

論文2001-38SP-11-8

압축 동영상의 블록화 및 링 현상 제거를 위한 저 계산량 Post 필터

(A Reduced Complexity Post Filter to Simultaneously Reduce Blocking and Ringing Artifacts of Compressed Video Sequence)

洪民哲*, 車亨泰*, 韓獻洙

(Min-Cheol Hong, Hyung Tai Cha, and Hern-Soo Hahn)

요 약

본 논문에서는 압축 동 영상의 블록화 및 링 현상을 동시에 제거 할 수 있는 저 계산량의 효율적인 필터 방식을 제안한다. 인접 화소와의 상관 관계를 고려한 새로운 1차원 정규화 함수를 정의하여 기존의 정규화 복원 방식이 갖고 있던 계산량의 부하 문제를 해결하였다. 제안된 1차원 정규화 함수는 처리하고자 하는 화소의 두 인접 화소를 이용한 2개의 부가 함수로 구성되어 있으며, 각각의 정규화 매개 변수는 복호화부에서 이용 가능한 매크로 블록의 타입 및 양자화 스텝 크기 등의 부가 정보를 이용하여 예측한다. 더불어, 본 논문에서는 정규화 매개 변수를 룩업 테이블 (look-up table)로 구성할 수 있도록 정규화 매개 변수의 영역을 제한하여 계산량을 더욱 줄일 수 있도록 구성하였다. 제안된 방식의 효율성을 실험 결과를 통해 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a reduced complexity filter to simultaneously suppress the blocking and ringing artifacts of compressed video sequence is addressed. A new one dimensional regularized function to incorporate the smoothness to its neighboring pixels into the solution is defined, resulting in very low complexity filter. The proposed regularization function consists of two sub-functions that combine local data fidelity and local smoothing constraints. The regularization parameters to control the trade-off between the local fidelity to the data and the smoothness are determined by available overhead information in decoder, such as macro-block type and quantization step size. In addition, the regularization parameters are designed to have the limited range and stored as look-up-table, and therefore, the computational cost to determine the parameters can be reduced. The experimental results show the capability and efficiency of the proposed algorithm.

I. 서 론

양자화 과정은 정지 영상 및 동 영상을 압축하기 위한 기본 개념으로 이용되어 왔다. 그러나, 비트율이 낮

아짐에 따라, 현재의 표준화 압축 방식 및 양자화 메커니즘을 이용하는 모든 압축 방식에서는 양자화로 인한 정보 손실로 인해 복원된 영상에 심각한 화질 저하가 발생하게 된다^[1]. 양자화 과정은 영상에 직접 적용될 수도 있고, 특정 변환 방식의 계수 값에 적용될 수 있다. 특정 변환 방식은 영상 전체에 적용될 수도 있고, 영상의 겹침이 있는 (overlapping) 또는 겹침이 없는 (non-overlapping) 일정 블록에 적용할 수도 있다. 일

* 正會員, 崇實大學校 情報通信電子工學部
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)
接受日字:2001年5月28日, 수정완료일:2001年10月16日

반적으로 원 영상의 공간 영역의 정보를 줄일 수 있는 것은 양자화 과정으로서, 양자화 스텝 크기가 커짐에 따라 고 압축률의 결과를 얻게 된다. 그러나, 고 압축률에서는 정보 손실이 커지게 되고, 이에 상응하여 압축 영상의 화질 저하는 더욱 심각해지게 된다.

일반적으로 양자화 과정의 정보 손실로 인해 발생하는 화질 저하 현상은 블록화 현상 및 링 현상의 두 가지 형태로 분류할 수 있다. 블록화 현상은 영상을 블록 단위의 독립적인 처리와 저주파 영역의 변환 계수의 정보 손실로 인해 블록 경계 영역에서 신호의 불균일 현상이 심각하게 발생하는 것을 나타내며, 링 현상은 고주파 영역의 변환 계수들의 정보 손실로 인해 움직임이 많거나 윤곽선 정보가 있는 영역에서 물결과 형태로 존재하게 된다.

양자화에 의한 정보 손실을 복원하여 화질 저하 현상을 감소시키기 위한 방식은 지난 10여년간 연구되어 왔으며, 기존 방식은 다음과 같이 크게 두가지 형태로 분류할 수 있다; (1) 선형 또는 비선형의 direct 필터 방식^[2-6], (2) 반복 기법을 이용한 적응 복원 방식^[7-9]. 전자 방식은 후자 방식에 비해 계산량 면에서 이득이 있으나, 적응적인 처리가 부족하여 영상 화질 저하를 개선하는데 한계가 있으며, 특히 윤곽선 부근에서의 열화 현상이 발생하는 문제점을 갖고 있다. 반면에, 후자 방식은 반복 기법을 사용하고 벡터-매트릭스의 수식 전개로 인해 계산량의 큰 문제점을 갖고 있어, 실시간 처리가 요구되는 동영상 서비스에는 사용하기에 용이하지 않다.

블록화 및 링 현상을 제거하기 위한 필터 형태는 필터의 구성 위치에 따라, 루프(loop) 필터, 후처리(post) 필터 및 두 방식이 결합되어 있는 형태로 구분할 수 있다. 하이브리드 MC/DCT (Motion Compensation/DCT) 방식을 이용하는 동 영상 압축 방식에서는 필터화된 영상이 다음 영상의 움직임 오차(motion prediction residual)에 영향을 미치게 되어, 루프 필터로 인해 열화 현상이 발생하는 경우 압축 효율이 떨어지게 되는 단점이 있다. 이러한 문제로 인해 H.263 동영상 압축 방식^[2]은 loop 필터를 이용하여 블록화 현상만을 제거하고자 했으므로 저 비트율 압축 영상에서 움직임 영역에서 발생하는 링 현상이 존재하여 시각적으로 만족스럽지 못한 결과를 낳게 된다. 위와 같은 루프 필터가 갖을 수 있는 문제를 해결하고자 MPEG4^[3]에서는 블록화 현상 및 링 현상 제거를 위한 필터를

각기 후처리 필터로 구성하였다. 화질 개선 측면에서 상당히 우수하나, 두 현상을 각각의 필터를 이용하여 처리하였으므로 계산량 측면에서 큰 부담이 될 수 있다. 위와 같은 기존의 루프 및 후처리 필터가 갖고 있는 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 저 계산량을 필요로 하는 블록화 및 링 현상을 동시에 제거하는 효율적인 후처리 필터를 제안한다.

손실된 양자화 정보를 복원하는 것은 불량 위치(ill-posed)^[10-13] 문제로서 원 영상 및 노이즈에 대한 사전 정보를 이용하여 좀 더 바람직한 영상을 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 이러한 사전 정보는 매우 제한적이라 주어진 문제에 대한 최상의 해를 구하기 위해서는 주어진 데이터 및 부가 정보로부터 사전 정보를 예측할 수 밖에 없다. 정규화 이론은 위와 같은 불량 위치 문제를 완화 제약 조건(smoothing constraints)을 사용하여 양호 위치(well-posed)화 시키기 위해 영상 복원 문제에서 널리 사용되어 왔다^[10-14]. 그러나, 이미 언급된 바와 같이 정규화 이론을 이용한 복원 방식은 최적화 해를 얻기 위해 반복 기법을 이용하고 정규화 복원에서 중요한 정규화 매개 변수를 결정하기 위해 상당량의 계산량을 요구하므로 동영상의 블록화 및 링 현상을 제거하기에는 용이하지 못한 면이 있다. 더불어, 전통적인 정규화 복원 방식은 영상의 완화 정도를 제어하는 정규화 매개 변수를 반복 기법 또는 주어진 사전 정보를 이용하여 예측하여 전체 영상에 적용하여 복원 영상이 열화 현상을 갖게 되는 적응력이 부족한 단점을 보이고 있다.

본 논문에서는 위와 같은 기존의 정규화 복원 방식이 갖고 있는 계산량의 문제점을 해결하고 국부 지역 정보에 따른 적응적인 완화 제어를 위해 화소 단위의 1차원 정규화 완화 함수를 정의한다. 일반적인 압축 동영상은 양자화 크기가 커짐에 따라 화소간의 신호 불균일이 커지게 되고, 블록 경계 영역에서의 신호 불균일 정도는 블록 내부의 화소보다 크게 나타나게 된다. 이와 같은 양자화 크기 및 화소의 위치에 따라 효과적인 완화 정도를 정규화 매개 변수를 통해 결정하게 되고, 정규화 매개 변수는 복호화부에서 유용한 양자화 크기 및 재구성된 영상의 화소 값의 차이에 의해 결정된다. 더불어, 제안된 방식은 복원 화소를 얻기 위해 인접 두 개의 화소에 대한 정보만을 필요로 하므로 계산량의 상당한 이득을 얻을 수 있어 실시간 처리가 요구되는 동영상 복원 문제에는 상당한 이점이 있다. ITU

및 ISO에서 발표한 동 영상 압축 방식은 각 블록의 부호화 형태를 표현하는 매크로 블록 타입 정보를 부호화해서 전송하게 된다. 매크로 블록 정보 중 'not coded block'로 부호화된 블록은 부호화된 이전 영상과 매우 유사한 특성을 지닌 영역을 의미하므로 본 논문에서는 이미 복원된 이전 영상의 정보를 사용하여 계산량을 더욱 절감시킬 수 있도록 사용되었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 제안된 새로운 화소 단위의 정규화 완화 함수 및 그 특성에 대해 기술하고, 3장에서는 정규화 매개 변수의 결정하는 방식에 대한 설명하며, 4장에서는 2장에서 기술된 필터의 소수점 (floating-point) 연산을 피하기 위한 구현 방식에 대해 언급하며, 마지막으로 5장 및 6장에서는 실험 결과 및 결론으로 끝을 맺는다.

II. 제안된 화소 단위의 정규화 완화 함수

$M \times N$ 크기의 영상이 양자화 과정에 의해 훼손된 경우, 복화화 부에서 재구성된 영상은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$g = f + n \quad (1)$$

위 식에서 g , f , n 은 스택 (stack) 순서로 표현된 $MN \times 1$ 벡터의 압축 영상, 원 영상, 그리고 양자화 오류를 의미한다. 변환 영역에서 각 계수의 양자화 오류는 유니폼 (uniform) 분포를 갖게 되므로, 센트럴 리미트 (central limit) 이론에 의해 공간 영역에서는 가우시안 분포 형태를 갖게 된다^[1]. 식 (1)의 모델을 이용한 정규화 복원 방식은 이미 언급한 바와 같이 벡터-매트릭스 형태의 반복 기법을 이용해야 하며, 정규화 매개 변수를 결정하기 위해 영상 전체의 통계적 특성으로부터 예측해야 하므로 상당한 계산량을 요구하게 된다. 이와 같은 문제점을 피하기 위해 각 양자화 오류가 서로 독립적 (identically independent distributed)으로 되어 있다고 가정하면, 다음과 같이 화소 단위의 훼손 모델을 정의할 수 있다.

$$g(i, j) = f(i, j) + n(i, j) \quad (2)$$

위 식에서 (i, j) 는 2차원 영상의 수직 및 수평 축을 의미한다.

일반적인 MC/DCT 기법을 사용하는 동영상 압축 방

식은 화소 사이의 불균일 정도가 원 영상의 불균일보다 크게 나타나며, 블록 경계 화소에서 블록 내부보다 크게 나타나므로 블록 경계 영역의 블록화 현상을 감소시키기 위해서는 상대적으로 완화 정도가 블록 내부의 화소보다 블록 경계 영역에서 크게 설정되어야 한다. 이는 화소의 위치에 따라 완화 정도를 제어하는 정규화 매개 변수가 다르게 설정되어야 함을 의미하며 화소 단위의 정규화 완화 함수의 필요성을 요구한다. 위와 같은 사전 정보를 기반으로 다음과 같은 수평 방향 화소 단위의 정규화 완화 함수를 정의한다.

$$M(f(i, j)) = M_p(f(i, j)) + M_n(f(i, j)) \quad (3)$$

식 (3)에서

$$\begin{aligned} M_p(f(i, j)) &= (1 - \alpha_p(i, j))[f(i, j) - g(i, j)]^2 \\ &\quad + \alpha_p(i, j)[f(i, j) - f(i, j-1)]^2, \\ M_n(f(i, j)) &= (1 - \alpha_n(i, j))[f(i, j) - g(i, j)]^2 \\ &\quad + \alpha_n(i, j)[f(i, j) - f(i, j+1)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

위 식에서 $M_p(f(i, j))$ 및 $M_n(f(i, j))$ 는 (i, j) 번째 화소의 좌측 및 우측 방향으로 완화 제약을 부가시킨 정규화 완화 함수이며, $\alpha_p(i, j)$ 및 $\alpha_n(i, j)$ 는 각 함수의 완화 정도를 결정하는 정규화 매개 변수 들을 의미한다. 식 (4)에서 알 수 있듯이, 각 정규화 매개 변수는 0에서 1사이의 값을 갖으며, 두 개의 상반된 함수를 동시에 제어하는 역할을 하게 된다. $M(f(i, j))$ 가 최소 값을 갖기 위한 필요 조건은 식 (3)의 미분 값이 0과 같은 경우다. 즉,

$$\begin{aligned} (1 - \alpha_p(i, j))[f(i, j) - g(i, j)] + \alpha_p(i, j)[f(i, j) - f(i, j-1)] \\ + (1 - \alpha_n(i, j))[f(i, j) - g(i, j)] + \alpha_n(f(i, j) - f(i, j+1)) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)로부터 저 계산량의 요구되는 필터 방식을 구현하기 위해서는 $f(i, j)$ 에 인접한 복원된 두 화소 ($f(i, j-1)$ 및 $f(i, j+1)$)를 필요로 하게 된다. 위 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 recursive 방식을 이용해야 하지만, 이는 계산량의 복잡성을 증대 시키고 영상의 열화 현상을 초래하는 문제점을 발생하므로 필터 과정을 단순화 하기 위해 아래와 같은 가정을 한다.

$$\alpha_p(i, j)n(i, j-1) + \alpha_n(i, j)n(i, j+1) \approx 0 \quad (6)$$

식 (6)의 가정은 저 압축률의 영상에서는 양자화 오

류 값이 적기 때문에 적용 결과가 좋으나, 고 압축율에서는 식 (6)의 가정이 0으로부터의 벗어 나는 정도가 커서 필터화된 복원 영상에 PSNR (Peak to Signal to Noise Ratio)에 부정적인 요소로 작용한다. 그러나, 위와 같은 가정은 복원 영상을 얻기 위한 recursive 또는 반복 기법을 피할 수 있는 장점이 있으므로 본 논문에서는 식 (6)과 같은 가정을 적용하였다. 위의 가정으로부터 수평 방향으로 필터화된 결과는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$f(i, j) = \frac{(2 - a_p(i, j) - a_n(i, j))g(i, j) + a_p(i, j)g(i, j-1) + a_n(i, j)g(i, j+1)}{2} \quad (7)$$

일반적인 동영상 압축 방식은 계층적 부호화 메커니즘을 이용하여 각 계층에서의 부가 정보를 부호화하여 압축 효율을 개선시키는 방식을 취하고 있다. 본 논문에서 실험에 이용한 H.263 방식도 매크로 블록 레벨에서 해당 매크로 블록의 부호화 형태를 MCBPC (Macroblock type and Coded Block Pattern for Chrominance)로 전송하여 매크로 블록에 포함된 6개 (luminance 4 블록 및 chrominance 2 블록)의 8 × 8 블록이 양자화된 DCT 계수의 존재 여부, 움직임 벡터의 정보 및 상위 레벨에서 선택된 양자화 크기의 변화 여부를 부호화단에 알려 주게 된다. 예를 들어, H.263 및 MPEG-4의 동영상 압축 방식에서 정의된 'not coded block' (움직임 벡터 및 DCT 계수가 존재하지 않는 블록)은 부호화된 이전 영상의 같은 위치의 해당 블록과 매우 유사한 블록을 의미하며, 위와 같은 정보는 이전 영상이 효과적으로 블록화 및 링 현상을 제거하였다면 현재 처리하고자 하는 블록에 효과적으로 사용될 수 있다. 이는 'not coded block'로 부호화된 경우는 이전 복원 영상의 정보를 그대로 복사하여 사용할 수 있음을 의미하며 특히, 고 압축 동영상인 경우 계산량의 이득을 추구할 수 있다. 위와 같은 정보 및 식 (7)의 결과를 이용하여 후처리 필터화된 결과는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$f(i, j) = \begin{cases} f_p(i, j) & \text{if } g(i, j) \in \text{not coded block} \\ \text{Eq. (7)} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (8)$$

위 식에서 $f_p(i, j)$ 는 필터화된 이전 영상의 (i, j)번째 화소를 의미한다.

식 (7)의 결과는 필터화된 영상을 구하기 위해 실수

연산을 필요로 하게 되며, 일반적으로 소수점 연산은 정수 (integer) 연산보다 3배-9배 (processor에 따라 다름)의 계산량을 필요로 하므로, 본 논문에서 추구하는 계산량 절감을 위해서는 정수 연산 형태로 수정할 필요가 있다. 실제 구현을 위한 식 (7)의 변형된 형태는 4장에서 기술하기로 한다.

식 (7) 및 (8)은 수평방향으로의 블록화 및 링 현상 제거를 위한 필터링된 결과이며 수직 방향으로의 블록화 및 링 현상은 존재하므로 수직 방향으로 필터링한 후 최종 복원 영상을 얻게 된다. 수직 방향으로의 필터는 수평방향으로 필터화된 결과를 식(7)에서 g 로 대체시키고 인접 화소를 수직 방향으로 설정하여 유사한 방식으로 수직 방향으로의 필터링된 영상을 얻게된다.

III. 정규화 매개 변수의 결정

정규화 이론에 근거한 영상 복원 및 복구 방식에서 정규화 매개 변수의 선택은 복원 영상의 원화 정도를 결정하는 매우 중요한 문제이다^[12-14]. 정규화 복원 이론에 따라, 정규화 매개 변수는 원 영상과 침부된 노이즈 또는 오류에 대한 사전 정보에 의해 결정된다. 압축 동영상의 노이즈는 양자화 과정에 의해 발생하고 양자화 크기에 대한 정보는 부호화부에서 유용하므로 정규화 매개 변수를 결정하기 위해 사용될 수 있다. (i, j) 번째 화소를 포함한 블록의 양자화 크기가 QP라 할 때, 정규화 이론에 의해 정규화 매개 변수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{1 - a_p(i, j)}{a_p(i, j)} &= \frac{[f(i, j) - f(i, j-1)]^2}{[f(i, j) - g(i, j)]^2} \\ &= \frac{[g(i, j) - g(i, j-1) - n(i, j) + n(i, j-1)]^2}{\phi(QP)}, \\ \frac{1 - a_n(i, j)}{a_n(i, j)} &= \frac{[f(i, j) - f(i, j+1)]^2}{[f(i, j) - g(i, j)]^2} \\ &= \frac{[g(i, j) - g(i, j+1) - n(i, j) + n(i, j+1)]^2}{\phi(QP)}, \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 $[f(i, j) - g(i, j)]^2$ 항은 양자화 과정에 의한 정보 손실의 에너지를 의미하므로 식 (9)에서 정의한 함수 $f(\cdot)$ 은 QP^2 에 비례하는 형태로 설정되어야 한다. 더불어, 블록 경계 영역의 화소를 제외한 블록 내부의 화소간의 양자화 오류의 차는 '0'에 가까운 값을 갖게 된다. 블록 경계 영역의 화소 간의 양자화 오류를 보정

하기 위해 본 논문에서는 보정 계수를 사용한다. 이와 같은 특성을 이용하여 식 (9)는 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\alpha_p(i, j) = \frac{K_p Q P^2}{[g(i, j) - g(i, j-1)]^2 + K_p Q P^2},$$

$$\alpha_n(i, j) = \frac{K_n Q P^2}{[g(i, j) - g(i, j+1)]^2 + K_n Q P^2}, \quad (10)$$

식 (10)에서 K_p 및 K_n 은 처리하고자 하는 화소와 인접화소가 블록 경계 영역에 위치한 경우, 화소 간의 양자화 오류를 보정하기 위한 매개 변수이며, 이는 실험에 의해 다음과 같이 결정하였다.

$$K_p = \begin{cases} 8 & \text{if } j \bmod 8 = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases},$$

$$K_n = \begin{cases} 8 & \text{if } j \bmod 7 = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (11)$$

3장에서 언급한 바와 같이 상기와 같이 기술된 방식은 소수점 연산을 필요로 하므로 식 (7)과 (10)을 변형시켜 정수 연산이 가능한 방식을 다음 장에서 기술하기로 한다.

IV. 실제 구현을 위한 변형된 방식

3장에서 기술된 정규화 매개 변수는 0에서 1사이의 값을 갖게 되므로, 2장의 필터 방식을 이용하기 위해서는 실수 연산을 요구한다. 이는 계산량의 증대를 의미하므로, 정수 연산으로의 정규화 매개 변수 및 필터화 방식으로 변형이 필요하다. 이를 위해 식 (7)을 다음과 같이 변형시켜 이용하였다.

$$f(i, j) = \frac{(2^8 - \beta_p(i, j) - \beta_n(i, j))g(i, j) + \beta_p(i, j)g(i, j-1) + \beta_n(i, j)g(i, j+1)}{2^8}, \quad (12)$$

식 (12)에서 변형된 정규화 매개 변수들은 다음과 같이 정의된다.

$$\beta_p(i, j) = 2^8 \alpha_p(i, j) = 2^8 \frac{K_p Q P^2}{g(i, j) - g(i, j-1)^2 + K_p Q P^2},$$

$$\beta_n(i, j) = 2^8 \alpha_n(i, j) = 2^8 \frac{K_n Q P^2}{g(i, j) - g(i, j+1)^2 + K_n Q P^2} \quad (13)$$

식 (13)으로부터 변형된 정규화 매개 변수는 0에서 255 사이의 값을 갖도록 되어 있음을 알 수 있고, 각 매개 변수는 화소의 위치, 인접 화소와의 차이 값 및 양자화 크기에 따라 유한 개의 값을 갖게 되므로 8 bit로 구성된 look-up table에 변형된 정규화 매개 변수를 저장시켜 사용할 수 있다. 이 경우, 별도의 저장공간이 필요하게 되며, 요구되는 저장 공간의 크기는 8 bits/매개 변수당 $\times 256$ (화소간의 gray level 차이 수) $\times 2$ (양자화 오류 보정을 위한 매개 변수 수) $\times 32$ (양자화 크기 수) = 131 kbits이다.

V. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안된 방식을 H.263 동영상 표준화 루프 필터 방식과 비교하였다. 제안된 방식으로 많은 영상에 대해 각기 다른 압축률 및 해상도에 대하여 적용하였다. 제안된 방식의 성능 부분을 3가지로 나누어 각각 비교 하였는데, 객관적인 화질 성능 평가를 위해 PSNR을 사용하였으며, 주관적인 화질 평가는 블록화 현상 및 링 현상이 효율적으로 운곽선 부분에 완화 없이 잘 제거되었는지 여부로 평가하였으며, 각 방식의 계산량 평가를 위해 MIPS (Mega Instruction Per Second) 및 memory bandwidth를 이용하였다. 각 화소가 8 bits로 표현되는 $M \times N$ 크기의 영상의 PSNR은 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR(dB) = 10 \log \frac{MN \times 255^2}{\|f - \hat{f}\|^2} \quad (14)$$

위 식에서 f 및 \hat{f} 는 원 영상 및 복원된 영상을 의미한다. 방식 A는 H.263 동 영상 압축 방식을 루프나 후처리 필터 결과를 의미하며, 방식 B는 H.263 동 영상 압축 방식의 부호화부 및 복호화부에 H.263+ 방식의 loop 필터 (Annex J)를 이용한 경우를, 방식 C는 H.263 복호화부 후단에 제안한 방식을 post 필터 형태로 이용한 경우를 나타낸다.

표 1-3에 QCIF (Quarter Common Intermediate Format) Hall monitor, Foreman, 및 News의 300 frames을 각각 10 frames/sec로 다른 양자화 크기로 압축했을 때의 결과를 나타내었다. 표 1-3에서 나타난 Y는 휘도 (luminance) 성분을 Cb 및 Cr은 두개의 색 신호 (chrominance) 성분을 나타낸다. 표에서 기술한

방식 A: H.263 동영상 압축 방식

방식 B: H.263+ loop 필터를 이용한 복원 방식

방식 C: 제안된 post 필터를 이용한 복원 방식

Method A: H.263 video coding approach

Method B: H.263+ loop filter

Method C: Proposed post filter

표 1. QCIF Hqll monitor 영상의 양자화 크기에 따른 PSNR 비교 (300 frames, 10 frames/sec)

Table 1. PSNR comparison of Hall monitor sequence as a function of quantization step size(300 frames, 10 frames/sec).

QF	A				B				C			
	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)
5	37.82	39.90	41.73	56.90	37.57	40.24	42.16	54.75	38.28	40.35	42.10	56.90
10	33.14	37.46	39.85	22.74	33.20	37.96	39.93	21.81	33.50	37.78	39.93	22.74
15	30.79	36.41	39.60	14.27	30.95	36.84	39.60	13.86	31.09	36.76	39.65	13.96
25	27.89	35.20	39.10	8.02	28.09	35.44	39.33	8.09	28.12	35.38	39.19	8.02

표 2. QCIF Foreman 영상의 양자화 크기에 따른 PSNR 비교 (300 frames, 10 frames/sec)

Table 2. PSNR comparison of Foreman sequence as a function of quantization step size(300 frames, 10 frames/sec)

QF	A				B				C			
	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)
5	36.40	40.64	41.17	160.66	36.49	40.89	41.56	148.88	36.67	40.86	41.50	160.66
10	32.05	37.73	37.97	67.14	32.17	38.08	38.36	63.68	32.27	38.02	38.29	67.14
15	30.01	36.46	36.51	42.06	30.13	36.94	36.89	41.08	30.20	36.77	36.82	42.06
25	27.71	35.11	34.54	25.10	27.69	35.29	34.88	25.57	27.85	35.36	34.84	25.10

표 3. QCIF News 영상의 양자화 크기에 따른 PSNR 비교 (300 frames, 10 frames/sec)

Table 3. PSNR comparison of News sequence as a function of quantization step size(300 frames, 10 frames/sec).

QF	A				B				C			
	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)	Y	Cb	Cr	비트율 (kbits /sec)
5	37.05	40.21	40.77	87.55	37.05	40.35	41.00	84.18	37.41	40.67	41.09	87.55
10	32.37	36.51	37.46	37.46	32.36	36.82	37.80	36.39	32.64	36.98	37.70	37.46
15	30.06	34.59	35.95	22.73	30.13	35.22	36.43	22.43	30.30	34.97	36.26	22.73
25	27.30	32.45	34.05	12.14	27.32	33.16	34.63	12.83	27.45	32.89	34.38	12.14

결과에서 알 수 있듯이 방식 B는 방식 C에 비해 같은 양자화 크기를 사용하여 압축한 경우보다 움직임 보상 된 영상과 원 영상사이의 예측 오차 (motion compensated prediction residual)을 감소 시키는 효과

표 4. QCIF Hall monitor 영상의 양자화 크기에 따른 계산량 비교

Table 4. Complexity comparison of Hall monitor sequence as a function of quantization step size.

QP	A		B		C	
	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)
5	N/A	N/A	16.60	9.92	7.36	3.99
10	N/A	N/A	7.24	4.06	2.69	1.47
15	N/A	N/A	5.92	3.34	2.12	1.15
25	N/A	N/A	4.90	2.76	1.86	1.03

표 5. QCIF Foreman 영상의 양자화 크기에 따른 계산량 비교

Table 5. Complexity comparison of Foreman sequence as a function of quantization step size.

QP	A		B		C	
	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)
5	N/A	N/A	24.82	13.98	13.71	7.43
10	N/A	N/A	23.84	13.44	12.88	6.98
15	N/A	N/A	23.22	13.08	12.36	6.69
25	N/A	N/A	22.16	12.48	11.69	6.33

표 6. QCI News 영상의 양자화 크기에 따른 계산량 비교

Table 6. Complexity comparison of News sequence as a function of quantization step size.

QP	A		B		C	
	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)	Instruction Number (MIPS)	Memory Bandwidth (Mbytes/s)
5	N/A	N/A	15.60	8.80	7.54	5.09
10	N/A	N/A	12.86	7.24	4.62	3.13
15	N/A	N/A	11.24	6.34	3.85	2.68
25	N/A	N/A	9.34	5.26	3.18	2.17

가 있어 동일 양자화 크기에서 상대적으로 약간의 압축 효율이 개선되었음을 알 수 있다. 반면에 시각적으로 블록화 및 링 현상 주요 원인이 휘도 성분의 PSNR 향상은 제안된 방식이 저 압축률에서 방식 B보다 우수함을 알 수 있다. 고 압축률인 경우도 방식 B보다 약간 우수하거나 유사한 결과를 가지고 있음을 알 수 있다. 제안된 방식의 성능이 고 압축률보다 저 압축률에서 상대적으로 성능이 우수한 이유는 식 (6)에서 가정한 결과가 이미 언급한 바와 같이 저 압축률에서 잘 적용되어 필터링 과정에서 발생하는 가정과의 오차가 적기 때문이다. 위와 같은 PSNR 향상은 대부분의 영상에서 발생하였으며, 색 신호 성분에 대해서도 일관성 있는

향상이 있음을 알 수 있었다. 제안된 후처리 필터는 방식 B보다 평균 0.25 (dB) 향상된 결과를 나타내었다.

제안된 방식의 성능을 계산량 측면에서 비교하면, 방식 B보다 상당한 이득이 있음을 알 수 있다. 표 4-6에 있는 바와 같이, 영상에 따라 정도의 차이는 있지만 방식 B의 20-40%정도의 계산량이 필요함을 알 수 있다. 특히, 영상의 움직임이 적은 Hall monitor 영상의 경우는 계산량의 이득이 상당히 크다. 그 이유는 제안된 방식에서는 매크로 블록의 부호화 형태에 따라, 복원된 이전 영상의 정보를 이용하였으므로 움직임이 적은 영상일수록 필터링을 위한 계산량이 절감되었기 때문이다.

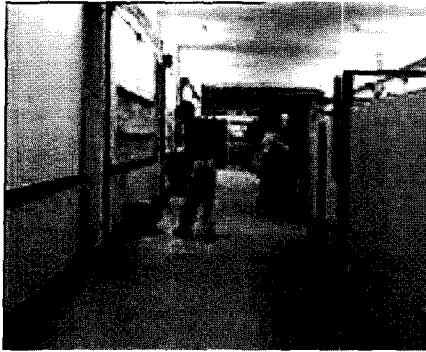


그림 1. Hall monitor 영상의 91번째 압축 영상 (QP=15)

Fig. 1. The 91st compressed frame of Hall monitor sequence(QP=15).



그림 2. 방식 B를 이용한 Hall monitor 영상의 91번째 복원 영상 (QP=15)

Fig. 2. The Restored 91st frame of Hall monitor sequence with method B(QP=15).



그림 3. 방식 C를 이용한 Hall monitor 영상의 91번째 복원 영상 (QP=15)

Fig. 3. The Restored 91st frame of Hall monitor sequence with method C(QP=15).



그림 4. Foreman 영상의 25번째 압축 영상 (QP=15)

Fig. 4. The 25th compressed frame of Foreman sequence (QP=15).



그림 5. 방식 B를 이용한 Foreman 영상의 25번째 복원 영상 (QP=15)

Fig. 5. The Restored 25th frame of Foreman sequence with me.



그림 6. 방식 C를 이용한 Foreman 영상의 25번째 복원 영상 (QP=15)

Fig. 6. The Restored 25th frame of Foreman sequence with method C(QP=15)



그림 7. News 영상의 121번째 압축 영상 (QP=15)
Fig. 7. The 121st compressed frame of News sequence (QP=15)



그림 8. 방식 B를 이용한 News 영상의 121번째 복원 영상 (QP=15)
Fig. 8. The Restored 121st frame of News sequence with method B(QP=15).



그림 9. 방식 C를 이용한 News 영상의 121번째 복원 영상 (QP=15)
Fig. 9. The Restored 121st frame of News sequence with method C(QP=15).

마지막으로 주관적인 성능 비교를 위해, Hall monitor 91번째, Foreman 25번째, 및 News 영상의 121번째 영상에 대해 각 방식의 복원 영상을 그림 1-9

에 나타내었다. 결과 영상에서 알 수 있듯이 방식 A인 경우 영상 전체에 블록화 및 링 현상이 존재하고 있고, 특히 News 영상의 움직임이 심한 '발레리나'의 윤곽선 부근에서는 심한 링 현상이 있다. 방식 B를 이용한 영상 결과는 각 영상의 블록화 현상은 효과적으로 감소하고 있음을 알 수 있으나, 움직임이 많은 영역에서의 링 현상은 그대로 존재하여 시각적으로 불만족스러운 현상이 지속적으로 발생하였다. 반면에 제안된 방식을 이용한 복원 영상은 블록화 및 링 현상을 동시에 효과적으로 제거함을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 MC/DCT 방식을 이용하는 동 영상 압축 영상에서 존재하는 블록화 현상 및 링 현상을 동시에 제거하는 저 계산량의 post 필터를 제안하였다. 화소 단위로 정의된 새로운 1차원 정규화 완화 함수가 정의되었으며, 복원 영상의 완화 정도를 결정하는 정규화 매개 변수를 위해 복호화부에서 존재하는 이용 가능한 양자화 크기를 이용하였으며, 계산량을 절감하기 위해 매크로 블록 형태 정보를 이용하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안된 방식은 표준화 필터 방식보다 평균 0.2 5(dB)의 향상된 결과를 나타냈으며, 시각적으로 링 현상이 효과적으로 제거 되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 제안된 후처리 필터는 표준화 방식 계산량의 평균 30(%)가 요구되는 매우 우수한 방식임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] V. Bhaskaran and K. Konstantinides, *Image and Video Compression Standards: Algorithm and Architectures*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [2] ITU-T SG16/Q15, "ITU-T Draft H.263," Jan. 1998.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG4 Verification Model," Oct. 1997.
- [4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear Space-Invariant Post Processing of Block Coded Images," *IEEE Trans. On ASSP*, vol.

- ASSP-24, pp. 1258-1268, Oct. 1986.
- [5] S. D. Kim, J. Yi, H. M. Kim, and J. B. Ra, "A Deblocking Filter with Two Separable Mode in Block Based Video Coding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 9, pp. 156-160, Feb. 1999.
- [6] M.-C. Hong, C. M. Yon, and Y. M. Park, "An Efficient Real Time Algorithm to Simultaneously Reduce Blocking and Ringing Artifacts of Compressed Video," *IEEE Proceeding of ICIP*, vol II, pp. 899-903, Oct. 1999.
- [7] R. Rosenholtz and A. Zakhor, "Iterative Procedure for Reducing of Blocking Effects in Transform Image Coding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 2, pp. 91-94, Mar. 1992.
- [8] R. L. Stevenson, "Reduction of Coding Artifacts in Transform Image Coding," *IEEE Proc. of Int' Conf. Acoust., Speech, and Signal Processing*, pp. 401-404, 1993.
- [9] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized Image Reconstruction from Incomplete Block Discrete Cosine Transform Compressed Images," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 3, pp. 421-432, Dec. 1993.
- [10] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1977.
- [11] A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Restoration Algorithms," *Optical Engineering*, vol. 28, pp. 735-748, July 1989.
- [12] M. R. Banham and A. K. Katsaggelos, "Digital Image Restoration," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 14, pp. 24-41, Mar. 1997.
- [13] M.-C. Hong, *Adaptive Regularized Image and Video Restoration*, Ph.D Thesis, Northwestern University, Dept. of ECE., Dec. 1997.
- [14] N. P. Galatsanos and A. K. Katsaggelos, "Method for Choosing the Regularization Parameter and Estimating the Noise Variance in Image Restoration and Their Relationship," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 1, pp. 322-336, July 1992.

 저 자 소 개

洪民哲(正會員) 第37卷 SC編 第7號 參照

韓獻洙(正會員) 第37卷 SC編 第7號 參照

車亨泰(正會員) 第38卷 SP編 第1號 參照