

H.264 동영상 표준 부호화 방식의 성능 향상을 위한 잔여신호 필터

준회원 송원선*, 정회원 홍민철*

Residual Filter to Improve Performance of H.264 Video Coding Standard

Wonseon Song* Associate Member, Min-Cheol Hong* Regular Member

요약

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식을 이용한 압축 동영상의 성능 향상을 위한 잔여신호 필터에 대해 제안한다. 영상 획득 과정에서 발생된 첨가 노이즈에 의해 훼손된 동영상은 고주파 성분의 존재로 인하여 시각적으로 불편한 현상과 압축 효율의 저하를 초래한다. 제안된 필터 과정에서는 국부 통계적 특성과 양자화 매개변수 및 주어진 양자화 스텝 사이즈를 이용하여 노이즈 성분을 제거하고 시각적인 효과와 압축 효율을 높이고자 했다. 또한 노이즈에 대한 매개변수를 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환과 양자화 과정을 통해 잔여신호 필터의 계산량을 줄이기 위해 적용하였다. 제안된 방식의 성능을 실험 결과로부터 확인할 수 있었다.

Key Words : H.264, Residual Filter, Local Statistics, Coding Efficiency, Quantization

ABSTRACT

In this paper, we present a residual filter to improve performance of H.264 compressed video. In general, noisy video sequences captured by imaging system result in decline of coding efficiency and unpleasant coding artifacts due to higher frequency components. By incorporating local statistics and quantization parameter into filtering process, the spurious noise is significantly attenuated and coding efficiency is improved, leading to improvement of visual quality and to bit-rate saving for given quantization step size. In addition, in order to reduce the complexity of the residual filter, noise induced by analyzing H.264 transformation and quantization processes are introduced. The simulation results show the capability of the proposed algorithm.

I. 서론

영상 획득 과정에서 시스템 특성에 의해 노이즈가 발생하며, 이와 같은 노이즈는 영상 왜곡의 주요 원인이 된다. 첨가 노이즈는 고주파 성분의 존재로 인해 압축 시, 동영상 부호화기 압축률을 저하시키며 전송 비트율의 증가로 인해 전송상의 부가적인

문제를 발생하는 원인이 될 수 있다. 이와 같이 문제를 해결하기 위해 전처리 필터를 이용한 첨가 노이즈 제거와 관련된 방식이 개발 또는 발표되어 왔다. 동영상 부호화 방식과 관련된 전처리 필터는 성능 향상을 위해 동영상 부호화 과정에서 사용되는 사전 정보를 이용하므로 동영상 부호화 방식 특성에 따라 전처리 필터 형태도 다르게 설정되어야 한

* 본 연구는 한국과학기술연구원 (R01-2005-000-10540-0) 지원 사업에 의해 수행 되었음.

* 숭실대학교 정보통신전자 공학부 (won@vipl.ssu.ac.kr, mhong@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-04-183, 접수일자 : 2006년 4월 21일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 19일

다^{1,2)}.

H.264/AVC 동영상 표준 부호화 방식은 압축 효율의 탁월성에 기인하여 차세대 표준 방식으로 DMB 등의 다양한 응용 분야에 사용될 것으로 기대 된다^{3,4,5)}. H.264 부호화 방식을 이용한 원영상과 움직임 보상 영상간의 오차 신호인 잔여 신호는 인트라 예측 기법 및 가변 블록 크기 움직임 예측 등의 특징으로 기존의 동영상 표준 부호화 방식과는 다른 특성을 가지고 있으므로, 압축 효율과 화질 개선을 위한 잔여 신호 필터 방식도 다르게 설정되어야 한다. 기존 동영상 부호화 방식을 이용한 잔여 신호 필터 방법으로는 비트율 제어를 이용한 필터¹⁾와 필터링 결정에 있어서 가변 길이 코드에 대한 사전 지식을 포함하는 유사 방식이 있다²⁾. 상기 방식들은 결과 영상의 화질을 원 영상과 움직임 보상된 영상 사이의 오류 잔여 신호를 제어함으로써 정해진 비트율을 극대화 시키고, 양자화 과정으로부터 발생하는 블록화 현상을 제거하였으나 정보 손실을 유발하고 첨가된 노이즈가 제거되지 못하였다.

본 논문에서는 주어진 양자화 매개변수에 대한 노이즈를 효과적으로 제거함으로써 화질을 극대화 시키는 잔여 신호 필터에 대해 제안한다. 열화 된 영상의 국부 통계적 특성과 양자화 매개변수가 필터 구현에 이용되었고, 부동 소수 연산 없이 3개의 필터 탭을 계산할 절감을 위하여 사용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 잔여 신호에 대한 임펄스 응답(impulse response)의 배경에 대해 설명하고 3절에서는 제안한 필터에 대해 설명한다. 제안된 필터의 매개변수로 사용된 양자화 노이즈는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환 과정과 양자화 과정으로부터 유도하였으며, 잔여신호 필터에서 사용되는 국부 통계적 특성을 정의하였다. 또한 4절에서는 제안된 방식의 실험 결과를 보이고 5절에서는 결론을 내고 끝을 맺는다.

II. 배경

영상 부호화의 목적은 정보의 정확한 보존이 아니라 정보의 근사화에 두고 있기 때문에 복원된 영상은 원 영상 정보의 손실에 의한 왜곡을 수반하게 된다. 그러므로 왜곡된 영상의 화질에 대한 최종 판단은 인간의 시각에 의하므로 HVS (Human Visual System)을 영상 압축에 적용하는 것이 보다 효과적일 수 있다. 왜곡된 영상을 보정하기 위한 HVS 기반의 가우시안 모델은 다음과 같이 표현될 수 있다⁶⁾.

$$y = h_v * h_h * x. \tag{1}$$

식 (1)의 x , y 는 각각 훼손된 영상, 노이즈가 제거된 영상을 나타내며 h_h 와 h_v 는 수평, 수직 방향의 1차 가우시안 임펄스 응답을 나타내고, $*$ 는 2차원 컨볼루션(convolution)의 분리성질(separable property)을 이용한 1차원 컨볼루션 연산자를 의미한다. 식 (1)의 1차원 가우시안 모델 기반 필터의 i 번째 계수는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$h_i = \frac{1}{Z} \exp\left(\frac{-i^2}{\frac{\sigma_N^2}{\sigma_B^2 k^2}}\right). \tag{2}$$

식 (2)에서 Z 는 정규화 상수, σ_N^2 과 σ_B^2 은 양자화 노이즈와 국부 분산을 나타내며, k 는 인간의 시각적 특성에 영향을 미치는 매개변수를 나타낸다.

III. 성능 향상을 위한 잔여신호 필터

3절에서는 2절에서 제시한 일반화된 가우시안 필터의 매개변수 선정 방식에 대해 기술한다. 위의 식 (2)의 매개변수인 노이즈에 대한 분산인 σ_N^2 은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환과 양자화 과정으로부터 유도하였다. 4×4 블록에 대한 DCT 변환 과정은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$Y = AXA^T = \begin{bmatrix} a & a & a & a \\ b & c & -c & -b \\ a & -a & -a & a \\ c & -b & b & -c \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} a & b & a & c \\ a & c & -a & -b \\ a & -c & -a & b \\ c & -b & a & -c \end{bmatrix} \tag{3}$$

위의 식 (3)에서, X 는 입력 영상의 4×4 블록 크기의 행렬이고, $a = 1/2$, $b = 1/\sqrt{2} \cos(\pi/8)$, $c = 1/\sqrt{2} \cos(3\pi/8)$ 이다. 위의 식 (3)은 부동 소수 연산을 나타내므로 IDCT(inverse discrete cosine transform) 부정합(mismatch) 현상이 발생한다. 이와 같은 문제를 피하기 위하여, 위의 식 (3)을 다음과 같이 정수형 변환 형태로 나타낼 수 있다¹¹⁻¹⁴⁾.

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2 & ab/2 & b^2 \\ a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2 & ab/2 & b^2 \end{bmatrix} \\ = (CXC^T) \otimes S = W \otimes S \tag{4}$$

위 식에서 \otimes 는 요소 곱(element multiplier)을, A^T 는 행렬 A 의 전치 행렬을 나타내고, S 는 양자화 과정의 스케일링 요소(scaling factor)를 나타낸다. 그러므로 양자화 과정은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Z = \frac{Y \otimes E}{2^{15+QP/6}} = \frac{(W \otimes S) \otimes E}{2^{15+QP/6}} \quad (5)$$

식 (5)에서 E 와 QP 는 양자화 테이블과 양자화 인덱스를 나타내며, Z 는 4×4 블록의 양자화 된 결과를 나타낸다[3-5]. 따라서 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 양자화 과정을 이용한 QP 값에 따른 양자화 오류는 다음과 같은 식으로 유도하여 표현할 수 있다.

$$\text{양자화 오류 값} = \frac{2^{15+QP/6}}{E} \quad (6)$$

위의 식 (6)에서 E 는 H.264 동영상 표준 부호화 방식에서 사용되는 양자화 테이블을 나타내고, QP 는 양자화 인덱스를 나타낸다.

표 1. 양자화 스텝 사이즈에 따른 양자화 노이즈

QP%6 \ QP/6	0	1	2	3	4	5
0	0.64	0.7	0.81	0.9	1	1.14
1	1.28	1.14	1.63	1.8	2	2.28
2	2.56	2.82	3.26	3.6	4	4.56
3	5.12	5.64	6.52	7.2	8	9.12
4	10.24	11.28	13.04	14.4	16	18.24
5	20.48	22.56	26.08	28.8	32	36.48
6	40.96	45.12	52.16	57.6	64	72.96
7	81.92	90.24	104.32	115.2	128	145.92
8	163.84	180.48	208.64	230.4		

위의 표 1은 위의 식 (6)에 의해 얻어진 양자화 스텝 사이즈에 따른 양자화 노이즈를 나타낸다.

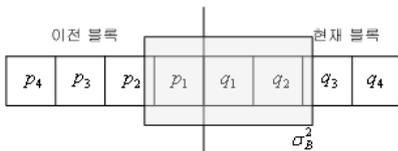


그림 1. 제안된 필터의 형태

본 논문에서 제안한 필터는 계산량 절감을 위하여 3개의 필터 탭(tap)을 사용하였다. 그림 1에서와

같이 두 개의 인접된 화소, p_1 , q_2 는 q_1 의 국부 통계 특성으로 표현하기 위하여 사용되었다. 또한 본 논문에서 사용된 국부 평균 및 국부 분산은 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_{q_1} = \frac{p_1 + 2 \times q_1 + q_2}{4} \quad (7)$$

$$\sigma_B = \frac{|p_1 - \mu_{q_1}| + 2 \times |q_1 - \mu_{q_1}| + |q_2 - \mu_{q_1}|}{4} \quad (8)$$

국부 분산인 σ_B 는 국부 지역 특성의 표준 편차를 나타내는 것으로서, 곱셈 연산의 계산량 증대를 줄이기 위한 편차 형태로 재정의 하였다[6]. HVS (human visual system)의 특성을 이용한 매개변수 k 는 국부 평균값을 이용하여 다음과 같이 정의하였다.

$$k = (|\mu_{q_1}| + 1)^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

식 (6)에서부터 식 (9)까지의 정의된 식들을 이용하여 q_1 에 대한 필터링 된 결과 Q_1 을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_1 = h_0 q_1 + h_1 (p_1 + q_2) \quad (10)$$

위의 식 (10)에서 p 와 q 는 처리되지 않은 화소 값을 나타내며, Q_1 은 필터링 된 화소 값을 나타내고, 필터 계수 h_0 와 h_1 은 위의 국부 통계 특성에 의해 계산된 식 (2)의 결과 값을 의미한다.

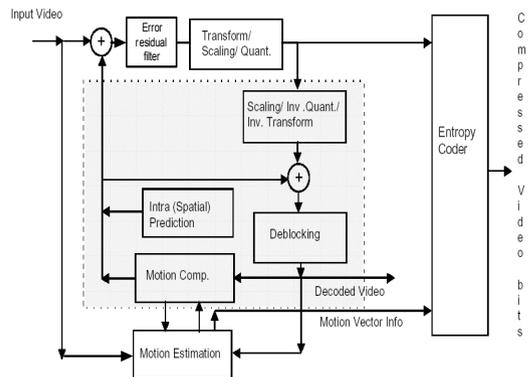


그림 2. 제안된 필터의 위치

위의 그림 2는 제안한 방식의 실제 H.264 동영상 표준 부호화 방식 내에서의 필터의 위치를 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 다양한 영상과 해상도, 양자화 크기에 대해 실험하였다. 실험 결과들 중 QCIF “Foreman”, “Hall monitor”, USB 카메라로부터 획득된 “Test” 영상에 대해 살펴본다. 제안된 방식은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 JM(Joint Model) 9.0의 환경 하에서 실험하였으며, 객관적인 성능 평가를 위하여 PSNR을 사용하였다. $M \times N$ 크기의 8bits 영상에 대하여,

$$PSNR = \frac{MN \times 255^2}{\|f - \hat{f}\|^2} \quad (11)$$

위의 식에서 $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름(Euclidean norm)을 나타내고, f 는 원영상, \hat{f} 은 복원된 영상을 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 25(dB) 가우시안 노이즈가 첨가된 부호화 된 영상(좌)과 제안된 잔여신호 필터를 사용하여 복원된 영상(우) (QCIF, QP=20, 50번째 영상, 10fps): (a) Foreman, (b) Hall monitor, (c) Test

위의 그림 3은 25(dB) 가우시안 노이즈가 섞인 QCIF “Foreman”, “Hall monitor”, 그리고 “Test” 영상에 대해 필터를 사용하지 않고 부호화 하여 복원된 영상(좌)과 제안된 잔여신호 필터를 사용하여 부호화 시킨 후 복원된 영상을 나타낸 그림이다. 이러한 결과 영상들로부터 잔여신호 필터를 사용하지 않은 H.264 동영상 표준 부호화 방식에 의한 복원 영상은 첨가된 노이즈가 부호화 코드를 통과한 후에도 남아있지만, 제안된 잔여신호 필터를 사용하여 복원된 영상은 노이즈가 제거되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 가우시안 임펄스 응답이 저주파 통과 필터의 형태로 표현되어 유평선 정보가 약간 열화 되었다. 표 2, 표 3, 그리고 표 4에서는 각 실험 영상들을 양자화 인덱스에 대해 PSNR과 비트율을 비교하여 나타내었다.

표 2. QCIF Foreman영상 잔여신호필터의 성능비교(10fps)

	QP	without filter				with proposed filter			
		PSNR Y	PSNR U	PSNR V	Bitrate	PSNR Y	PSNR U	PSNR V	Bitrate
SNR 20 dB	16	34.64	35.05	35.04	1223.93	34.65	35.61	35.60	1198.32
	20	34.87	35.56	35.57	835.56	34.95	36.58	36.62	784.97
	24	35.00	36.39	36.42	473.14	35.13	37.87	37.98	420.60
	28	35.28	39.80	40.20	145.86	35.30	40.05	40.41	122.28
	32	33.15	39.26	39.63	54.47	32.89	38.98	39.26	50.71
SNR 25 dB	16	39.44	40.20	40.24	838.91	39.54	41.50	41.64	754.73
	20	39.11	40.85	41.01	471.30	39.24	42.52	43.08	372.69
	24	38.29	42.12	42.85	180.49	38.09	41.58	42.38	161.26
	28	35.92	40.46	41.02	86.38	35.61	39.91	40.42	81.02
	32	33.11	39.22	38.09	48.68	32.79	38.81	39.08	45.76

표 3. QCIF Hall monitor 잔여신호필터의 성능비교(10fps)

	QP	Without filter				With proposed filter			
		PSNR Y	PSNR U	PSNR V	Bitrate	PSNR Y	PSNR U	PSNR V	Bitrate
SNR 20 dB	16	35.48	35.64	35.70	1136.95	35.49	36.17	36.28	1109.61
	20	35.71	36.00	36.13	754.22	35.84	36.91	37.15	694.38
	24	36.01	36.42	36.77	392.37	36.40	37.61	38.34	314.10
	28	36.62	37.79	39.55	72.95	36.64	38.58	40.66	46.84
	32	34.23	38.03	40.37	23.68	34.00	37.99	40.02	21.81
SNR 25 dB	16	40.20	40.34	40.55	762.11	40.29	41.11	41.62	670.59
	20	39.95	40.19	40.74	400.08	40.18	40.98	42.18	244.51
	24	39.43	39.79	41.81	92.78	39.18	40.24	42.07	62.30
	28	37.15	39.40	41.29	35.10	36.78	38.99	40.88	32.19
	32	34.14	38.19	40.32	20.29	34.00	37.72	40.04	19.53

표 4. QCIF Test 영상 잔여신호필터의 성능비교(10fps)

	QP	without filter	with proposed filter
		PSNR	PSNR
Test Sequence	16	798.38	724.75
	20	485.02	429.88
	24	286.67	272.11
	28	179.10	174.55
	32	109.14	107.52

위의 결과로부터 제안된 방식의 비트율이 약 20-30(%) 절감 되었으며, 제안된 방식이 노이즈와 영상에 대한 사전 정보의 필요 없이 첨가된 노이즈를 제거하고 효과적으로 비트율이 절감되었음을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 성능 향상을 위한 잔여신호 필터에 대하여 제안하였다. 변형된 가우시안 임펄스 응답을 이용하여, 국부 활동성과 양자화 매개변수, 그리고 간단한 형태의 가시 함수(visibility function)가 필터링 과정에서 소개되었다. 가우시안 임펄스 응답을 제어하는 매개변수들은 국부적으로 완화된 정도에 따라 국부 통계적 특성을 이용하여 결정하였다. 위의 실험 결과로부터, 노이즈가 섞인 영상에 대해 우수한 PSNR과 비트율 절감을 보였고, 제안된 필터로부터 노이즈가 제거되었음을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 필터링 과정은 강인한 가시함수를 적용하여, 그 함수로부터 더욱 효과적인 결과를 유도해 낼 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] L. -J. Lin and A. Ortega, "Perceptually Based Video Rate Control using Pre-filtering and Predicted Rate-Distortion Characteristics," *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, pp.57-60, Oct. 1997.

[2] C. Andrew Segall, Passant Karunaratne and A. K. Katsaggelos, "Preprocessing of Compressed Digital Video," *Proceedings of the SPIE Conference on Visual Communication and Image Processing*, vol.4310, pp.163-174, Jan. 2001.

[3] ITU-T SG16/Q6, JVT-G050r1 Draft ITU-T recommendation on Final Draft International Standard of Joint Video Specification, May 2003.

[4] T. Wiegand, G. Sullivan, G. Njontegaard and A. Lutjra, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. on Circuit and*

Systems for Video Technology, vol.13, no.9, pp.560-576, July 2003.

[5] H. S. Malvar, A. Hallapuro, M.Karczewicz, and L. Kerofsky, "Low Complexity Transform and Quantization in H.264/AVC," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.13, no.7, pp.598-603, July 2003.

[6] W. -S. Song, D.-R. Kim, S. Lee, and M. -C. Hong, "A Modified Gaussian Model-Based Low Complexity Preprocessing Algorithm for H.264 Video Coding Standard," *MIPS 2004, LNCS 3311*, pp.61-71, 2004.

송 원 선 (Wonseon Song)

준회원



2001년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부(학사)
2003년 2월 숭실대학교 대학원 정보통신학과(석사)
2003년 3월~현재 숭실대학교 대학원 정보통신학과 박사과정 재학중

<관심분야> 영상복원 및 개선, H.264/AVC, 정지 및 동영상 필터링

홍 민 철 (Min-Cheol Hong)

정회원



1988년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)
1990년 8월 연세대학교 전자공학과(석사)
1990년 7월~1991년 8월 LG 정보통신연구원
1997년 9월 Northwestern University, 전기 및 컴퓨터 공학과(박사)

1997년 9월~1998년 8월 Northwestern University, Research Fellow
1998년 9월~2000년 2월 LG 전자, 선임연구원
2000년 3월~현재 숭실대학교, 조교수
<관심분야> 영상 복원 및 enhancement, 정지 및 동영상 필터링, 차세대 영상 부호화, 비선형 필터링, Image Deconvolution, Rate Control