

저 전송률 동화상 압축에서 루프 필터링 및 후처리 방법의 주관적 객관적 평가

정희원 이 영렬*, 박 현욱**

Loop Filtering and Post Filtering in Low-Bitrates Moving Picture Coding, and Subjective and Objective Evaluation of Loop filtering and Post filtering

Yung-Lyul Lee*, Hyun-Wook Park** *Regular Members*

요 약

현재 동화상 압축 표준 방식에 의하여 영상이 많이 압축되면, 복원된 영상은 블록화 현상(blocking artifacts), 코너 이상치(corner outliers), 링잉잡음(ringing noise) 같은 화질 열화(degradation)를 보인다. 이러한 화질 열화는 8×8 DCT(Discrete Cosine Transform) 계수를 양자화 하기 때문에 발생한다. 블록화 현상은 8×8 블록 주변에서 발생하는 수평/수직 격자 잡음이고, 코너 이상치는 8×8 블록의 코너 (corner) 점에서 발생하는 잡음이며, 링잉 잡음은 영상의 에지 (edge) 주변에서 발생하는 잡음이다. 본 논문에서는 화질열화의 주요 요인인 블록화 현상, 코너 이상치, 링잉 잡음을 줄이기 위한 루프 필터링을 개발하고 이미 개발된 후처리 방법을 이용하여 이에 대한 주관적, 객관적 평가를 수행한다. 개발된 방법은 계산량을 줄이기 위하여 각 8×8 블록별로 결정되는 블록내의 블록킹 신호와 링잉 신호에 따라 복원된 영상에 신호 적응형 필터링을 수행한다. 개발된 두 방법에 대한 성능은 주관적, 객관적 화질평가 및 계산량 복잡도(complexity)를 이용하여 비교된다. PSNR 측면에서 후처리 방법이 루프 필터링 보다 약간 좋거나 비슷한 결과를 보였고, 주관적 화질 평가에서는 거의 비슷한 결과를 보였지만, 계산량 측면에서 루프 필터링이 후처리 방법보다 상당히 뛰어난 결과를 보인다.

ABSTRACT

When an image is highly compressed by using the current coding standards, the decompressed image has noticeable image degradations, such as blocking artifacts near the block boundaries, corner outliers at cross points of blocks, and ringing noise near image edges. These image degradations are caused by quantization process of the 88 DCT coefficients. In order to reduce the image degradations, the evaluation of subjective and objective quality of a loop-filtering algorithm and the post-filtering algorithm which was already developed is performed. The developed methods perform an adaptive filtering on the decompressed image according to blocking and ringing flags, which are defined to reduce computation complexity. Performances of both algorithms are compared with respect to the image quality and the computation complexity. The comparison results show that the post filtering is slightly better than or similar to the loop filtering with respect to peak signal to noise ratio (PSNR), whereas the subjective image qualities of both methods are quite similar. However, the computation complexity of the loop filtering is much less than that of the post filtering.

I. 서론

ITU-T H.263^[1-3]와 MPEG-4^[4,5] 등의 대부분의

영상압축 표준은 블록기반 DCT(discrete cosine transform)를 이용한다. 블록기반 DCT는 영상의 화소간 국소적 상관도 (local spatial correlation) 를

* 세종대학교 컴퓨터공학부 인터넫학과 Digital Media System 연구실(ylllee@sejong.ac.kr),

** 한국과학기술원 Image Computing System 연구실(hwpark@athena.kaist.ac.kr)

논문번호 : 010407-1231, 접수일자 : 2001년 12월 31일

이용한다. 그러나, 블록기반 압축은 영상이 많이 압축되었을 때 잘 알려진 블록화 현상, 코너 이상치, 동화상에서 특히 눈에 거슬리는 링잉 잡음을 발생시킨다. 블록화 현상은 상대적으로 비슷한 화소 값들을 갖는 영역에서 발생하는 격자 잡음이며, 코너 이상치는 8×8 블록의 코너에서 발생하고, 링잉 잡음은 양자화에 의한 고주파 DCT 계수의 손실에 기인한 현상이다. 이러한 잡음은 압축을 위하여 필수적인 양자화 과정에 기인한다.

많은 후처리 방법(post filtering)들이 양자화 효과를 줄이기 위해 JPEG 과 transformed coder에 제안되었다^[8-11,13-17]. 몇몇 방법들은 적응형 필터링(adaptive filtering)에 기초한 화질개선을 이루었다^[8-11]. Ramamurthi의 방법에서^[8], 블록들은 몇 부류로 분류되고 적절한 1차원, 2차원 필터에 의하여 처리된다. 그러나 이 방법은 블록 분류 시 문제를 발생시킬 수 있다. 참고문헌 [9]에서 에지(edge) 검출에 기반한 5×5 신호 적응형 필터링이 블록화 현상을 줄이기 위하여 제안되었다. 이 방법은 주관적 객관적(PSNR) 화질을 향상시키지만, 실시간 응용을 위하여 많은 계산량을 요구한다. 3차원 sub-band 압축에 적용될 수 있는 시간적 공간적(spatiotemporal) 적응형 후처리 방법^[10] 제안되었지만 이 방법 또한 많은 계산량을 요구한다. 가시적인(visible) 블록 위치를 찾은 후 에지 검출 및 세선화(thinning)를 수행하는 Kuo와 Hsieh에 의하여 제안된 방법^[11] 블록내부와 블록경계를 처리하기 위해 상대적으로 공간 불변 필터(space-invariant filter)와 공간 변화 필터(space-variant filter)를 이용한다. 이러한 방법은 낮은 bit-rates에서 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 및 주관적 화질을 향상시키지만, 주된 단점은 많은 계산량이 요구된다는 점이다. 계산량은 실시간 응용을 위한 주된 요소이다. Convex set으로 투영(POCS, Projecting Onto Convex Set)의 이론을 이용한 반복 영상 복원 방법(iterative image recovery algorithms)들은^[15-18] 영상의 blurring 없이 효과적으로 영상의 블록화 효과를 줄이는데, 주된 특징은 영상 잡음 제거를 위한 양자화, 대역폭 제한, 기울기 불연속(gradient discontinuity) 같은 제약(constraints)을 이용하는 것이다. 그러나 이러한 방법들은 JPEG 같은 정지화상에 쉽게 적용될 수 있지만 저 전송률 동화상인 경우, 반복적으로 영상잡음을 제거하는 특징 때문에 너무 많은 계산량을 요구하기 때문에 적용이 쉽지 않다.

저 전송률 동화상 압축에서 블록화 효과를 줄이기 위하여 루프 필터(loop filter)들이 제안 되어왔다^[1-3]. 이러한 방법들은 블록 경계에서 블록화 효과를 줄이기 위해 (1,2,1)의 3-tap LPF(low-pass filter)^[1] 나 (1,14,1)의 LPF를^[2] 사용한다. 비록 PSNR은 항상 되지만, (1,14,1)의 LPF는 블록화 효과를 줄이기는 너무 약한 가중치 필터계수를 갖고, (1,2,1)의 3-tap LPF는 블록 경계상의 영상 세부(details) 정보를 열화(degrade)시킬 수 있다. 루프 필터링을 채택한 TMN10 (Test Model Near-term for ITU-T Recommendation H.263 Version 2)^[2,3]은 에지 검출 및 양자화 값에 따라 블록 경계에서 deblocking 필터링을 한다. 에지 검출은 (1,-4,4,1) 필터 계수를 사용하여 블록 경계가 진짜 에지 인지 가짜 에지 인지 결정한다. 이 방법은 좋은 주관적 화질을 보이지만 루프 필터링을 쓰지 않은 TMN10 복원기의 PSNR보다 낮은 PSNR 값을 갖기 때문에 영상의 세부정보를 열화 시킴을 알 수 있다. 적은 계산량을 갖는 제안된 루프 필터링 방법과 후 처리 방법을 개발하여 TMN10에 적용한다. 이 방법들은 주관적 화질, 계산량, PSNR을 고려하여 설계 하였다. 계산량은 S/W 및 H/W로 제안한 방법들을 구현하기 위한 중요한 요소이다. 개발된 방법에서, 모든 8×8 블록에서 블록화 현상 및 링잉 잡음을 검출하기 위하여 움직임 벡터와 DCT 대역(domain)에서 역양자화 계수 분포를 조사한다. DCT 계수 분포 및 움직임 벡터의 정보를 이용하여, 1차원 LPF와 2차원 신호 적응 필터(Signal Adaptive Filter, SAF)를 모든 8×8 블록에 적응적으로 적용된다. 계산량 측면에서 제안된 루프 필터링은 제안된 후처리 방법보다 상당히 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있었다.

본 논문의 II장은 블록화 현상 및 링잉 잡음의 신호를 추출하기 위하여 DCT 계수 분석 및 움직임 벡터의 이용방법을 설명한다. 개발된 루프 필터링 및 후처리 방법은 III장에서 설명하고, IV장에서는 주관적 객관적 화질 및 계산량 측면에서 개발된 방법들의 비교 연구를 수행한 후, V장에서 필터링 방법의 결론을 맺는다.

II. 블록화 현상 및 링잉 잡음 flag(신호)의 추출

후처리 방법은 단지 복원된 영상에 적용되지만, 루프 필터링은 움직임 예측 및 보상을 위한 참조

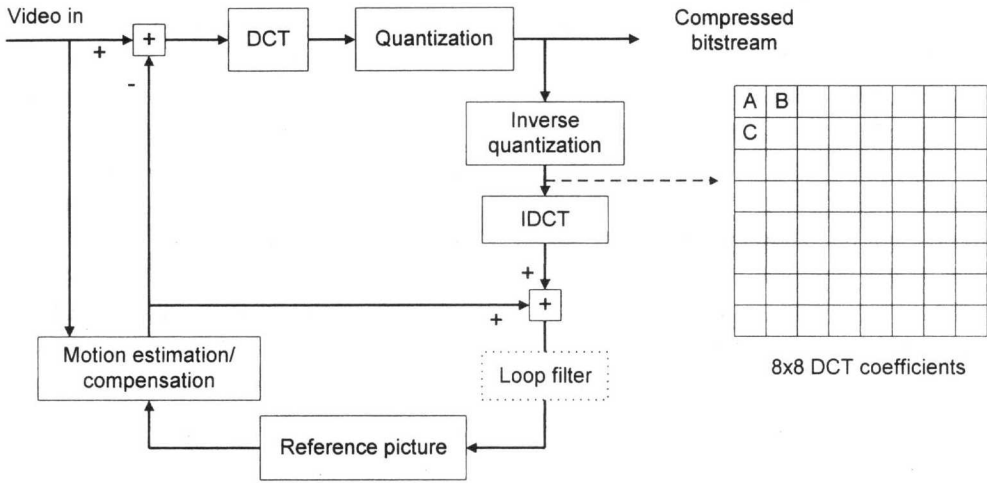


그림 1. H.263+의 압축기 블록 다이어그램과 역양자화 후 8x8 DCT 계수

영상(reference frame)에 적용된다. 즉 루프 필터링은 압축기와 복원기 양쪽에 필요하다. 루프 필터링에서 움직임 예측 및 보상은 필터링 된 참조영상에 수행되므로, 움직임 벡터와 압축된 bit-rates는 루프 필터링을 사용 안 했을 때와 달라지게 된다. 반면에 후처리 방법은 움직임 벡터 값 및 bit-rates에 영향을 미치지 않는다.

적은 계산량으로 양자화 효과를 줄이기 위하여, 두 종류의 flag(신호)이 정의된다: blocking flag (BF), ringing flags(RFs). BF와 RFs는 8x8 DCT 계수와(또는) 움직임 벡터를 고려하여 결정된다. BF, RFs 정보를 결정하기 위한 과정은 압축기 및 복원기에서 똑같이 계산되므로, BF, RFs 정보는 압축기로부터 복원기로 전달되지 않는다. 따라서 신호 정보를 위한 bit-rates의 낭비는 전혀 없다.

2.1 INTRA 블록의 신호(flags)

그림 1에 base-line H.263의 압축기 블록 다이어그램을 보인다. 그림 1의 8x8 역 양자화 블록에서, A,B,C 위치의 계수들이 BF와 RFs를 결정하기 위해 사용된다. 8x8 DCT 블록의 위치 A에서만 0 이 아닌 값을 갖는 경우, 8x8 복원 블록의 모든 64 화소는 같은 값을 갖는 블록이 된다. 이 블록 주변의 작은 화소 값 변화는 사람의 눈에 의하여 쉽게 인지된다. 즉 블록화 현상을 일으킨다. 따라서 모두 같은 값을 갖는 블록의 수평 블록킹 프래그(Horizontal Blocking Flag, HBF)와 수직 블록킹 프래그(Vertical Blocking Flag, VBF)를 "1"로 설정한다. 8x8 역 양자화 블록의 1번째 행의 계수들

만이 0 이 아닌 값을 갖으면, 각 열의 8 화소는 공간 영역(spatial domain)에서 같은 값을 갖으므로, 이 블록은 현재블록과 수직으로 인접한 블록들과 수직 블록화 현상을 발생시킬 수 있다. 즉 VBF를 "1"로 설정한다. 1번째 열의 계수들만이 0 이 아닌 값들을 가질 때 각 열의 8 화소는 공간영역에서 같은 값을 갖으므로 이 블록은 현재 블록과 수평으로 인접한 블록들과 수평 블록화 현상을 일으킬 수 있다. 즉 HBF를 "1"로 설정한다. III장에서 위에서 구해진 각 블록의 HBF 및 VBF 정보를 이용하여 deblocking 필터링을 수행한다.

INTRA 블록에서, 만약 8x8 DCT 블록의 위치 A,B,C가 아닌 위치에 0 이 아닌 DCT 계수가 존재하면 Ringing flag(RF0)는 "1"로 설정된다. 블록 내에서 0이 아닌 high frequency 계수는 그 블록이 영상 에지를 포함하는 것을 의미한다. 따라서 High frequency 계수의 양자화는 영상 에지 주변의 링잉 잡음을 발생 시킬 수 있다. HBF, VBF, RF0는 각 블록에 대하여 내부적으로 3 bits로 저장된다.

2.2 INTER 블록의 신호(flags)

참조영상의 HBF, VBF, RFs는 움직임 벡터와 움직임 보상 잉여 정보에 (motion-compensated residual information) 따라 다음 INTER 프레임으로 전파된다. Not-coded 인 skipped macroblock (MB)의 경우, 참조(reference) MB의 6개 블록의 (4개의 luminance 블록, 2개의 chrominance 블록) HBF, VBF, RFs는 현재 INTER MB의 6개의 대응되는 블록으로 단순히 복사된다.

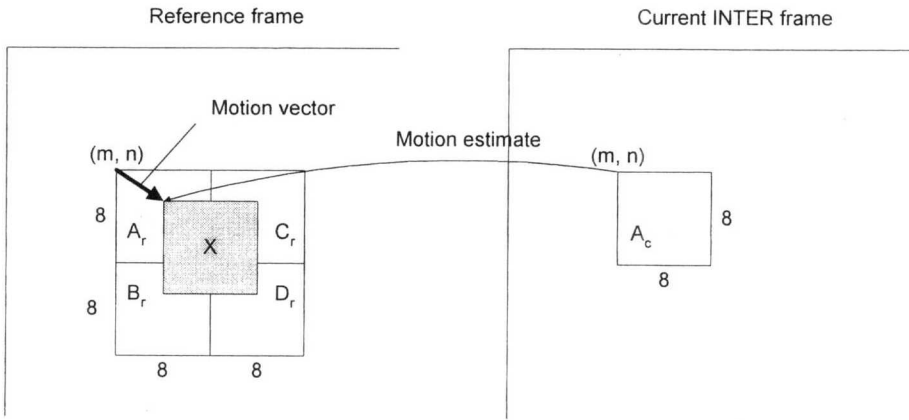


그림 2. INTER frame의 블록과 참조영상의 블록들간의 관계.

2.2.1 참조 블록에서 INTER 블록으로 블록화 신호 (flags)의 전파

그림 2는 INTER MB내에 있는 블록 A_c 와 참조영상내의 움직임 예측블록에 대한 관계를 보인다. A_c 는 현재 INTER MB의 한 block이고, X 는 A_c 의 움직임 예측 block이다. A_r, B_r, C_r, D_r 의 블록들은 참조 프레임의 움직임 예측 블록 X 와 중첩(overlap)된다. A_c 의 HBF와 VBF는 참조 프레임의 중첩된 블록들의 HBF's와 VBF's를 각각 비트단위 AND 연산에 의하여 계산될 수 있다. 이러한 경우, AND 연산은 움직임 예측 블록 X 에 의하여 중첩된 참조 블록들에 대하여 수행된다. 그림 3은 움직임 벡터 (5, 3.5)를 갖는 INTER 블록에 대한 신호 전파의 예를 보인다.

2.2.2 참조 블록에서 INTER 블록으로 링잉신호 (flag)의 전파

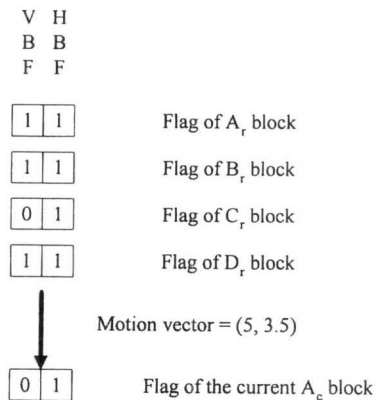
루프 필터링 과 후처리 방법의 주된 차이는 필터링된 참조영상이 루프 필터링에서 움직임 보상을 위한 참조영상으로 사용되지만, 필터링이 안된 참조영상이 후처리 방법에서 사용된다는 점이다. 루프 필터링에서 참조영상은 이미 필터링 되었기 때문에, 약한 필터(weak filter) 계수로써 움직임 보상 영상을 향상시킬 수 있다. 따라서 INTER 블록의 RF's는 루프 필터링 과 후처리 방법의 경우 약간 다른 방법으로 결정된다.

INTER 블록에는 2개의 링잉 flag, RF0와 RF1을 설정하였다. 루프 필터링의 RF0와 후처리 방법의

RF0는 완전히 다르게 구현된다.

루프 필터링의 RF: 단지 움직임 보상된 에러신호(motion-compensated error signal, 잉여신호)의 DC 계수만이 nonzero이면, INTER 블록의 RF0는 "1"로 설정한다. INTER 블록의 RF0는 deblocking 필터를 결정하기 위하여 사용된다. 움직임 보상된 에러신호의 IQC(Inverse Quantized Coefficients)의 AC 계수들 중 nonzero인 것이 하나라도 있으면, INTER 블록의 RF1은 "1"로 설정한다. RF's는 루프 필터링에서 참조 영상으로부터 전파되지 않는다.

후처리 필터링의 RF: 후처리 필터링의 RF's는 복원기에서만 계산된다. 잉여신호의 IQC의 AC 계수들 중 nonzero인 것이 하나라도 있으면, INTER



HBF = 1 (=1&1&1&1)
 VBF = 0 (=1&1&0&1) & : bit-wise AND operation

그림 3. INTER 블록에 대한 HBF(Horizontal Blocking Flag) 와 VBF(Vertical Blocking Flag)의 전파(propagation) 예.

블록의 RF1은 “1”로 설정한다. H.263+는 한개의 macroblock에 대하여 4개의 움직임 벡터를 전송하는 advanced prediction mode를 지원한다. Advanced prediction mode는 고주파 성분을 갖는 영역에 적용된다. Advanced prediction mode를 갖는 블록의 RF0는 1로 설정한다. 그 이유는 양자화와 따른 ringing 잡음은 고주파 성분을 갖는 블록에서 발생되기 때문이다. 위의 결정 후에도 RF0가 “0”으로 되어 있는 경우, INTER 블록의 RF0는 그

림 3과 유사하게 중첩된 참조 블록들의 RF0's에 대한 비트단위(bitwise) OR 연산에 의하여 결정된다.

Ⅲ. 제안된 필터링 방법들

II장에서 필터링을 위한 블록킹 신호와 링잉 신호를 추출하는 방법을 설명하였다. 이번 장에서는 II 장으로부터 얻은 신호정보에 따라 필터링이 수행된

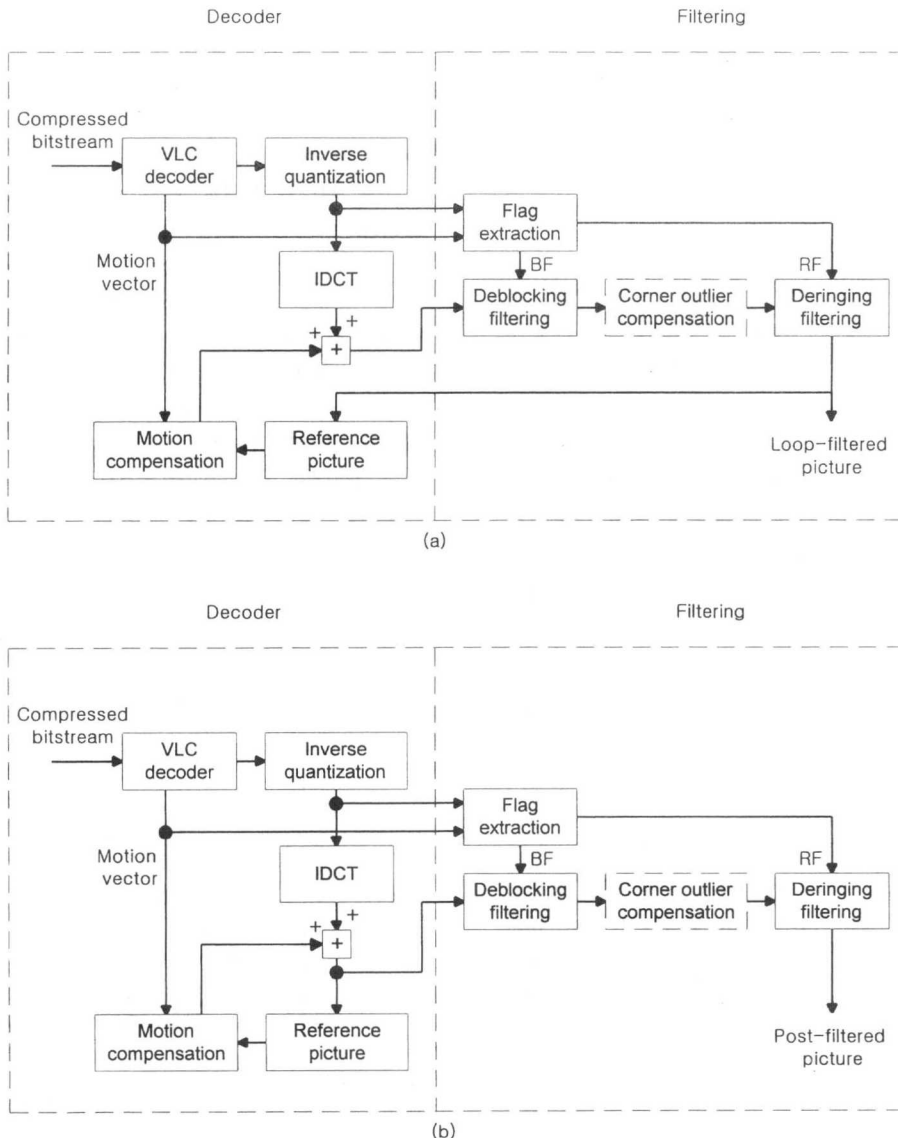


그림 4. H.263+의 복호기 블록 다이어그램 (a) 루프 필터링이 함께 쓰일 경우, (b) 후처리 필터링이 함께 쓰일 경우.

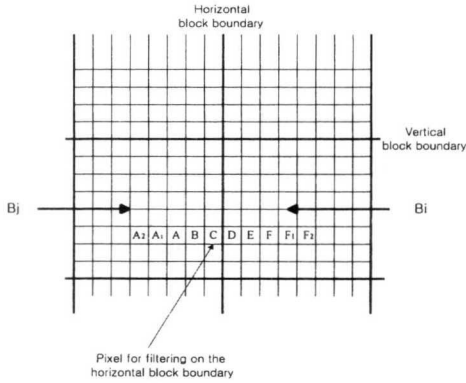


그림 5. Deblocking 필터링을 위한 블록경계와 화소

1차원 저대역 필터링은 수평, 수직 블록 경계에서 HBF, VBF에 따라 강하게, 약하게 수행된다. 일반적인 deblocking 알고리즘은 영상 에지를 검출하고, 영상 에지를 보존하면서 블록화 효과를 줄이도록 저대역 필터링을 적응적으로(adaptively) 수행한다^[8-11]. 하지만, 제안된 deblocking 알고리즘은 많은 계산량을 요구하는 영상 에지 검출을 안한다. 그 이유는 II장에서 구한 신호(BFs, RFs)를 이용하기 때문이다. 제안한 방법의 장점은, DCT 계수가 inverse zig-zag scan 될때 DCT 계수 분포로부터 블록화 잡음 정보를 얻기 때문에 edge 검출을 할 필요가 없다는 점이다.

다. 그림 4는 루프 필터링과 후처리 필터링을 포함하는 H.263 복원기의 블록 다이어그램을 보인다. 루프 필터링 및 후처리 필터링은 deblocking 필터링, 코너 이상치 보상기, deringing 필터링을 수행한다.

현재 block BLOCK_I와 인접 block BLOCK_J를 그림 5에 보인다. 1차원 저대역 필터링이 BLOCK_I와 BLOCK_J간의 블록 경계에 수행된다. 루프 필터링 및 후처리 필터링의 수평 deblocking 필터링이 그림 6과 그림 7에 나타난다. 그림에서 "NOT coded"는 skipped macroblock, "INTRA_BLOCK"은 INTRA macroblock내의 블록, B_i 와 B_j 는 그림 5의 BLOCK_I, BLOCK_J를 의미한다. 수직 deblocking 필터링은 수평 deblocking 필터링과

3.1 블록화 효과를 줄이기 위한 deblocking 필터링

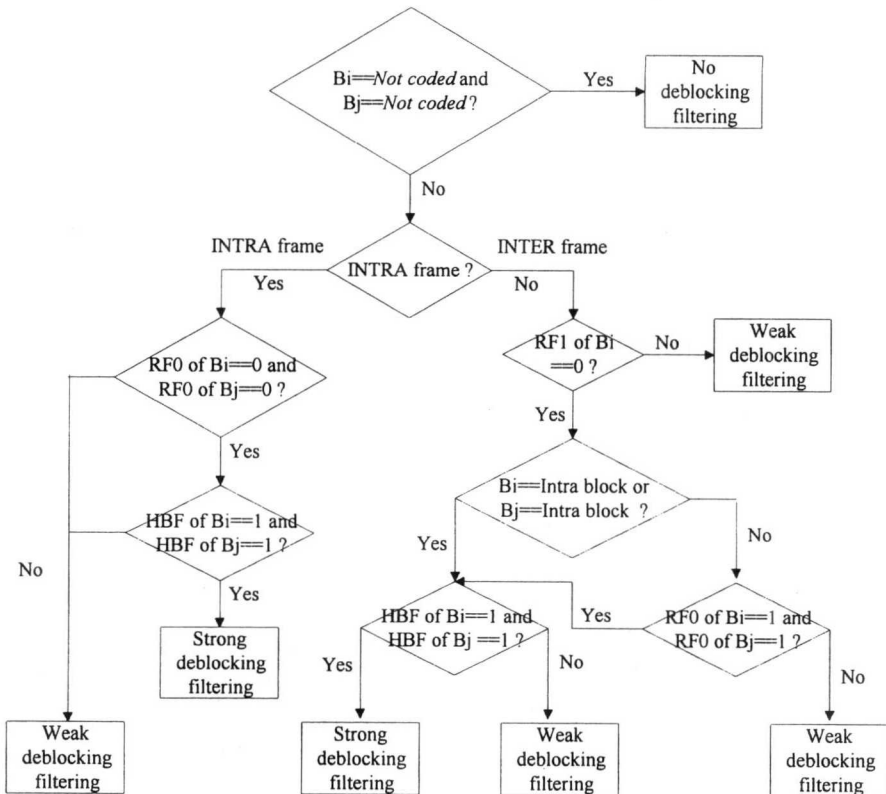


그림 6. 루프 필터링의 수평 deblocking 필터링

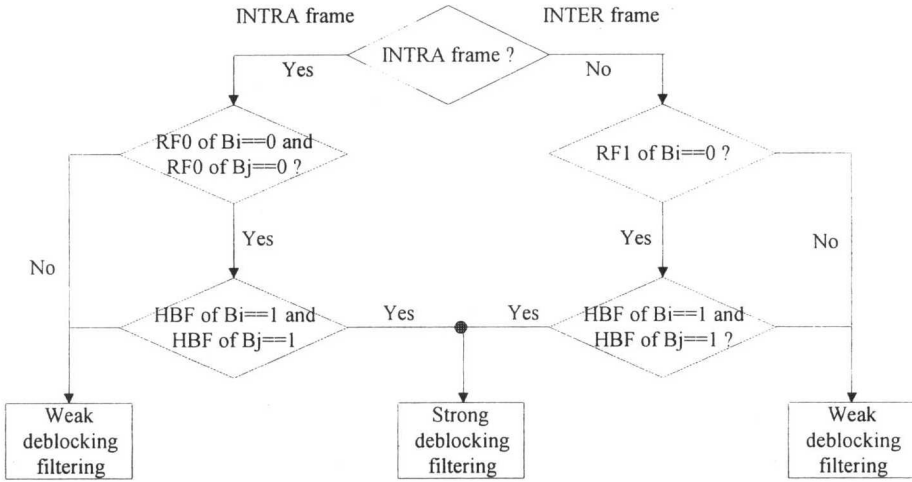


그림 7. 후처리 필터링의 수평 deblocking 필터링

같은 방법으로 처리된다. 루프 필터링 내에서 수평 deblocking 필터링이 그림 6에서 INTRA frame에 적용될 때, 강한 deblocking 필터링은 Bi의 RF0와 Bj의 RF0가 '0' (no ringing noise) 이면서 Bi의 HBF와 Bj의 HBF가 '1' (horizontal blocking noise)이라면 수행된다. 그 외의 경우는 약한 deblocking 필터링이 적용된다. 후처리 필터링의 경우도 그림 7에 보인다.

그림 8(a)는 블록화 효과의 1차원적 그림의 전형적인 예이다. 루프 필터링과 후처리 필터링 안에서 강한 deblocking 필터링은 그림 8(b)의 수평 블록 경계상에서 각 6개의 화소 (A, B, C, D, E, and F)에 대하여(1, 1, 1, 2, 1, 1) 7-tab 계수로서 convolution이다. 후처리 필터링의 약한 필터링은 루프 필터링의 약한 필터링과 다르다. QP가 H.263의 양자화 계수라 할 때, 만약 $|D-C|$ 가 QP보다 작다면, 4개의 화소 B, C, D, E는 후처리 필터링 내에서 filtered 되지만, 루프 필터링 내에서 2개의 화소 C, D만이 필터링된다. 후처리 필터링 및 루프 필터링의 약한 필터링의 결과를 그림 8(c), 8(d)에 보인다. 수직 필터링은 수평 필터링이 같은 방법으로 수직방향으로 수행된다. 블록 기반 병렬 처리에 의하여 H/W로 구현 가능한 제한된 deblocking 필터링은 강한 필터링 및 약한 필터링에 대하여 shift 및 addition 연산만으로 구현될 수 있다.

3.2 코너 이상치 보상기(Compensator of corner outliers)

코너 이상치 보상은 HBF, VBF, RFs 정보와 관

련 없이 INTRA 프레임에만 적용된다. 코너 이상치 검출은 수평 수직 deblocking 필터링 후 모든 8×8

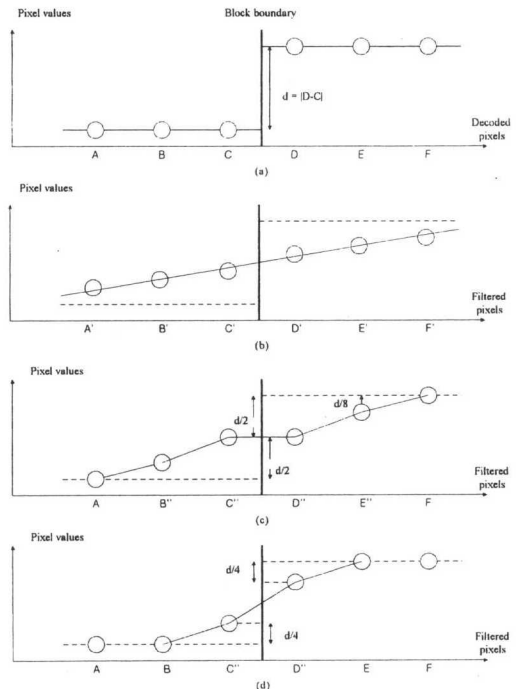


그림 8. Deblocking 필터링 전 후 블록경계상의 1차원적 화소 값: (a) Deblocking 필터링이 적용안 된 복원된 화소, (b) 루프 필터링과 후처리 필터링에서 강한 deblocking 필터링(7-tab 필터)이 복원된 화소에 적용된 후 결과, (c) 후처리 필터링에서 약한 deblocking 필터링이 복원된 화소에 적용된 후 결과, (d) 루프 필터링에서 약한 deblocking 필터링이 복원된 화소에 적용된 후 결과.

블록의 코너 화소에 수행된다. 참고문헌 [8]의 코너 이상치 검출 및 대체(replacement) 알고리즘은 복원된 영상의 블록경계의 대각위치(cross point)에 대하여 2x2 window를 사용한다. 검출 및 대체과정은 JPEG 복원영상에 수행되지, gradient 영상이나 edge map상에 수행되지 않는다. 본 논문에서 참고문헌 [13]의 코너 이상치 검출 및 보상 방법이 사용된다.

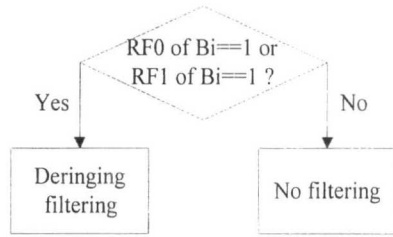


그림 10. 후처리 필터링의 Deringing 필터링.

3.3 링잉 잡음 감소를 위한 Deringing 필터링
루프 필터링 과 후처리 필터링의 deringing 필터링은 그림 9, 그림 10에 보인다. INTRA frame의 경우, 그림 9의 루프 필터링 내의 deringing 필터링은 Bi의 RF0가 "1"(링잉 잡음 발생) 일때 수행된다. INTER frame의 경우, Bi가 coded이고 INTRA 블록이거나, INTER4V 블록이거나, Bi의 RF1이 "1"(잉여신호의 IQC의 AC 계수가 하나라도 non-zero) 이면, 루프 필터링의 deringing 필터링이 수행된다. 그림 10은 같은 방법으로 설명될 수 있다.

Deringing 필터링은 edge 검출 및 2차원 신호 적응 필터링으로 처리된다. 영상의 고주파(high frequency) 부분을 보전하기 위하여 필터링 전 edge 검출과정이 수행되고, 2차원 신호적응 필터링이 deringing 필터링에 할당된 8x8 블록에 다음과 같이 수행된다.

Edge detection: 1차원 수평 수직 미분 연산자 (gradient operator)가 복원된 블록들에 적용된다. 미분값(gradient value)들은 edge map을 결정하기 위하여 H.263의 QP 값에 의하여 threshold 된다. 그림 12에서 m을 수직방향, n을 수평방향 이라 한다면, 우선 수평 edge 검출이 모든 8x8 블록에 대하여 수행된다. 각 화소에 대하여 edge 검출을 위하여

그 화소의 왼쪽 오른쪽 화소들이 다음처럼 비교된다. A1이 $|pixel[m][n]-pixel[m][n+1]|$, A2 가 $|pixel[m][n]-pixel[m][n-1]|$ 이라 했을 때, A1 또는 A2가 threshold 2QP 보다 크거나, A1 A2가 threshold QP보다 크면 현재 화소 $pixel[m][n]$ 는 edge 화소로 설정된다. 수직 edge 검출도 $pixel[m][n]$ 이 edge 화소로 설정 안된 경우 위, 아래 화소에 대하여 마찬가지로 방법으로 수행된다. Edge 검출은 convolution 과정이다. Edge map은 $pixel[m][n]$ 으로부터 다음처럼 계산된다.

```

/* Horizontal edge detection */
A1 = |pixel[m][n]-pixel[m][n+1]|;
A2 = |pixel[m][n]-pixel[m][n-1]|;
if ((A1>QP) and (A2>QP)) or (A1>2QP) or
(A2>2QP))      Edge[m][n] = 1;
else {          /* Vertical edge detection */
  A1 = |pixel[m][n]-pixel[m+1][n]|;
  A2 = |pixel[m][n]-pixel[m-1][n]|;
  if ((A1>QP) and (A2>QP)) or (A1>2QP)
or
(A2>2QP))
    Edge[m][n] = 1;
}
    
```

Edge 검출 결과의 예는 그림 11(b)에 보인다. 2차원 신호 적응 필터링이 8x8 블록 단위로 적용하기 위하여 edge 정보는 그림 11(b)에서 보인 것처럼 8x8 블록을 포함한 10x10 화소에 대하여 얻어진다.

Signal-adaptive filter (SAF): Deringing 필터링은 영상의 high frequency 성분은 보전하면서 링잉 잡음을 부드럽게 하도록 개발되었다. Convolution 연산인 deringing 필터링은 convolution시 가중치 값들이 edge map에 따라 변하도록 설계되었다. 이차원 신호 적응 필터의 window는 그림 11(a)에 나타난다. Filter window의 중앙점 A가 edge 화소이면, 2D 필터링이 수행되지 않는다 (그림 11(b)의

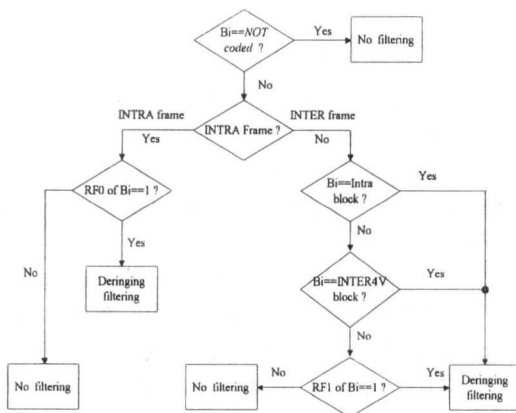


그림 9. 루프 필터링의 Deringing 필터링

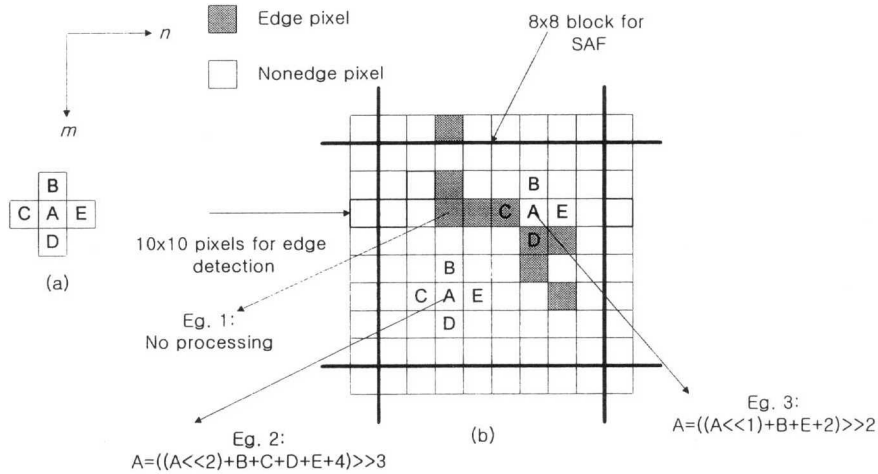


그림 11. Edge map에 대한 신호 적응형 필터링: (a) 2-D SAF의 window, (b) edge 검출을 위한 10×10 블록과 SAF의 예.

Eg. 1). 만약 4-connected filter window에 edge 점들이 포함되지 않으면 (그림 11(b)의 Eg. 2) 저대역 필터링이 수행된다. 만약 edge가 중앙점이 아닌 4-connected filter window에 있으면, edge 화소를 제외한 화소들에 대한 가중치 필터링(Weighted filtering)이 수행된다 (그림 11(b)의 Eg. 3). 가중치는 계산량을 고려하여 설계되었다. SAF는 표 1에 있는 것처럼 단순 shift 및 덧셈연산에 의하여 수행

될 수 있다.

IV. 실험방법 및 결과

실험은 각각 300장씩의 영상으로 구성된 13종류의 영상 시퀀스(sequence)를 이용하여 고정된 H.263 QP, unrestricted ME/MC, advanced prediction mode(APM), DC/AC 예측, advanced intra coding mode(AICM), TMN8 rate 제어 방식을 갖는 H.263+ TMN10(H.263 Version 2)을 이용하였다^[2]. 각 시퀀스는 IPPPPPPP.. 방식으로 압축하였다. 실험은 블록화 효과 줄이고, 코너 이상치 보상, 링잉 잡음을 줄이는 개발된 루프 필터링 및 후처리 필터링의 성능비교 후 제안된 루프 필터링과 TMN 루프 필터링(H.263+(+) Annex J 루프 필터링[3])의 성능비교를 수행한다.

표 1. Edge map을 고려한 신호 적응형 필터의 가중치, 원편의 다섯개의 열에서 "0"은 non-edge 위치, "1"은 edge 위치를 의미함.

0	0	0	0	0	$(4A+B+C+D+E+4)/8$
0	0	0	0	1	$(4A+B+2C+D+4)/8$
0	0	0	1	0	$(4A+2B+C+D+4)/8$
0	0	0	1	1	$(2A+B+C+2)/4$
0	0	1	0	0	$(4A+B+D+2E+4)/8$
0	0	1	0	1	$(2A+B+D+2)/4$
0	0	1	1	0	$(2A+B+E+2)/4$
0	0	1	1	1	$(A+B+1)/2$
0	1	0	0	0	$(4A+C+2D+E+4)/8$
0	1	0	0	1	$(2A+C+D+2)/4$
0	1	0	1	0	$(2A+C+E+2)/4$
0	1	0	1	1	$(A+C+1)/2$
0	1	1	0	0	$(2A+D+E+2)/4$
0	1	1	0	1	$(A+D+1)/2$
0	1	1	1	0	$(A+E+1)/2$
0	1	1	1	1	A

4.1 주관적 화질평가

동영상 압축에서 루프 필터링 및 후처리 필터링 방법에 대한 가장 중요한 성능평가 요인인 주관적인 화질평가를^[18] 위하여, SSM(Single Stimulus Method) 대신 MSSM (Modified Single Stimulus Method)이 사용되었다.

화질 평가를 위하여 원 시퀀스, H.263+ 복원기에 의하여 복원된 시퀀스, 후처리 필터링 의하여 복원된 시퀀스, 루프 필터링에 의하여 복원된 시퀀스에 대해 비교를 쉽게 할 수 있도록, 그림 12처럼 720×480의 화면에 동시에 기록되었다. 또한 복원된 시퀀스는 U, V 신호의 확장으로서 4:2:2 (Luminance

Original sequences	Decompressed sequences (A)
Proposed post filtering (B)	Proposed loop filtering (C)

그림 12. 주관적 화질 평가를 위한 D1-tape 보기

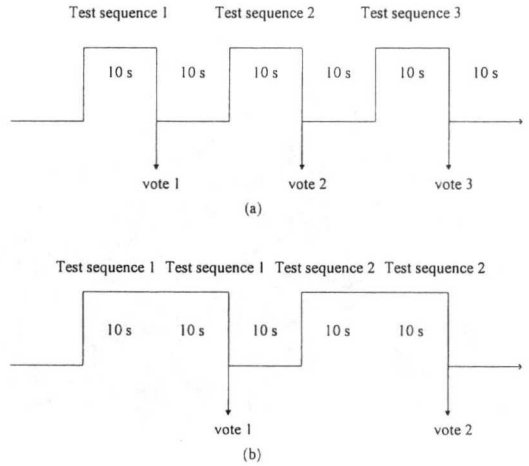


그림 13. 주관적 화질 평가를 위한 시퀀스 보기: (a) SSM, (b) MSSM

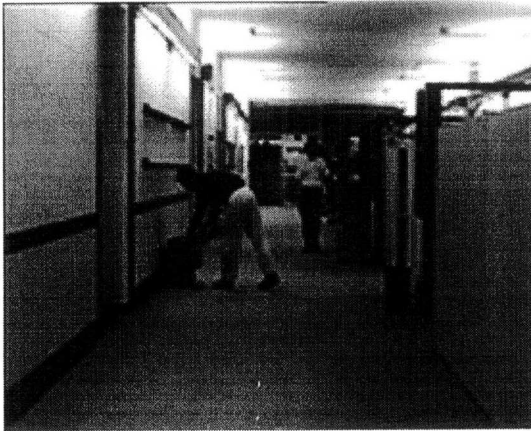
Y : Chrominance U, Chrominance V) 프로파일로 구성된다. 압축조건이 7.5Hz와 10Hz, 15Hz처럼 30Hz가 아닌 경우는 반복적인 프레임 삽입에 의하여 복원 후 30Hz로 구성한다. MPEG에서 주관적 화질 평가 시 권고하는 것처럼 QCIF 시퀀스의 경우, 각각의 QCIF 영상은 CIF 영상으로 확대 (up sampling) 하였는데, 이때 Y 성분에 대해서는 4-tab (-1, 9, 9, -1) 필터, U, V 성분에 대해서는 4-tab (1, 3, 3, 1) 필터를 이용했다. QCIF 영상을 CIF 영상으로 확대한 이유는 QCIF 영상이 너무 작기 때문에 잡음 효과들이 눈에 쉽게 보이지 않을 수도 있기 때문이다. 따라서 모든 복원된 시퀀스들은 각각 CIF 크기를 갖는 300 프레임 (30Hz)으로 구성된다.

그러나 10초간의 동영상 관찰이 투표를 위해서 너무 짧을 수 있기 때문에 한번 더 반복하여 보여

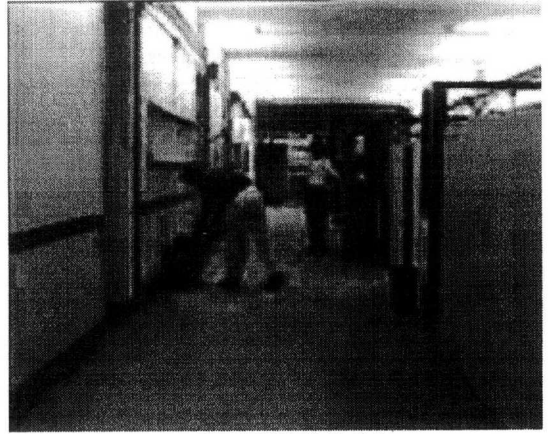
주었고 투표를 위한 시간을 평가자들에게 10초간 주었다. 그림 13에 MSSM의 실험 방법을 보인다. SSM과 MSSM의 차이는 300 프레임을 한번 더 반복해 보이느냐 아니냐 이다. 이와 같은 방법으로 13개의 실험영상에 대한 주관적 화질 평가를 수행하였다. 주관적 화질평가를 위하여 10인의 영상처리 관련자들이 참석하여 그림 12의 D1 테이프를 보고 가장 좋은 결과를 보이는 방법에 대하여 투표를 하였다. MSSM을 이용한 주관적 화질 평가 결과인 표 2로부터 루프 필터링과 후처리 필터링은 비슷한 결과를 보인다고 말할 수 있다. 그림 14에 “Hall

표 2. MSSM을 이용한 주관적 화질 평가. 숫자는 실험에 참석한 10명중, 가장 좋은 주관적 화질을 갖는다고 판단한 방법에 대한 투표 결과.

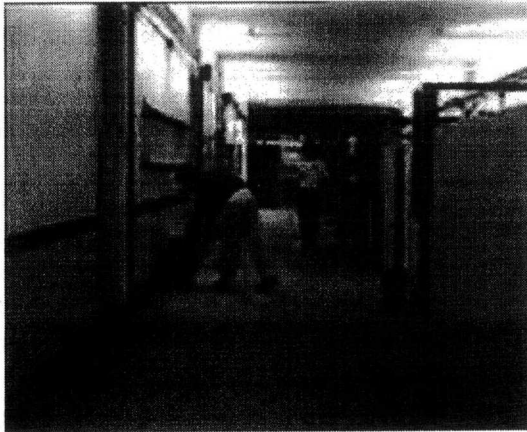
Bitrates, Image size, Frame rat	Sequences	Decompressed sequence	Proposed post filtering	Proposed 루프 filtering	차이없음
10kbps, QCIF, 7.5	Hall	0	3	5	2
	M&D	0	4	1	5
	Container	0	6	2	2
24kbps, QCIF, 10Hz	Hall	0	2	4	4
	M&D	0	5	3	2
	Container	0	1	6	3
	Silent Voice.	0	4	2	4
48kbps, QCIF, 10Hz	Foreman	0	3	2	5
	Coast	0	1	6	3
48kbps CIF, 7.5Hz	News	0	2	2	6
112kbps, CIF, 15Hz	News	0	2	2	6
	Foreman	0	2	4	4
	Coast	0	3	2	5
	Total	0	38	41	51



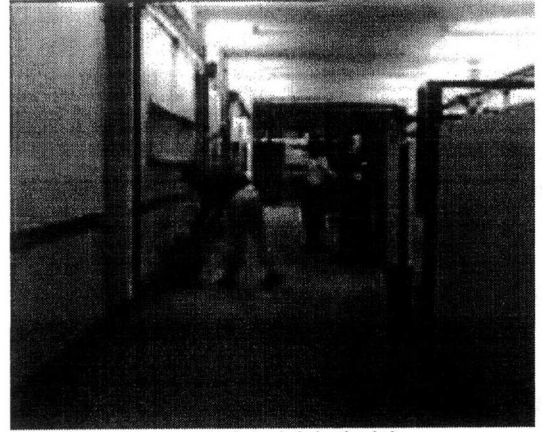
(a) 원래 영상



(b) TMN10 복원 영상



(c) 루프 필터링 된 영상



(d) 후처리 필터링 된 영상

그림 14. "Hall monitor" 시퀀스의 원래 120번째 영상과 TMN10 복원영상에 루프 필터링 된 영상 및 후처리 필터링 된 영상 (fixed QP=18, 7.5 frame/sec, 24kbps):

Monitor" 시퀀스의 120번째 영상에 대한 각각의 결과를 보인다. 시험조건으로 QP는 18, Frame rate는 7.5HZ, QCIF 영상크기를 이용하였다. 제안한 루프 필터링(그림 14(c)) 및 제안한 후처리 필터링 (그림 14(d))을 사용한 TMN복원기가 필터링을 사용하지 않은 TMN복원기 보다는 (그림 14(b)) 주관적 화질 평가에서 좋은 결과를 보인다.

4.2 객관적 화질평가

PSNR은 객관적 성능비교를 위하여 사용되었고^[7], 그 결과를 표 3에 보인다. 표 3은 TMN10만을 사용한 경우, 개발된 루프 필터링을 TMN10과 같이 사용했을 경우, TMN10에 개발된 후처리 필터링을 사용한 경우, 이 각각의 경우에 대한 PSNR 및 bitrates의 변화를 보인다. 표 2에서 Avg. PSNR은 모든 복원된 영상의 평균 PSNR, INTRA PSNR은

첫번째 Intra 영상의 PSNR을 의미한다. 개발된 후처리 필터링을 포함한 TMN10 복원기의 PSNR이

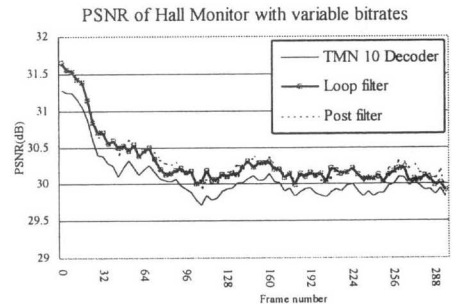


그림 15. 300 프레임에 갖는 "Hall monitor" 시퀀스의 각각 프레임에 대한 TMN10 복원기, 루프 필터링을 한 TMN10 복원기, 후처리 필터링을 한 TMN10 복원기의 PSNR. 시퀀스는 7.5Hz, 고정된 QP(=18), QCIF의 해상도로 압축되었다.

표 3. 실험 시퀀스들에 대한 TMN10 복원기(A), 루프 필터링을 포함한 TMN10 복원기(B), 후처리 필터링을 포함한 TMN10 복원기(C)의 PSNR 및 bit rates 비교 고정된 양자화 값이 각 시퀀스에 적용되었다.

Bitrates, Size, Frame rates	Sequences	Fixed QP	A			B			C	
			INTRA PSNR	Avg PSNR	Bitrates (kbps)	INTRA PSNR	Avg PSNR	Bitrates (kbps)	INTRA PSNR	Avg PSNR
10kbps, QCIF, 7.5Hz	Hall monitor M & D Container Ship	18	31.29	30.10	9.534	31.65	30.31	9.438	31.67	30.33
		15	33.46	32.31	8.798	33.80	32.42	8.744	33.79	32.48
		17	31.22	29.72	9.912	31.35	29.67	9.957	31.37	29.78
24kbps, QCIF, 10Hz	Hall monitor M & D Container ship Silent voice	9	35.61	34.25	25.048	35.80	34.42	24.506	35.82	34.53
		8	37.11	35.33	22.941	37.21	35.32	23.050	37.20	35.44
		9	35.06	33.29	26.233	35.16	33.30	26.027	35.18	33.40
		14	32.05	30.72	21.039	32.13	30.77	20.714	32.13	30.83
48kbps, QCIF, 10	Foreman Coast guard	13	32.90	31.00	43.724	33.21	31.11	43.654	33.20	31.11
		14	31.54	29.04	44.616	31.38	28.96	44.920	31.26	29.00
48kbps, CIF, 10Hz	News	19	32.25	31.25	44.210	32.51	31.28	43.886	32.52	31.36
112kbps, CIF, 15Hz	News Foreman Coast guard	12	35.23	33.69	101.107	35.48	33.73	100.348	35.49	33.79
		29	29.86	28.96	101.815	30.46	28.89	102.491	30.44	28.90
		30	27.87	26.45	111.439	27.93	26.27	112.990	27.87	26.30

TMN10 복원기 및 루프 필터링을 포함한 TMN10 복원기보다 대부분의 시험 시퀀스에서 약간 좋은 결과를 보인다.

예로서, 그림 15는 10kbps (fixed QP=18을 이용), 7.5Hz, QCIF(176×144) 해상도로 압축된 “Hall monitor” 시퀀스의 각 프레임에 대한 PSNR 이다. 후처리 필터링을 포함한 TMN10 복원기가 가장 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 루프 필터링을 포함한 TMN10이 더 낮은 bitrates를 갖는

다는 것을 표 3에서 알 수 있다.

실행 S/W, H/W 복잡도 (run-time H/W S/W complexity)와 관련된 계산량 및 메모리 접근 통계 (memory bandwidth 또는 memory access statistics)가 Ultra Sparc 시스템에서 계산량을 평가하기 위하여 이용되었다. 계산량 및 메모리 읽기/쓰기 통계를 계산하기 위하여, IPROF 0.2a (Instruction Usage Profiler)가 사용되었다⁶. IPROF는 정수연산, 소수연산, jump/test/compare 연산, load/store 등의 모든

표 4. TMN10 복원기(A), 루프 필터링을 한 TMN10 복원기(B), 후처리 필터링을 한 TMN10 복원기(C)의 초당 instruction 수와 메모리 접근 통계. 볼드체로 표시한 수는 B와 C중 더 좋은 성능을 표시한다.

Bitrates	Sequences	Total Instructions (MIPS)			Memory Bandwidth (Mbyte/sec)		
		A	B	C	A	B	C
10kbps, QCIF, 7.5Hz	Hall monitor M & D Container Ship	28.59	34.92	63.79	33.69	40.49	69.63
		29.72	37.28	71.78	34.35	42.61	77.43
		29.12	36.19	61.65	34.10	41.78	67.27
24kbps, QCIF, 10Hz	Hall monitor M & D Container ship Silent voice	39.22	48.76	93.97	46.22	56.52	102.82
		41.43	58.79	102.48	47.71	66.41	110.87
		39.79	51.45	91.32	46.57	59.23	99.75
		41.09	57.04	114.75	47.28	64.39	123.64
48kbps, QCIF, 10Hz	Foreman Coast guard	46.93	76.71	131.84	52.02	83.92	140.31
		46.51	76.97	129.66	51.92	84.70	138.29
48kbps, CIF, 10Hz	News	115.02	148.37	268.44	134.05	169.90	290.05
112kbps, CIF, 15Hz	News Foreman Coast guard	229.76	297.93	546.63	269.20	342.55	593.07
		244.60	321.23	767.95	276.65	360.06	816.57
		248.10	349.01	796.60	279.90	389.50	845.33

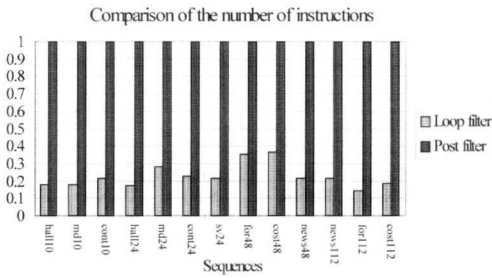


그림 16. 루프 필터링과 후처리 필터링의 instruction 수 비교 수직축은 각 시퀀스에 대하여 후처리 필터링의 instruction 수로 정규화 되었다.

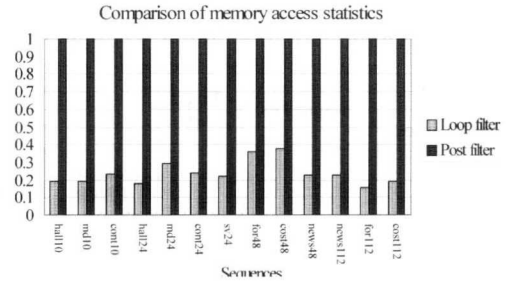


그림 17. 루프 필터링과 후처리 필터링의 메모리 접근 통계 비교 수직축은 각 시퀀스에 대하여 후처리 필터링의 총 메모리 접근통계로 정규화 되었다.

연산에 대한 모든 명령어 (opcode) 사용 통계를 계산한다. 명령어 사용 통계는 알고리즘을 구현하기 위한 복잡도를 나타낸다. 또한 IPROF는 메모리로부터 읽고 쓴 총 byte수를 계산할 수 있다. MN10 복원기, 루프 필터링을 포함한 TMN10 복원기, 후처리 필터링을 포함한 TMN10 복원기의 각 시퀀스에 대한 전체 계산량(초당 106 instruction으로 표현)과 전체 메모리 접근 통계(초당 Mega bytes로 표현)를 표 4에 보인다.

쉽게 비교하기 위하여 표 14로부터 그림 16과 그림 17은 후처리 필터링의 계산량 및 메모리 접근 통계를 1로 하고 제안된 루프 필터링의 그래프를 그린다.

비교해 보면, 루프 필터링의 평균 instruction 수

와 평균 메모리 접근통계가 후처리 필터링의 22.8%, 23.8%였다.

복원기에서 제안된 루프 필터링이 차지하는 instruction 수와 메모리 접근 통계는 각각 35.8%, 33.8%였다.

예로서 표 4에서 “Hall monitor” 시퀀스에서 루프 필터링에 대한 instruction 수와 메모리 접근 통계는 6.3 MIPS, 6.8 Mbyte/sec이다. 표5는TMN10의 macroblock에 기초한 rate control을 이용했을 때 TMN10, 제안한 루프 필터링을 갖는 TMN10, 후처리 필터링을 갖는 TMN10의 PSNR을 보인다. 표5에서 INTER의 평균 QP는 INTER 프레임들의 QP의평균이다. 그림 18은 24 Kbps, 10 Hz, QCIF 로서 압축된 “Hall monitor” 시퀀스의 각 영상의

표 5. PSNR 및 INTER 프레임의 평균 QP 비교 TMN10 복원기(A), 루프 필터링을 한 TMN10 복원기(B), 후처리 필터링을 한 TMN10 복원기(C)의 PSNR, INTER 프레임의 평균 QP, 복원된 프레임 수의 비교 이 실험을 위하여 macroblock 기반 rate control이 사용되었다.

Test Conditions	Sequences	Start QP	A			B			C		
			Avg. PSNR	Mean QP of INTER	# of encoded frames	Avg. PSNR	Mean QP of INTER	# of encoded frames	Avg. PSNR	Mean QP of INTER	# of encoded frames
10kbps, QCIF, 7.5Hz	Hall	13	31.30	18.12	63	31.52	17.90	63	31.49	18.12	63
	M&D	13	32.33	17.35	69	32.46	16.93	69	32.43	17.35	69
	Container	13	29.64	19.17	63	29.46	19.16	63	29.58	19.17	63
24kbps, QCIF, 10Hz	Hall	13	33.33	10.12	94	33.69	9.95	94	33.62	10.12	94
	M&D	13	35.12	8.30	97	35.14	8.29	97	35.27	8.30	97
	Container	13	32.54	9.60	94	32.53	9.62	94	32.61	9.60	94
	Silent	13	31.15	14.56	95	31.18	14.39	95	31.26	14.56	95
48kbps, QCIF, 10Hz	Foreman	13	31.27	12.71	98	31.35	12.66	98	31.36	12.71	98
	Coast	13	29.28	13.89	98	29.18	13.97	98	29.24	13.89	98
48kbps, CIF, 10Hz	News	13	32.00	18.64	68	32.11	18.48	68	32.09	18.64	68
112kbps, CIF, 15Hz	News	13	34.28	11.53	145	34.36	11.43	145	34.37	11.53	145
	Foreman	13	29.75	23.92	131	29.58	24.51	132	29.73	23.92	131
	Coast	13	26.59	29.76	137	26.40	29.81	136	26.45	29.76	137

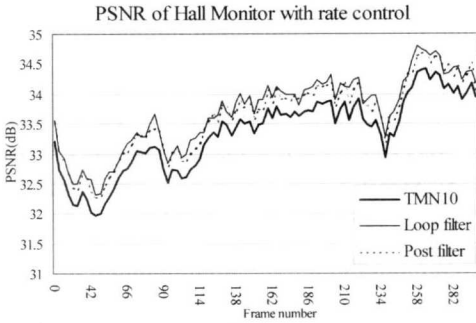


그림 18. 300 프레임에 갖는 “Hall monitor” 시퀀스의 각 프레임에 대한 TMN10 복원기, 루프 필터링을 한 TMN10 복원기, 후처리 필터링을 한 TMN10 복원기의 PSNR. 시퀀스는 TMN8 rate control 방법, 10Hz의 프레임 rates, QCIF의 해상도에서 24kbps의 고정 bit rates로 압축되었다.

PSNR을 보인다. 루프 필터링을 이용한 TMN10 복원기가 TMN10복원기나 후처리 필터링을 쓴 TMN10 복원기보다 약간 좋은 PSNR을 보이는 것을 알 수 있다.

표 6은 시퀀스조건으로 TMN10 S/W에 포함되어 있는 macroblock에 기초한 rate control을 이용했을 때 제안한 루프 필터링과 기존 TMN10 루프 필터링을 썼을 때 평균 PSNR 및 평균 QP의 비교를 보인다. 제안된 루프 필터링이 TMN10 루프 필터링보다 항상 좋은 결과를 보임을 알 수 있다. 또한 그

표 6. TMN10 루프 필터링을 한 TMN10 복원기와 제안된 루프 필터링을 한 TMN10 복원기의 PSNR, INTER 프레임의 평균 QP, 복원된 프레임 수 비교 이 실험을 위하여 각 시퀀스에 대하여 macroblock 기반 rate control이 사용되었다. 표에서 굵은 숫자는 두 방법 중 더 좋은 결과를 보이는 것을 표시한다.

Test Condition	Sequences	Start QP	TMN10 loop filtering			Proposed loop filtering		
			Avg. PSNR	Mean QP of INTER	# of encoded frames	Avg. PSNR	Mean QP of INTER	# of encoded frames
10kbps, QCIF, 10Hz	Hall	13	31.15	18.45	63	31.52	17.90	63
	M&D	13	32.30	16.83	69	32.46	16.93	69
	Container	13	29.03	20.57	63	29.46	19.16	63
24kbps, QCIF, 10Hz	Hall	13	33.17	10.36	94	33.69	9.95	94
	M&D	13	34.95	8.35	97	35.14	8.29	97
	Container Silent	13	32.03	10.14	94	32.53	9.62	94
48kbps, QCIF, 10Hz	Foreman	13	31.08	12.90	98	31.35	12.66	98
	Coast	13	29.11	14.07	98	29.18	13.97	98
48kbps, CIF, 10Hz	News	13	31.82	18.88	68	32.11	18.48	68
112kbps, CIF, 15Hz	News	13	33.93	11.81	145	34.36	11.43	145
	Foreman	13	29.23	24.79	132	29.58	24.51	132
	Coast	13	26.40	30.03	136	26.40	29.81	136

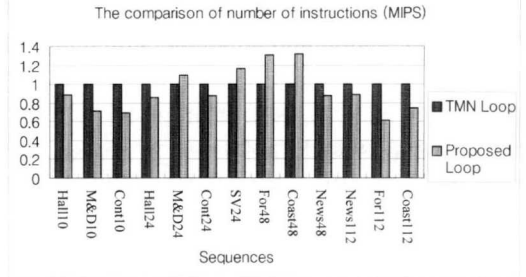


그림 19. TMN10 루프 필터링과 제안된 루프 필터링의 instruction 수 비교 수직축은 각 시퀀스에 대하여 TMN10 루프 필터링의 instruction 수로 정규화 되었다

림 19에서 보인 것 처럼 계산량 측면에서도 제안한 루프 필터링이 TMN10 루프 필터링보다 더 좋은 결과를 보임을 알 수 있다.

V. 결론

영상을 많이 압축하면, 복원된 영상은 양자화 효과에 의하여 블로킹 효과, 코너 이상치, 링잉잡음을 발생시킨다. 개발된 루프 필터링과 후처리 필터링은 BF, RFs 및 적응형 필터를 사용함으로써 복원된 영상의 양자화 효과를 줄인다. 블록 경계와 블록 내부에서 잡음을 예측하는 BF와 RFs를 이용함으로써 제안된 루프 필터링과 후처리 필터링은 낮은 계산

량을 가질 뿐만 아니라 효과적인 필터링 방법에 기 인하여 좋은 주관적 화질을 보인다. 비디오 압축에 서 영상의 열화를 줄이기 위한 필터링 방법에서 주 관적 객관적 영상 화질향상 뿐만 아니라 계산량은 실시간 응용을 위하여 고려되어야 할 중요한 요소 이다. 각 블록의 BF와 RFs는 루프 필터링과 후처 리 필터링의 계산복잡도를 줄이는데 크게 기여한다. 제안된 루프 필터링과 후처리 필터링은 저 전송율 동영상압축에 효과적으로 사용될 수 있다. 왜냐하면 제안된 방법들은 낮은 계산량으로 영상의 화질을 향상시키기 때문이다. 특히 본 논문에서 루프 필터 링은 후처리 필터링과 비교하여 훨씬 더 적은 계산 량을 요한다. 결론적으로 루프 필터링은 저 전송률 동화상 압축의 한 부분으로 고려되어질 수 있다

참 고 문 헌

[1] CCITT Recommendation H.261, "Video Codec for Audiovisual Services at $p \times 64$ kbits/s," Dec. 1990.

[2] ITU Telecom. Standardization Sector, "Video Coding for Low Bitrate Communication," *Draft ITU-T Recommendation H.263 Version 2*, Jan. 1998.

[3] ITU Telecom. Standardization Sector, "Video Codec Test Model Near-Term, Version 10 (TMN10) Draft 1," *H.263 Ad Hoc Group*, April 1998.

[4] "Information Technology - Coding of Audio-Visual Objects Part2: Visual Amendment 1: Visual Extensions," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3056, December 1999.

[5] MPEG Video Group, "MPEG-4 Video Verification Model Version 11.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N2172, March 1998.

[6] P. M. Kuhn and W. Stechele, "Complexity Analysis of the Emerging MPEG-4 Standard as a Basis for VLSI Implementation", *SPIE Visual Communications and Image Processing*, San Jose, vol. 3309, Jan. 1998, pp. 24-30.

[7] W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell, *JPEG Still Image Data Compression Standard*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

[8] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear Space Variant Postprocessing of Block Coded Images," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 34, 1986, pp. 1258-1267.

[9] Y. L. Lee, H. C. Kim, and H. W. Park, "Blocking Effect Reduction of JPEG images by Signal Adaptive Filtering," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, 1998, pp. 229-234.

[10] T.S. Liu and N. Jayant, "Adaptive Postprocessing Algorithms for Low Bit Rate Video Signals," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 4, 1995, pp. 1032-1035.

[11] C.J. Kuo, R.J. Hsieh, "Adaptive Postprocessor for Block Encoded Images," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 5, 1995, pp. 298-304.

[12] K.K. Pang and T.K. Tan, "Optimum loop Filter in Hybrid Coders," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 4, 1994, pp. 158-167.

[13] H. W. Park and Y. L. Lee, "A Post-processing Method for Reducing Quantization Effects in Low Bit-rate Moving Picture Coding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 9, 1999, pp. 161-171.

[14] S.S.O. Choy, Y. H. Chan, and W. C. Siu, "Reduction of Block-Transform Image Coding Artifacts by Using Local Statistics of Transform Coefficients," *IEEE SP Letters*, vol. 4, pp. 5-7, January 1997.

[15] A. Zakhor, "Iterative Procedures for Reduction of Blocking Effects in Transform Image Coding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 2, 1992, pp. 91-94.

[16] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Projection-Based Spatially Adaptive Reconstruction of Block-Transform Compressed Images," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 4, 1995, pp. 896-908.

[17] J. Luo, C.W. Chen, K. J. Parker, and T. S. Huang, "Artifact Reduction in Low Bit Rate DCT-Based Image Compression," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, 1996, pp.1363-1368.

[18] F. Pereira, "MPEG-4 Video Subjective Test Procedures and Results," *IEEE Trans. Circuits*

Syst. Video Technol., vol. 7, no. 2, pp. 32-51,
Feb. 1997.

이 영 렬(Yung-Lyul Lee)

정회원



1985년 2월 : 서강대학교 전자
공학과 졸업

1987년 2월 : 서강대학교 전자
공학과 석사

1999년 2월 : 한국 과학 기술원
전기 및 전자공학과 박
사

1987.1-2001년 8월 : 삼성전자 중앙연구소 DMS
Lab. 수석연구원

2001.9-현재 세종대학교 컴퓨터 공학부 인터넷학과
조교수

<주관심 분야> 영상처리(압축), 영상통신, 멀티미디
어 시스템, 인터넷 프로토콜

박 현 욱(Hyun-Wook Park)

정회원



1981.2월 : 서울대학교 전기공
학과 학사

1983.2월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사

1988.2월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 박사

1983.3-1986.2 : 금성통신 연구소 연구원

1988.3-1989.6 : 한국과학기술원 박사후연구원

1989.7-1992.3 : 미국 워싱턴대 연구원

1992.5-1993.7 : 삼성전자 수석연구원

1993.8- 현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 교수

<주관심 분야> 영상처리, 영상압축/복원, 의료영상
시스템