이 평탄한 경우에 적용하며 복잡한 부분으로 판단된 부분은 실제 영상의 고주파 성분으로 판단하여 평탄한 부분에 대해서만 식 (6)의 지역통과필터를 적용한다.

$$v'_n = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^2 b_k \cdot A_{n+k-1} \quad (6)$$

$$\{b_k: 0 \leq k \leq 2\} = \{1, 2, 1\}$$

식 (6)에서 필터링하려는 화소의 범위를 나타내는 인덱스 n 은 그림 1에서 P_1 이 평탄한 영역이고 P_2 가 복잡한 영역이면 $4 \leq n \leq 8$ 의 범위를 가지고, P_1 이 복잡한 영역이고 P_2 가 평탄한 영역이면 $7 \leq n \leq 11$ 의 범위를 갖는다.

(5) 모드 3

P_1 과 P_2 가 모두 복잡한 영역으로 판단될 경우 적용하는 모드로, MPEG-4의 *Default mode*와 동일하다. 블록 경계를 중심으로 두 영역 모두 실제 영상에 존재하는 고주파 성분으로 판단하여 식 (7)에 의해서 블록 경계상의 두 픽셀 v_7, v_8 만을 보정한다.

$$\begin{aligned} v'_7 &= v_7 - d \\ v'_8 &= v_8 + d \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서 보정정도를 나타내는 d 값은 식 (8)에 의해서 구한다.

$$d = \text{CLIP} \left(\frac{c_2}{c_3} \cdot (a'_{3,1} - a_{3,1}), 0, \frac{(v_7 - v_8)}{2} \right) \quad (8)$$

식 (8)에서 $\text{CLIP}(x, p, q)$ 는 x 가 p 와 q 사이의 값을 갖도록 하는 함수이다. d 는 블록 경계에서의 주파수 성분에 의해 결정되는 값으로, 먼저 그림 1에서 화소영역 $\{v_6, v_7, v_8, v_9\}$ 에 대한 주파수 성분 $a_{0,1}, a_{1,1}, a_{2,1}$ 및 $a_{3,1}$ 을 식 (9)와 같이 정의한다.

$$\begin{bmatrix} a_{0,1} \\ a_{1,1} \\ a_{2,1} \\ a_{3,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_0 & k_0 & k_0 & k_0 \\ k_1 & k_3 & -k_3 & -k_1 \\ k_2 & -k_2 & -k_2 & k_2 \\ k_3 & -k_1 & k_1 & -k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_6 \\ v_7 \\ v_8 \\ v_9 \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기에서 k_2 는 4-point DCT 커널이고, 블록킹 현상에 가장 많이 연관된 성분은 가장 고주파 성분인 $a_{3,1}$ 로 이 성분을 보정하면 블록킹 현상을 효과적으로 제거할 수 있다. 이는 식 (10)에 의해서 보정한다.

$$d_{3,1} = \begin{cases} a_{3,1} \cdot \frac{\min(|a_{3,0}|, |a_{3,1}|, |a_{3,2}|)}{|a_{3,1}|}, & |a_{3,1}| \neq 0 \\ 0, & |a_{3,1}| = 0 \end{cases} \quad (10)$$

식 (9)에서 $a_{3,1}$ 를 정의한 바와 같이 식 (10)에서 $a_{3,0}$ 은 화소 영역 $\{v_4, v_5, v_6, v_7\}$ 의 고주파 성분이고, $a_{3,2}$ 는 화소 영역 $\{v_8, v_9, v_{10}, v_{11}\}$ 의 고주파 성분이다. MPEG-4에서는 각 화소 영역의 고주파 성분 $a_{3,k}$ 을 구하기 위하여 DCT 커널에 관계된 상수 c_1, c_2 및 c_3 를 정의하여 식 (8) 및 식 (11)과 같이 적용한다.

$$a_{3,k} = \frac{c_1 \cdot v_{2k+4} - c_2 \cdot v_{2k+5} + c_2 \cdot v_{2k+6} - c_1 \cdot v_{2k+7}}{c_3}, \quad 0 \leq k \leq 2 \quad (11)$$

본 논문에서 적용한 상수 c_i 는 III에서 기술한다.

(6) 모드 4

위에서 언급한 방법으로 블록킹 현상을 제거해도 블록의 모서리 부분에 영상의 대각선 에지가 위치하는 경우에 블록킹 현상이 두드러지게 남아있게 된다. 모드 4는 이러한 경우를 위해 2차원 윈도우를 이용한 필터를 적용한다. 이는 변형된 미디언 필터 (median filter)의 특성을 이용하여 필터링하는 방법으로 미디언 필터에 선형 필터의 개념을 도입하여 필터를 설계하였다. 우선 블록 경계에서 픽셀 v_7 이 블록의 모서리에 해당되는 경우에 블록킹 현상이 일어났는지 여부를 판단하기 위하여 그림 2와 같은 3x3 윈도우에 대하여 식 (12-1)과 식 (12-2)와 같이 조건값 A와 B를 정의한다.

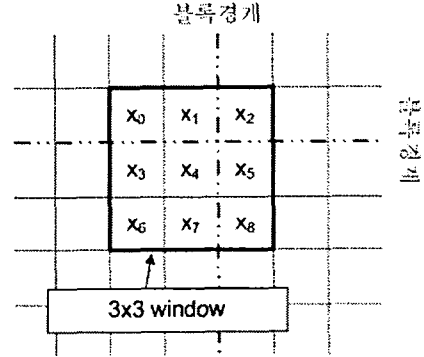


그림 2. v_7 에 대하여 모드 4를 적용하기 위한 2차원 윈도우 (x_4 는 v_7 과 동일 위치)

$$A = \sum_{k=0}^8 \Lambda(x_k - x_4) \quad (12-1)$$

$$\text{where, } \Lambda(\Delta) = \begin{cases} 1, & \Delta \geq 2QP \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$B = \sum_{k=0}^8 \Psi(x_k - x_4) \quad (12-2)$$

$$\text{where, } \Psi(\Delta) = \begin{cases} 1, & \Delta = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

즉, A 값이 클수록, B 값이 작을수록 윈도우 영역이 복잡하고 이에 따라 필터링하는 강도가 달라진다. 또한 더욱 정확한 필터링을 위하여 식 (13)과 같이 정의된 블록의 경계를 중심으로 한 차이값을 필터링 조건으로 추가한다.

$$\omega = \frac{1}{5} \left| \left(\sum_{k=0}^7 v_k \right) - \left(\sum_{k=3}^{12} v_k \right) \right| \quad (13)$$

필터링은 식 (13)에서 얻어진 ω 가 2QP보다 크거나 같은 경우에만 수행하며, 실험에 의해서 A가 5이고 B가 4일 경우에 식 (14-1)과 같이 필터링하고, A가 5를 제외한 4 이상이고 B가 3일 경우에 식 (14-2)와 같이 필터링 할 경우 가장 효과적으로 블록킹 현상을 없앨 수 있음을 알 수 있다. 식 (14-1)의 조건은 윈도우 내부가 비교적 평탄한 경우이며, 따라서 두 픽셀 v_6, v_8 을 필터링한다. v_6 를 필터링하기 위해서는 v_6 의 위치를 윈도우의 x_4 에 일치시킨 윈도우를 이용하여 적용한다.

$$v_6 = \frac{1}{8} \left(\left(\sum_{k=0}^8 x_k \right) - x_4 \right), \quad (14-1)$$

$$v_7 = \frac{1}{8} \left(\left(\sum_{k=0}^8 x_k \right) - x_4 \right)$$

또한 식 (14-2)의 조건은 윈도우가 비교적 복잡한 경우로 판단하여 모서리에 위치한 v_7 만을 필터링한다.

$$v_7 = \frac{1}{8} \left(\left(\sum_{k=0}^8 x_k \right) - x_4 \right) \quad (14-2)$$

III. 실험 결과 및 성능 평가

제안한 디블록킹 필터의 성능 평가를 위하여 MPEG-4 VM(Verification Model)을 이용한 복호화면에 대해 MPEG-4 방식의 디블록킹 필터[1], Tai et al. 방식의 필터[2], H.264의 루프 필터[3] 및 제안한 필터를 적용하여 PSNR을 측정하였다. 실험에 사용된 테스트 영상은 QCIF (176×144) 크기의 Hall Monitor, Foreman, Coastguard, Container Ship, Mother and Daughter를 사용하였고, 각 테스트 영상은 IPPP...방식으로 300 프레임을 부호화하였다. 또한 식 (11)에서 c_1 , c_2 및 c_3 는 각각 2, 5, 8로 고정하였고, T_1 과 T_2 는 MPEG-4에서와 같이 2, 6으로 각각 설정하여 공정한 실험결과가 되도록 하였다. 여러 비트율에 대해 제안된 필터의 성능을 평가하기 위해 양자화 파라미터(QP)를 변화시켜 PSNR을 측정한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 각 후처리 기법에 대한 실험 결과 (PSNR)

Conditions	Sequences	QP	PSNR_Y (dB)			
			No filtering	MPEG-4 deblocking	Tai	Proposed method
10 kbps/7.5 Hz	Hall	18	29.873	30.196	30.028	30.432
	M & D	16	32.226	32.369	32.340	32.522
	Container	17	29.507	29.728	29.630	29.929
24 kbps/10 Hz	Hall	9	34.027	34.173	34.193	34.510
	M & D	8	35.330	35.269	35.410	35.448
	Container	10	32.570	32.600	32.665	32.878
24 kbps/15 Hz	Hall	11	32.790	32.862	32.949	33.158
48 kbps/10 Hz	Foreman	14	30.624	31.073	30.649	31.275
	Coast	14	29.070	29.156	29.065	29.274
64 kbps/15 Hz	Foreman	12	31.479	31.759	31.509	31.999

* Hall Monitor(Hall), Foreman, Coastguard(Coast), Container Ship(Container), Mother and Daughter (M & D)

또한 H.264 루프필터를 후처리 필터로 사용하여 성능을 평가하였다. H.264 부호화기 내부에서는 적응적 필터링을 위해 파라미터를 모두 이용할 수 있기 때문에 화질개선이 큰 폭으로 이루어지지만, 후처리 필터로 사용할 경우에는 성능이 그에 미치지 못함을 알 수 있다. H.264 부호화를 위하여 JM 8.4를 이용하였고, 루프필터를 후처리 필터로 사용하기 위하여 필터의 강도(BS)를 처음 인트라 프레임에 대해서는 BS=3으로, 나머지 인터 프레임에 대해서는 BS=2로 설정하였다. QP는 MPEG-4 부호화 스트림의 비트율에 가깝도록 설정하여 파라미터 α , β indexA 및 indexB를 구하는데 이용하였다. H.264 루프필터를 루프 내 필터로 사용한 경우와 후처리 필터로 사용한 경우의 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. H.264 루프필터 실험 결과

Conditions	Sequences	QP	PSNR_Y (dB)		
			No filter	H.264 in-loop filter	H.264 as post-filter
10 kbps/7.5 Hz	Hall	36	29.873	31.457	30.214
	M & D	34	32.226	33.444	32.359
	Container	34	29.507	31.797	29.691
24 kbps/10 Hz	Hall	29	34.027	36.428	34.389
	M & D	29	35.330	36.686	35.531
	Container	29	32.570	35.158	32.752
24 kbps/15 Hz	Hall	31	32.790	35.133	33.129
48 kbps/10 Hz	Foreman	32	30.624	33.044	30.646
	Coast	33	29.070	30.455	29.112
64 kbps/15 Hz	Foreman	35	31.479	33.270	31.363

표 2 및 표 3의 실험 결과에서 볼 수 있듯이 H.264 루프필터는 비교적 간단하면서도 좋은 성능을 나타내지만, 후처리 필터로서는 성능이 떨어지며, 후처리 특성에 맞는 별도의 필터가 설계되어야 함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 현재 성능이 뛰어난 MPEG-4 디블록킹 필터를 개선함으로써 저 비트율 비디오를 위한 효과적인 후처리 기법을 제안하였다. 실험 결과를 통하여, 제안된 방법이 기존의 MPEG-4의 디블록킹 필터 또는 다른 논문에서 제안된 방법들보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 또한, 여러 디블록킹 필터들의 성능을 비교함에 있어서 뛰어난 성능의 H.264 루프필터는 사용 가능한 파라미터들의 제약으로 인해 후처리 특성에 적합하지 않음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] MPEG-4 Video Verification Model Version 8.0, July 1997. MPEG Video Group, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1796.
- [2] S. Tai, Y. Chen, S. Sheu, "Deblocking Filter for low bit rate MPEG-4 Video", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.15, no.6, pp.733-741, Jun. 2005.
- [3] I. Richardson, H.264 and MPEG-4 Video Compression, Wiley, 2003
- [4] T. Kim, J. Paik, C. Won, Y. Choe, J. Jeong, and J. Nam, "Blocking effect reduction of compressed images using classification-based constrained optimization", Signal Processing: Image Communication, vol.15, no.10, pp.869-877, Aug. 2000.
- [5] JVT of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, May 2003., ITU-T Rec. H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC.
- [6] Y. Yang and N. P. Galatsanos, "Removal of compression artifacts using projections onto convex sets and line process modeling." IEEE Trans. Image Process., vol.6, no.10, pp.1345-1357, Oct. 1997.