일반논문-09-14-4-11

H.264 동영상 부호화를 위한 효과적인 주파수 영역 잡음 제거

송 병 철[a)‡]

Efficient Transform-Domain Noise Reduction for H.264 Video Encoding

Byung Cheol Song[a)‡]

요 약

본 논문은 H.264 동영상 부호기를 위한 효율적인 주파수 영역 잡음 제거 기법을 제안한다. 각 변환 블록과 잡음 제거를 위해 변형된 곱셈 팩터 행렬를 내적하는 방식으로 Wiener filtering이 이루어진다. 구현 시 look-up table을 이용하면 제안한 방법에서의 곱셈 연산을 간단히 대신할 수 있기 때문에 필터링에 의한 연산량은 무시할 만하다. 또한, 실험 결과를 통해 제안한 방법이 H.264 부호기에서 두드러진 잡음 제거 성능을 보임을 알 수 있다.

Abstract

This paper proposes an efficient transform-domain noise reduction scheme in an H.264 video encoder, where the generalized Wiener filtering is performed in a quantization process by multiplying each transform block with its adaptive multiplication factor. In practice, the computational complexity of the proposed scheme is negligible by replacing the multiplication operation with a simple look-up table method. Also, experimental results show that the proposed scheme provides outstanding noise reduction performance in an H.264 video encoder.

Keywords : 잡음 제거, 주파수 영역, H.264.

Ⅰ. 서 론

멀티미디어 기술의 급속한 발달과 함께 동영상 처리의 중요성이 매우 커지고 있다. 동영상을 처리할 때 발생하는 문제점 중 하나는 획득 과정, 처리 과정, 전송 과정, 저장 과정 등을 거치면서 원 영상 자체가 각종 잡음들에 의해 왜곡된다는 점이다. 잡음으로 왜곡된 동영상은 시각적으로 보기 좋지 않을 뿐만 아니라 압축할 때 성능이 크게 저하되기 때문에, 동영상 내 잡음을 효과적으로 제거하는 기술은 반드시 필요하다.

소위 잡음제거 (de-noising)란 시각적 화질 향상을 위해 원 신호의 특성을 가능한 한 유지하면서 잡음 성분만을 추출하여 제거하는 것을 말한다. 실례로, CCD 카메라 센서나 NTSC 아날로그 튜너로부터 얻어진 잡음왜곡 영상들을 도시하거나 저장하기에 앞서 잡음 제거가 항상 수행된다 (그

a) 인하대학교 전자공학부
School of Electronic Engineering, Inha University
‡ 교신저자 : 송병철(bcsong@inha.ac.kr)
※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과이며, 이 논문은 2008년도 정부재원 (교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 부분적으로 받아 연구되었음 (KRF-2008-331-D00422).
· 접수일(2009년2월16일),수정일(1차:2009년5월6일,2차:6월12일),게재확정일(2009년6월12일)

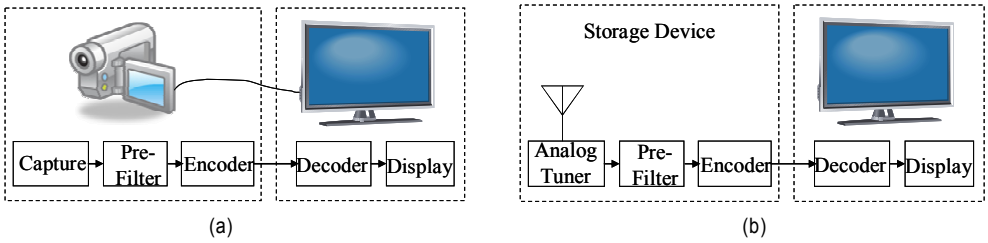


그림 1. 잡음 제거 사례 (a) 카메라 (b) 저장기기.
Fig. 1. Applications of de-noising (a) Camera (b) Storage device

림 1 참조).

대부분의 잡음제거 기법들은 많은 연산량을 요구하는 주파수 영역 필터링이 아닌 공간 영역에서의 시공간적 필터링이다. 예를 들면, Boo와 Bose는 화면내 공간적 상관성 및 화면간 시간축 상관성을 고려한 시공간적 필터를 제안한 바 있다[1]. Lee는 영상 압축의 전처리 과정으로서 잡음 제거에 적응적인 시공간적 필터를 제안하였다[2].

최근에는, 잡음제거 기술이 고화질 TV (HDTV)향 SoC (system-on-chip)에 포함되는 경우가 많다[3,4]. 이는 HDTV가 디지털 HD 컨텐츠 외에 아날로그 방송 및 VTR입력 등을 받아 도시할 수 있어야 하기 때문이다. 그래서, Yang과 Lu는 HDTV를 위한 움직임 적응적인 시공간적 필터를 제안하였는데, 공간적 필터는 디지털 잡음을 제거하고, 시간축 필터가 가우시안 및 임펄스 잡음을 제거하도록 설계되었다[3]. 또한, De Haan은 HDTV를 위한 적응적 시공간 필터를 제안하고 칩으로 구현하였다[4]. 그러나, 동영상 부호기를 위한 전처리 필터로서, 상기 언급한 잡음 제거 기법들은 모두 연산량 측면에서 부담스러운 것이 사실이다.

한편, 주파수 영역 잡음제거 기법들은 복잡도가 큰 대신 공간 영역 기법들보다 에지들을 잘 보존하는 장점을 지니고 있는 것으로 알려져 있다. 그래서 최근에 많은 웨이블릿 기반 필터들이 제안되고 있다[5,6]. Rahman은 인접한 두 프레임들 간 웨이블릿 계수들을 모델링하기 위한 결합 확률 밀도 함수 (joint probability density function)를 제안하고, 잡음제거에 적용한 바 있다[6]. 이런 웨이블릿 기반 잡음제거 기법들은 공간 영역 기법들에 비해 잡음제거 성능이 좋지만, 상당히 많은 연산량을 필요로 하는 문제점을 갖고 있다.

잡음제거 동작은 일반적으로 동영상 부호화 과정과 독립적으로 수행되기 때문에, 잡음제거에 따른 추가적 필터링 복잡도는 항상 연산량 측면에서 부담으로 작용했다. Kim과 Ra는 잡음제거를 위해 소위 일반화된 Wiener 필터를 잡음제거에 도입하여[7], 통상적인 DCT기반 동영상 부호기에 병합하였다[8]. 이 DCT기반 잡음제거 기법 (DCTNR)은 단순히 DCT 계수들을 스케일링하는 방식으로써 모든 처리 과정이 DCT영역에서 이루어지기 때문에 빠른 처리 속도를 갖는 것이 특징이다. 그러나, 하드웨어 구현 관점에서 보면, 이 스케일링 곱셈연산조차 부담으로 작용할 수 있다.

본 논문은 H.264 부호기에서의 효율적인 잡음제거를 위한 주파수 영역 Wiener 필터 (Transform-Domain Wiener Filter: TDWF)를 제안한다. 먼저 각 변환 블록에 대해 일반화된 Wiener 필터링을 수행하는 것이 양자화 과정에서 적응적인 곱셈 팩터 (Multiplication Factor: MF) 행렬을 사용하는 것과 동일함을 보인다. 결국 제안한 잡음제거 과정이 H.264의 양자화 과정에 병합됨으로써 기존의 곱셈연산에 따른 필터링 연산량이 획기적으로 줄어든다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 방법에 대해 기술한다. III장에서 제안한 기법을 소개하고, IV장에서는 그 성능 검증을 보인다. 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 방법

그림 2는 DCTNR의 기본 개념을 보인다[7, 8]. 여기서,

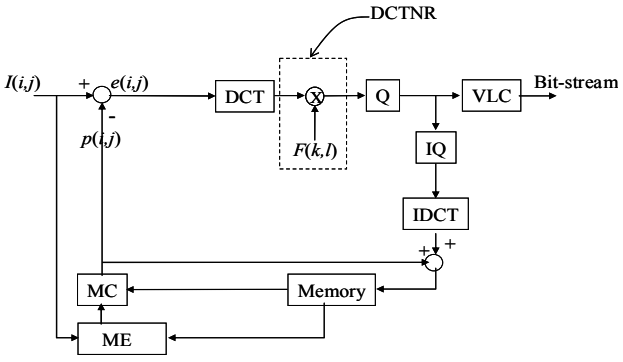


그림 2. DCTNR이 적용된 통상적인 동영상 부호기
Fig. 2. The conventional video encoder employing the DCTNR

I(i,j), p(i,j) , e(i,j)는 각각 잡음왜곡 영상 내 (i,j)에 위치한 화소의 밝기 값, 그 예측치, 대응하는 움직임 보상 잔여치를 의미한다. DCT영역에서의 일반화된 Wiener 필터[7] 즉, (k,l)위치 필터링 계수 F(k,l)은 다음과 같이 기술된다:

$$F(k,l)=\frac{1+S(k,l)\ \dfrac{\sigma_n^2}{\sigma^2}\ \dfrac{1}{\gamma(k,l)}}{1+\dfrac{\sigma_n^2}{\sigma^2}\ \dfrac{1}{\gamma(k,l)}} \tag{1}$$

식 (1)에서 (k,l)이 (0,0)이면 S(k,l)은 1이며, (0,0)이 아니면 S(k,l)은 0이다. F(k,l)은 SNR (signal-to-noise)과 $\gamma(k,l)$에 의해 결정된다. 잡음의 세기가 클수록 즉, SNR이 작을수록 F(k,l)은 작아진다. 결국 필터링 과정이 고주파 성분 DCT계수 크기를 상대적으로 줄여주게 되어, 주로 고주파 성분을 갖는 잡음이 제거되는 효과를 얻게 된다. 이 때, DCT 계수 scaling은 영상 특성을 반영하여 해당 블록의 공분산에 의존하여 이루어지는 것이 특징이라 하겠다.

$\gamma(k,l)$은 공분산 (covariance)을 DCT한 후 대각선화 (diagonalization)하고 정규화한 행렬 내 (k,l)위치의 성분을 의미한다. 공분산은 intra와 inter로 구분하여 구하는데, 여러 동영상들의 부호화 과정에서 얻어진 평균-제거된 inter 및 intra블록들로부터 구해진다.

한편, σ^2은 잡음이 없는 순수 영상 신호의 분산을 의미한다. 이 값은 각 잔여 블록의 분산 σ_e^2에서 잡음 분산 σ_n^2을 빼서 얻을 수 있다. 이런 과정은 기본적으로 잡음과 순수 영상 신호가 서로 독립적인 확률 변수라는 가정에 기인한다.

$$\sigma^2=\max\left\{\sigma_e^2-\sigma_n^2,0\right\} \tag{2}$$

만약 σ_n^2이 알려져 있다면, 식 (1)에 의해 F(k,l)이 결정된다. 따라서 각 잔여블록의 (k,l)위치 DCT계수 E(k,l)가 다음처럼 간단히 필터링된다:

$$E^f(k,l)=E(k,l)\times F(k,l) \tag{3}$$

DCTNR에 대한 상세한 설명은 [8]을 참조하면 된다.

Ⅲ. 제안한 방법

본 절에서는 H.264 부호기[9]를 위해 최적화된 TDWF를 유도하고 TDWF를 양자화 과정과 병합하는 과정을 설명한다. TDWF는 SNR에 적응적으로 MF를 출력하는 LUT (look-up table)방식으로 구현할 수 있다 (그림 3). 일반적으로 σ_n^2를 미리 아는 것은 힘들기 때문에, 소위 잡음 예측기가 필요하다. 본 논문은 동영상 부호기에 효과적으로 내장되는 방식의 움직임 보상 기반 잡음 예측기를 채택하여 σ_n^2를 프레임 단위로 예측한다[10]. 결국, 각 블록에 대한 SNR인 σ^2/σ_n^2은 식 (2)를 통해 미리 계산가능하다.

TDWF는 각 변환 블록과 그 블록의 SNR에 대응하는 필터링 행렬을 내적 (inner product)함으로써 성립된다. 그 필터링 행렬 F는 4x4 크기를 가지며, $\gamma(k,l)$는 정수 변환된 공분산으로부터 얻어진다. 예를 들면, 인트라블록들에 대응하는 $\gamma(k,l)$은 인트라 예측된 잔여블록들로부터 유도된다. 평균을 제거한 인트라 예측 잔여 블록들로부터 신뢰할 만한 공분산 예측치를 얻기 위해, [11]에서처럼 수평 및 수직 방향에 대한 공분산 행렬을 사용한다.

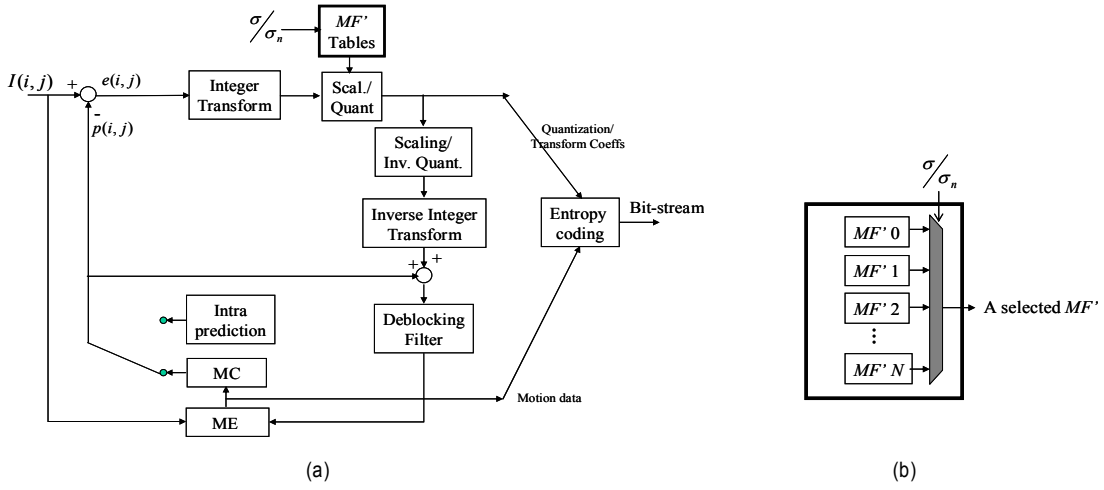


그림 3. (a) TDWF가 내장된 H.264의 기본 구조 (b) LUT의 상세 구조.
Fig. 3. (a) Basic coding structure for H.264 employing the TDWF (b) Details of LUT.

본 논문은 TDWF의 연산량을 최소화하기 위해, 필터계수 행렬 F와의 내적을 H.264의 양자화 과정에 병합하는 것을 제안한다. 우선, H.264의 양자화는 다음과 같이 정의된다[12].

$$E_q(k,l) = round\left(E(k,l) \times MF / 2^{qbits}\right) \quad (4)$$

여기서, $E_q(k,l)$은 양자화된 변환 계수이며, MF의 첫 6개의 값들은 QP 및 (k,l)에 따라 표 1에 의해 계산된다. QP가 5보다 큰 나머지 경우에 대해서는 MF는 변하지 않고 다만 QP가 6만큼 증가할 때마다 qbits가 1씩 증가한다. 예를 들면, 6≤QP≤11일 때 qbits=16이며, 12≤QP≤17일 때 qbits=17이다. 즉, qbits의 정의는 다음과 같다:

$$qbits = 15+floor(QP/6) \quad (5)$$

식 (4)로부터 식 (3)을 다음과 같이 재정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_q^f(k,l) &= E_q(k,l) \times F(k,l) \\ &= \lceil (E(k,l) \times MF/2^{qbits}) \times F(k,l) \rceil \\ &\approx \lceil E(k,l) \times MF'/2^{qbits} \rceil \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 약간의 근사화를 통해 $MF' = MF \times F(k,l)$을 얻을 수 있다. 따라서, 식 (6)에서처럼 양자화 과정에 변형된 MF 즉, MF'를 도입함으로써, TDWF를 간단하게 구현할 수 있다. MF'는 SNR σ^2/σ_n^2만 주어지면 식 (1)과 식 (6), 그리고 표 1을 이용하여 얻을 수 있다.

표 1. 곱셈 팩터 MF
TABLE 1. Multiplication Factor MF

QP	Positions (0,0),(2,0),(2,2),(0,2)	Positions (1,1),(1,3),(3,1),(3,3)	Other positions
0	13107	5243	8066
1	11916	4660	7490
2	10082	4194	6554
3	9362	3647	5825
4	8192	3355	5243
5	7282	2893	4559

이 때, 각 블록에 대해 MF'를 새롭게 계산하는 것은 연산량 부담이 크다. 이 복잡도 문제는 LUT 방식을 도입하면 해결할 수 있다. 즉, 몇 개의 대표적인 SNR값들에 대해서만 MF'를 계산하여, 소정의 메모리에 저장한다. 본 논문에서는 실험적으로 총 16개의 SNR들에 대한 MF'를 사용한다. SNR값들의 선택 시 과도한 필터링에 의한 블록화 현상

을 방지하기 위해 σ_n^2/σ^2의 최대값이 2가 넘지 않도록 clipping한다. 잡음이 심한 경우 평탄한 영역에서 과도하게 고주파 성분을 제거하면 블록화 현상이 심화될 수 있기 때문이다. MF' 생성 과정의 예로서, inter 4x4블록들에 대한 $\gamma(k,l)$은 그림 4 (a)와 같다. $\gamma(k,l)$도출에 앞서 공분산 예측을 위해 테스트 영상에 포함되지 않는 네 개의 CIF 영상들 akiyo, stefan, tempete, silent voice를 사용하였다. 각 영상 시퀀스는 300 프레임으로 구성되어 있으며, 30Hz의 프레임율을 갖는다. 이 때 양자화 파라미터 QP는 20으로 설정하였다. [11]의 방법에 따라 공분산 예측치를 구할 수 있고, 이로부터 $\gamma(k,l)$이 결정된다. 얻으진 $\gamma(k,l)$를 이용하여 σ^2/σ_n^2 가 2일 때 식 (1)에 의해 얻어지는 필터계수를 구하면 그림 4(b)와 같다. 마지막으로, QP가 0인 경우 식 (6)에 따른 MF'는 그림 4(c)와 같이 표현된다. 대칭 행렬이라는 점이 주목할 만하다.

한편, 그림 4(c)로부터 QP 당 MF'의 크기는 10×16 bit임을 알 수 있다. 예를 들어, inter 블록에 대한 MF' 메모리 크기는 16가지 SNR과 6가지 QP들을 고려할 때 16×6×10×16 bit이다. 따라서, inter와 intra 모두를 고려한 MF' 메모리 크기는 총 16×2×6×10×16 bit (3,840Bytes)이다.

각 블록에 대한 SNR이 얻어지면, 그림 3 (b)와 같이 그 SNR에 대응하는 MF' 테이블을 이용하여 TDWF와 양자화를 동시에 수행함으로써 H.264 부호기 내에서의 잡음제거가 이루어진다. 제안한 LUT기반 TDWF는 Wiener 필터고유의 좋은 잡음제거 성능을 유지하면서 SNR 계산을 위한 최소량의 연산량만을 가짐에 주목할 필요가 있다. 이 때, 제안한 방법이 H.264 표준과 호환을 유지함은 물론이다.

IV. 실험 결과

제안한 방법은 H.264 JM12.2 reference 소프트웨어[13]를 이용하여 구현되었다. H.264 부호화를 위한 각종 파라미터들은 다음과 같이 설정되었다. I 프레임 간격은 15프레임이며, P-프레임만 사용하였다. 참조 프레임 수는 2로 설정하였으며, 초기 QP는 32이다. ±16의 탐색 영역에 대해 고속 전역탐색 모드를 사용한다. 테스트 영상으로는 다음과 같이 네 개의 잘 알려진 CIF 동영상 시퀀스들을 사용한다: foreman, hall monitor, coastguard, container. 목표 비트율이 각각 600Kbps 및 300Kbps인 경우에 대해 실험하였다. 각 시퀀스는 300프레임으로 구성된다. 객관적인 성능 평가를 위해 분산 (σ_n^2)이 각각 0, 25, 64인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN)를 원 영상들에 강제로 삽입하였다. 입력 영상의 잡음 세기 예측은 [10]의 움직임 보상기반 잡음 예측 기법을 이용하여 이루어진다. σ_n^2는 프레임 단위로 예측된다. PSNR (peak signal-to-noise ratio)을 객관적인 화질 평가척도로 채택한다.

표 2는 목표 비트율이 600Kbps인 경우 TDWF의 성능을 잡음제거 기법이 전혀 적용되지 않은 경우 (NoNR)와 종래 잡음 기법 [3]과 비교한다. 이 때, [3]의 공간적 필터는 off시켰으며, 시간축 필터만 H.264 부호기에 캐스케이드로 연결하였다. 각 잡음왜곡 영상에 대해 상기 기법들이 적용된 상

1.0	0.78	0.72	0.65
0.78	0.75	0.69	0.62
0.72	0.69	0.62	0.54
0.65	0.62	0.54	0.46

(a)

13107	6291	9437	5243
6291	3932	5566	3251
9437	5566	8126	4356
5243	3251	4356	2412

(b)

2.1	1.77	1.30	0.93
1.77	1.53	1.12	0.80
1.30	1.12	0.82	0.59
0.93	0.80	0.59	0.42

(c)

그림 4. MF'의 생성과정 (a) inter 4x4에 대한 $\gamma(k,l)$행렬 (b) σ^2/σ_n^2가 2일 때 (a)에 대응하는 필터 계수 행렬 (c) QP가 0일 때 (b)에 대응하는 변형 MF행렬

Fig. 4. The generation process of MF' (a) $\gamma(k,l)$ matrix for inter 4x4 blocks (b) F(k,l) matrix corresponding to (a) when σ^2/σ_n^2 is 2 (c) MF' corresponding to (b) when QP is 0

태에서 H.264 부호화를 수행했을 때 복원 영상의 PSNR을 비교한다. 표 2의 PSNR은 총 300프레임에 대한 평균 값이다. 표 2에서 심한 잡음이 존재하는 경우 coastguard를 제외한 시퀀스들에 대해 TDWF가 NoNR보다 1dB 이상의 높은 PSNR 성능을 보임을 알 수 있다. 예를 들어 σ_n^2가 64인 hall monitor 영상의 경우, TDWF는 NoNR보다 1.5dB의 향상된 PSNR 성능을 보인다. 또한, σ_n^2가 64일 때 TDWF는 [3]의 기법보다 0.5dB 내외 성능 향상을 보인다. 추가적으로 표 3은 목표 비트율이 300Kbps인 경우에 대한 결과이다. 전체적으로 QP가 커지면서 잡음제거에 따른 압축률 향상도가 다소 줄어든다. 예를 들어 hall monitor 영상의 경우 TDWF는 NoNR보다 1.1dB의 향상된 PSNR 성능을 보인다. 600Kbps인 경우와 비교할 때, NoNR대비 PSNR 향상도가 0.4dB 정도 줄어드는데, 이유는 강력한 양자화가 잡음 제거 효과를 추가로 발휘하기 때문이다.

위에서 언급한 바와 같이, 제안한 기법은 적당한 MF' 테이블 선정을 위해 블록 단위로 SNR을 계산하는 것 외에는 어떤 연산량도 필요로 하지 않는다. 각 잔여 블록 별 SNR (σ^2/σ_n^2)은 식 (2)를 이용하여 얻어진다. 통상 rate control 과정에서 잔여 블록의 분산값이 계산된다. 따라서, 제안한 방법의 연산량은 16x16 매크로블록 기준으로 1개의 덧셈, 2개의 비교, 1개의 나눗셈이 전부이다. 반면, [3]의 방법은 화소 당 1개의 덧셈과 5개의 원소를 갖는 중간값 연산이 필요하다. 결국 제안한 방법보다 수십 배 이상의 연산량이 필요하다. 또한, [3]의 방법은 적어도 한 프레임 메모리를 담을 수 있는 버퍼가 필요하다. 예를 들어, CIF를 가정할 때 152Kbyte의 메모리가 필요하다. 제안한 방법의 3840 Byte와 비교할 때, 약 40배 가량의 메모리 크기에 해당한다. 한편, 그림 2의 DCTNR의 경우 제안한 방법과 동일하게 SNR에 따른 필터 계수를 LUT로 저장하고 있다고 가정하더라도, 매크로블록 당 최소 256개의 곱셈 연산이 요구된다. 결국 제안한 방법이 획기적으로 연산량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

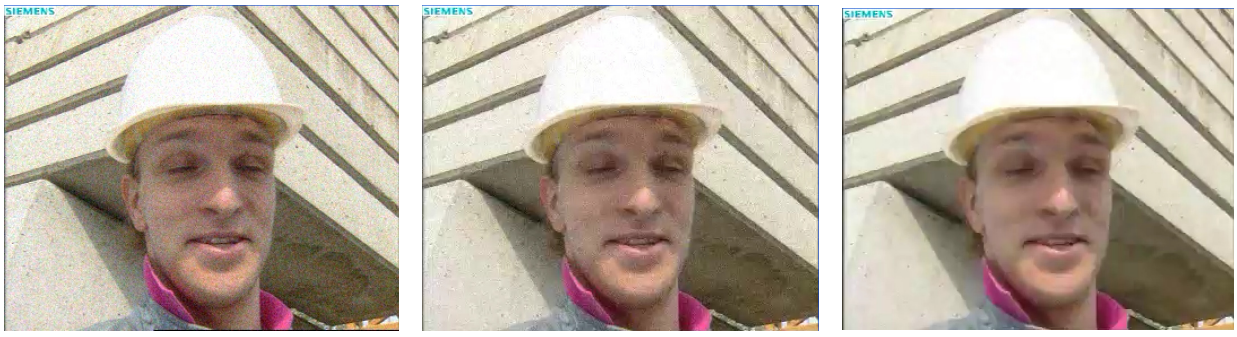
마지막으로 그림 5는 σ_n^2가 64인 foreman 입력 영상에 대해 목표 비트율이 600kbps일 때 제안한 방법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 압축/복원된 영상들을 보인다. 제안한 방법에 의한 잡음 제거 효과를 확인할 수 있다.

표 2. 코딩 효율 [dB] (목표 비트율: 600Kbps)
TABLE 2. Coding Performance [dB] (Target bit-rate: 600Kbps)

	σ_n^2	NoNR	[3]	TDWF
Foreman	64	33.4	34.2	34.7
	25	35.4	35.3	35.5
	0	36.5	36.5	36.5
Coastguard	64	29.4	29.5	29.8
	25	30.4	30.4	30.4
	0	31.0	31.0	31.0
Container	64	33.0	33.6	34.0
	25	34.9	35.0	35.2
	0	36.5	36.5	36.5
Hall monitor	64	33.7	34.7	35.2
	25	36.0	36.1	36.3
	0	37.0	37.0	37.0

표 3. 코딩 결과 [dB] (목표 비트율: 300Kbps).
TABLE 3. Coding Performance [dB] (Target bit-rate: 300Kbps).

	σ_n^2	NoNR	[3]	TDWF
Foreman	64	28.8	29.5	29.9
	25	30.1	30.2	30.3
	0	31.3	31.3	31.3
Coastguard	64	25.9	26.2	26.4
	25	26.8	26.9	27.0
	0	27.4	27.4	27.4
Container	64	29.7	30.4	30.6
	25	31.1	31.4	31.6
	0	32.6	32.6	32.6
Hall monitor	64	32.4	33.2	33.5
	25	34.1	34.2	34.3
	0	35.0	35.0	35.0



(a) (b) (c)

그림 5. Foreman 영상의 첫 I 프레임의 복원 영상 (a) 입력 잡음 영상 (b) NoNR (PSNR = 32.01 dB) (c) TDWF (PSNR = 33.69dB).
Fig. 5. The reconstructed pictures for the 1st I-frame of a foreman sequence. (a) Input noisy frame (b) NoNR (PSNR = 32.01 dB) (c) TDWF (PSNR = 33.69dB).

V. 결 론

본 논문은 효과적인 H.264 부호화를 위한 저 복잡도의 주파수 영역 Wiener 필터와 구현 방안을 제안한다. 제안한 방법은 MF와 SNR 적응적인 스케일링 행렬의 내적으로 양자화 과정과 동시에 수행된다. 또한, LUT기법을 도입하여 동일한 성능을 유지하며 복잡도를 크게 줄였다. 제안한 방법은 H.264 부호기 내에서 작은 양의 추가적 메모리만으로 별도의 추가적 연산량없이 잡음을 크게 줄일 수 있는 방법으로써, 특히 잡음제거가 필요한 H.264 영상 압축기에 효과적으로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] K. J. Boo, and N. K. Bose, "A motion-compensated spatio-temporal filter for image sequences with signal-dependent noise," IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol., vol. 8, no. 3, pp. 287-298, 1998.

[2] S. W. Lee, V. Maik, J. Jang, J. Shin, and J. Paik, "Noise-adaptive spatio-temporal filter for real-time noise removal in low light level images," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 51, no. 2, pp. 648-653, 2005.

[3] S. Yang, and T. Lu, "A practical design flow of noise reduction algorithm for video post processing," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 53, no. 3, pp. 995-1002, 2007.

[4] G. de Haan et al., "Television noise reduction IC," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 44, no. 1, pp. 143-153, 1998.

[5] N. Rajpoot, Z. Yao, and R. Wilson, “Adaptive wavelet restoration of noisy video sequences,” Proc. IEEE ICIP, pp.24-27, Lausanne, Switzerland, 2004.

[6] S. Rahman, M. Ahmad, and M. Swamy, “Video de-noising based on inter-frame statistical modeling of wavelet coefficients,” IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol., vol. 17, no. 2, pp. 187-198, 2007.

[7] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.

[8] S. D. Kim and J. B. Ra, "Efficient block-based video encoder embedding a Wiener filter for noisy video sequences," Journal of Visual Comm. Image Rep., vol. 14, no. 1, pp. 22-40, 2003.

[9] G. Sullivan and H. Yu, "Joint draft 6 of new profiles for professional applications amendment to ITU-T Rec. H.264 & ISO/IEC 14496-10," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and IUT-T SG16 Q.6 Document JVT-V204, Jan. 2007.

[10] B. C. Song and K. W. Chun, "Noise power estimation for effective de-noising in a video encoder," IEEE International Conf. Acoustics, Speech, and Signal Process.(ICASSP), pp. II357-II360, Philadelphia, USA, March 2005

[11] W. Niehsen and M. Brunig, "Covariance analysis of motion-compensated frame differences," IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol., vol. 9, no. 4, pp. 536-539, 1999.

[12] VCODEX, "H.264/MPEG4 Part10: Transform & Quantization," www.vcodex.com, accessed 2007.

[13] H.264/MPEG4 AVC reference software http://iphome.hhi.de/suehring/tml/, accessed 2007.

저 자 소 개

송 병 철

- 1994년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사과정 졸업
- 1996년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정 졸업
- 2001년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 졸업
- 2001년 ~ 2008년 : 삼성전자 디지털미디어 연구소 책임연구원
- 2008년 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학부 조교수
- 주관심분야 : 차세대 동영상 압축, 초고해상도 영상처리, 영상복원/필터링, Digital Contents Management, 멀티미디어 SoC