

# H.264 동영상 표준 부호화 방식을 위한 변형된 가우시안 모델 기반의 저 계산량 전처리 필터

학생회원 송 원 선\*, 정회원 홍 민 철\*

## A Modified Gaussian Model-based Low Complexity Pre-processing Algorithm for H.264 Video Coding Standard

Won-Seon Song\* *Student Member*, Min-Cheol Hong\* *Regular Member*

### 요 약

본 논문에서는 H.264 표준 부호화 방식의 성능 향상 및 저 계산량을 위한 가우시안 모델 기반의 전처리 필터에 대해 제안한다. 일반적인 영상 획득 장치에서 첨가된 노이즈에 의해 훼손된 동영상은 다수의 고주파 성분으로 인하여 시각적으로 불편한 현상과 압축 효율의 저하를 초래한다. 본 논문에서는 필터링 과정에서 국부 통계적 특성과 양자화 매개변수를 이용하여 주어진 양자화 스텝 사이즈에서 노이즈 성분을 제거하고 시각적인 효과와 비트율을 개선시켜 압축 효율을 개선하고자 한다. 또한 전처리 필터의 계산량을 줄이기 위하여 간단한 형태의 국부 통계적 특성을 재 정의하고 노이즈에 대한 매개변수를 H.264의 변환과 양자화 과정을 통하여 유추하여 적용하였다. 제안된 방식의 성능을 실험 결과로부터 확인할 수 있었다.

**Key Words** : 전처리 필터, 가우시안 모델 기반, H.264, 노이즈 제거

### ABSTRACT

In this paper, we present a low complexity modified Gaussian model based pre-processing filter to improve the performance of H.264 compressed video. Video sequence captured by general imaging system represents the degraded version due to the additive noise which decreases coding efficiency and results in 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 for given quantization step size. In addition, in order to reduce the complexity of the pre-processing filter, the simplified local statistics and quantization parameter are introduced. The simulation results show the capability of the proposed algorithm.

### I. 서 론

JVT는 ITU-T와 ISO/IEC에 의해 설립되어 기존의 동영상 표준 부호화 방식보다 개선된 압축 효율을 얻기 위하여 H.264/AVC 동영상 표준 부호화 방식을 개발하여 왔다. H.264 동영상 표준 부호화

방식은 UVLC (Universal Variable Length Coding), 4×4 블록 기반의 정수형 변환, 그리고 가변 블록 크기의 움직임 예측과 보상을 특징으로 하며<sup>[1-3]</sup>, 부호화된 정보의 국부 통계 특성은 이전의 다른 표준과는 다르게 표현된다. 그러므로 압축 효율 및 화질을 개선시키기 위한 방식도 다른 표준 방식

\* 숭실대학교 정보통신전자 공학부(won@vip1.ssu.ac.kr, mhong@e.ssu.ac.kr),

논문번호 : KICS2004-08-157, 접수일자 : 2004년 8월 23일

※ 본 연구는 2004년도 숭실대학교 교내 연구과제 지원으로 수행 되었음

과는 다르게 설정되어야 한다

기존 표준 동영상 방식의 화질 개선 및 압축 효율 향상과 관련된 대부분의 연구들은 복호화 된 영상을 후처리 필터 방식에 의해 해결하고자 하는 접근 방식들이 주를 이루었다<sup>4,7</sup>. 반면에 주어진 비트율에 대해 첨가된 노이즈를 제거하거나 양자화 스텝 크기를 이용한 전처리 필터는 드물게 연구되었다

양자화 스텝 크기가 rate control 알고리즘을 기반으로 처리되므로 전처리 필터는 원 영상으로부터 영상의 화질을 극대화 시키는 것을 목적으로 하며, 노이즈 필터링에 대한 접근 또한 필요로 하게 된다<sup>8</sup>. A. Ortega는 rate distortion을 이용한 향상된 전처리 필터를 소개하였다<sup>9</sup>. 또한 필터링 결정에 있어서 가변 길이 코드에 대한 사전 지식을 포함하는 유사 방식이 발표되었다<sup>10</sup>. 이와 같은 방식들은 결과 영상의 화질을 원 영상과 움직임 보상된 영상 사이의 오류 잔여 신호를 제어함으로써 정해진 비트율에 대해 극대화 시키는 것을 목적으로 한다. 위의 접근 방식들은 양자화 과정으로부터 발생하는 블로카 현상을 제거하였으나 정보 손실을 유발하고 첨가된 노이즈 또한 제거되지 못하였다.

일반적으로, 동영상은 원 영상이 영상 획득 장치로부터의 노이즈에 의해 훼손된 형태로 나타난다. 이 경우, H.264 동영상 표준 부호화 방식을 포함한 여러 동영상 부호화 표준을 이용하여 복원된 동영상은 압축 효율의 저하와 시각적으로 불편한 현상들이 나타나게 된다. 그러므로 필터링 과정은 윤곽선과 같은 중요한 정보의 보존과 동시에 노이즈를 제거하여 원 영상과 유사한 형태의 복원된 영상을 얻고자 하는 것을 목적으로 한다. 또한 전처리 필터의 통계적 특성이 가변 길이 부호화 구조와 유사하여 요구된 비트율 저장이 가능하게 되므로, H.264 동영상 표준 부호화 방식을 포함한 거의 모든 동영상 표준이 가변 길이 부호화에 관한 통계적 특성을 가우시안 분포로 적용할 수 있다. 그러므로 필터링 된 결과가 가변길이 부호화와 유사한 확률 값을 가질 때 화질 및 압축 효율이 최대로 보장된다

본 논문에서는 주어진 양자화 매개변수에 대한 노이즈를 효과적으로 제거함으로써 화질을 극대화 시키는 가우시안 모델 기반의 전처리 필터에 대해 제안한다. 훼손된 영상의 국부 통계적 특성과 양자화 매개변수가 필터 구현에 이용되었고 부동 소수 연산 없이 3개의 필터 탭을 계산량 절감을 위하여 사용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다 2절에서는 가우

시안 모델 기반의 필터 배경에 대해 설명하고 3절에서는 제안한 1차 가우시안 모델 기반의 필터에 대해 설명 제안된 필터의 매개변수로 사용된 양자화 노이즈는 H.264의 변환 과정과 양자화 과정으로부터 유도하였으며, 전처리 필터에서 사용되는 국부 통계 특성을 정의하였다. 또한 4절에서는 제안된 방식의 실험 결과를 기술하고 5절에서 결론을 맺는다.

## II. 배경

일반적인 영상 획득 장치를 통과하여 얻은 영상은 원 영상에 노이즈가 첨가된 훼손 영상으로 표현된다. 이와 같이 훼손된 영상에 대해 주어진 양자화 스텝 크기에 최소의 비트율에서 노이즈가 제거된 영상을 얻기 위해서는 전처리 필터 과정이 필수적이다

그러므로 영상의 국부 통계 특성 및 수행하게 될 양자화 스텝 크기에 따라 입력 영상의 저주파 통과 필터 특성을 다르게 설정해야 효과적인 노이즈 제거 및 비트율 절감을 이룰 수 있다. 영상 화질에 대한 최종 결정은 인간의 시각에 의해 결정되므로 인간 시각 시스템 (HVS : Human Visual System)이 필터링 과정에서 필요로 하게 된다. 따라서 인간 시각 시스템이 가우시안 모델로 유추되어 다음과 같은 필터링 과정으로 나타난다<sup>10</sup>.

$$y = h ** x. \tag{1}$$

식 (1)의  $x$  및  $y$ 는 각각 원 영상 및 열화된 영상을 나타내며  $h$ 는 2차 가우시안 모델 기반의 필터를 나타내고  $**$ 는 2차원 컨볼루션(convolution)을 나타낸다. 2차원 가우시안 필터는 분리성질 (separable property)을 갖고 있으므로 식 (1)은 다음과 같이 영상의 수평 및 수직 방향으로 분리된 2개의 1차 필터 형태로 나타낼 수 있다.

$$y = h_v * h_h * x. \tag{2}$$

위 식 (2)의  $h_v$ 와  $h_h$ 는 수직 및 수평 방향의 1차 가우시안 필터를 나타내고  $*$ 는 1차 컨볼루션을 나타낸다. 본 논문에서는 위의 식 (2)와 같은 1차 가우시안 필터를 이용하여 전처리 필터로 사용하였으며, 변형된 1차 가우시안 필터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$h(i) = \frac{1}{Z} \exp \left( \frac{-i^2}{\frac{\sigma_N^2}{\sigma_B^2} k^2} \right) \tag{3}$$

식 (3)에서  $Z$ 는 정규화 상수,  $\sigma_N^2$ 과  $\sigma_B^2$ 은  $i$ 번째 필터 계수의 양자화 노이즈와 국부 분산을 나타내며,  $k$ 는 인간의 시각적 특성에 영향을 미치는 매개변수를 나타낸다<sup>[10]</sup>. 3장에서 각 매개 변수에 대한 특성 및 설정 과정에 대해 기술한다

### III. 1-D 가우시안 모델 기반의 전처리 필터

본 논문에서 제안된 필터는 계산량 절감을 위하여 3 필터 탭(tap)을 사용하였다. 그림 1에서와 같이, 두 개의 인접된 화소  $p_1$  및  $q_2$ 는  $q_1$ 의 국부 통계 특성으로 표현하여 필터링된 결과를 얻기 위해 사용된다. 식 (3)에서  $\sigma_B^2$ 와  $k$ 는 국부 특성을 나타내는 매개 변수로 이용되었는데, 국부 활성성을 나타내는  $\sigma_B^2$ 는 윤곽선과 같은 중요한 정보에 대하여 큰 값을 갖게 되므로, 과도한 smoothing 없이 정보를 보존할 수 있게 설정되어야 하며  $\sigma_B^2$ 이 배경과 같은 평탄한 영역에서 노이즈를 제거하기 위해서는 작은 값을 갖게 되어 국부 영역의 특성에 맞게 조절될 수 있어야 한다. 그러나 분산 연산은 많은 계산량을 필요로 하므로, 본 논문에서는 계산량 절감을 위하여 다음과 같은 국부 통계 특성으로 재정의 하였다.

그림 1. 제안된 필터의 형태

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

및

$$\sigma_B \approx \frac{|p_1 - \mu_{q_1}| + 2 \times |q_1 - \mu_{q_1}| + |q_2 - \mu_{q_1}|}{2} \quad (5)$$

식 (4)의 국부 평균은 나눗셈 연산 없이 계산될 수 있는 장점을 가지고 있고, 식 (5)의 변형된 형태의 분산에서는 곱셈 연산을 최소화 하여 계산량을 절감시키도록 정의되었다.

첨가 노이즈의 시각적인 정도는 인간에게 국부 분산뿐만 아니라 배경에 의해서도 영향을 받게 된다. 예를 들어, 같은 노이즈가 어두운 영역과 밝은

영역에 같은 활성성을 갖도록 노이즈가 첨가된 경우, 밝은 영역에서의 노이즈가 어두운 영역에서의 노이즈 보다 더욱 시각적으로 불편한 현상을 나타낸다. 이와 같은 visibility 특성을 이용하여 매개변수  $k$ 를 다음과 같이 정의하였다

$$k = \sqrt{\mu_{q_1} + 1} \quad (6)$$

식 (3)에 정의된 국부 지역 노이즈 성분  $\sigma_N^2$ 은 H. 264 동영상 표준 부호화 방식의 양자화 노이즈를 전처리 과정에서 제거함으로써 화질을 개선시키고, 비트율을 절감하도록 사용된다. 식 (3)의 매개변수인 노이즈에 대한 분산은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환과 양자화 과정으로부터 다음과 같이 유추하였다. H.264 동영상 표준 부호화 방식의 4x4 블록에 대한 DCT 변환 과정은 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$Y = AXA^T = \begin{bmatrix} a & a & a & a \\ b & c & -c & -b \\ a & -a & -a & a \\ c & -b & b & -c \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} a & b & a & c \\ a & c & -a & -b \\ a & -c & -a & b \\ a & -b & a & -c \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)에서,  $X$ 는 입력 영상의 4x4 블록의 행렬을 나타내고,  $a = 1/2$ ,  $b = 1/\sqrt{2} \cos(\pi/8)$ ,  $c = 1/\sqrt{2} \cos(3\pi/8)$ 이다. 식 (7)은 부동 소수연산을 필요로 하기 때문에 역변환 (IDCT: Inverse Discrete Cosine Transform) 했을 때, 부정합(mismatch) 현상이 발생한다. 이러한 문제를 피하기 위하여, H.264 부호화 방식에서는 정수 변환 방식을 사용하고 있으며, 위의 식 (7)을 다음과 같이 정수형 변환 형태로 나타낼 수 있다[13].

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 1 & -1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2 & ab/2 & b^2 \\ a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2 & ab/2 & b^2 \end{bmatrix} = (CXC^T) \otimes S = W \otimes S \quad (8)$$

위 식에서  $\otimes$ 는 요소 곱(element multiplier)을,  $A^T$ 는 행렬  $A$ 의 전치 행렬을 나타내고,  $S$ 는 양자화 과정의 크기 조정 인자(scaling factor)를 나타낸다. 이와 같은 결과로부터 양자화 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$Z = \frac{[Y \otimes E]/(2^{15+QP/6})}{[(W \otimes S) \otimes E]/(2^{15+QP/6})} \quad (9)$$

식 (9)에서 E와 QP는 양자화 테이블과 양자화 인덱스를 나타내며, Z는 4x4 블록의 양자화 된 결과를 나타내고, 이는 H.264 동영상 표준 부호화 방식에 명시되어 있다[13]. 따라서 양자화 노이즈는 다음과 같은 식으로 유도하여 표현할 수 있다

$$\text{Quantization Error} = (2^{15+QP/6})/E \quad (10)$$

본 논문에서는 식 (10)을 필터링 과정에서 주어진 QP에 대한 양자화 노이즈를 매개변수  $\sigma_N^2$ 로 사용하였다. 식 (4), (5), (6) 및 (10)을 이용하여  $q_1$ 에 대한 필터링 된 결과를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_1 = h(0)q_1 + h(1)(p_1 + q_2) \quad (11)$$

식 (11)에서 p와 q는 처리되지 않은 화소 값을 나타내며,  $Q_1$ 은 필터링 된 화소 값을 나타낸다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 다양한 영상과 해상도, 양자화 크기에 대해 실험하였다. 그 중 QCIF "Foreman", "Container" 및 USB 카메라로부터 획득된 "Test" 영상에 대해 기술한다. 제안된 알고리즘을 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 JM(Joint Model)6.1e의 환경에서 실험하였으며, 객관적인 성능 평가를 위하여 PSNR을 사용하였다 PSNR은  $M \times N$  크기의 8bit 영상에 대하여 다음과 같이 정의된다

$$PSNR = 10 \log \frac{MN \times 255^2}{\|f - \hat{f}\|^2} \quad (12)$$

식 (12)에서  $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름 (Euclidean norm)을 나타내고, f는 원 영상,  $\hat{f}$ 은 복원된 영상을 나타낸다.

그림 2는 QCIF 36번째 "Foreman" 영상에 25(dB) 가우시안 노이즈가 섞인 영상을 복원한 결과로서, 전처리 필터를 사용하지 않은 경우와 전처리 필터를 사용한 경우를 나타낸다. 그림 3은 30(dB)의 가우시안 노이즈가 첨부된 경우에 대해 나타난 결과 영상이다. 또한 그림 4 및 그림 5는 위의 "Foreman" 영상과 같은 환경에서의 QCIF 58번

제 "Container" 영상에 대한 결과를 나타낸다. 실제 환경을 고려하기 위해 저가용 USB 카메라로부터 획득된 "Test" 영상의 전처리 필터를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 결과 영상을 그림 6에 나타내었다. 위의 결과 영상들로부터 전처리 필터를 사용하지 않은 H.264 복원 영상은 첨가된 노이즈가 존재하지만, 제안된 전처리 필터를 사용한 복원 영상은 노이즈가 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 가우시안 필터의 저주파 통과 필터의 특성으로 인해 윤곽선 정보가 약간 열화된 상태로 나타난 반면에, 배경 노이즈에 대해서는 열화 현상 없이 노이즈가 제거되었음을 확인할 수 있었다 위의 결과로부터 제안된 필터를 이용한 압축 영상은 다양한 첨가 노이즈를 효과적으로 제거하여 주관적인 화질 개선이 있음을 확인할 수 있었다

QCIF "Foreman" 및 "Container" 영상에 25(dB) 및 30(dB) 노이즈를 첨가한 경우와 저가형 USB 카메라로부터 획득된 "Test" 영상에 대한 양자화 인덱스에 따른 PSNR과 비트율을 비교 내용을 표 1, 표 2, 및 표 3에 나타내었다. 표 1 및 표 2에 나타낸 바와 같이 제안된 방식을 이용한 경우 주어진 양자화 인덱스에서 비트율을 약 40-50(%) 절감할 수 있었으며, 첨가 노이즈가 심한 경우 PSNR의 향상도 있었음을 확인할 수 있었다. 또한 표 3에서의 "Test" 영상에 대해서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7에서 그림 10에 "Foreman" 및 "Container" 영상에 25(dB) 및 30(dB)의 노이즈를 첨가했을 때 제안된 필터를 사용하지 않은 경우, 일반적인 필터 계수 {1/4, 1/2, 1/4}를 사용한 경우, 그리고 제안된 필터를 사용한 경우의 결과를 비트율 함수에 대한 PSNR 나타내었다. 첨가 노이즈가 심한 경우 제안된 필터 방식을 이용한 복원 영상 결과는 동일 비트율에서 필터를 사용하지 않은 경우 및 단순한 형태의 저주파 통과 필터를 사용하는 경우보다 PSNR 개선이 있었으나, 첨가 노이즈 정도가 심하지 않은 경우 동일 비트율에서 필터를 사용하지 않는 결과보다 PSNR 저하가 발생하였다.

위의 결과들로부터, 제안된 방식을 이용하여 노이즈 정도가 심한 경우 압축 효율을 효과적으로 개선하고 개선 정도는 양자화 스텝 크기가 작을수록 더욱 높음을 알 수 있었다. 또한 윤곽선 정보를 최대한 유지하면서 노이즈 제거를 효과적으로 하였음을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 2. QCIF Foreman 36번째 영상(25dB Noise, QP=20)  
(a) 원 영상 (b) 제안된 방식의 결과 영상



(a)



(b)

그림 4. QCIF Container 58번째 영상(25dBNoise, QP=20)  
(a) 원 영상 (b) 제안된 방식의 결과 영상



(a)



(b)

그림 3. QCIF Foreman 36번째 영상(30dB Noise, QP=20)  
(a) 원 영상 (b) 제안된 방식의 결과 영상



(a)



(b)

그림 5. QCIF Container 58번째 영상(30dBNoise, QP=20)  
(a) 원 영상 (b) 제안된 방식의 결과 영상



(a)



(b)

그림 6. QCIF Test 68번째 영상(USB 획득 영상, QP=20)  
(a) 원 영상 (b) 제안된 방식의 결과 영상

표 1. Foreman의 QP값에 따른 전처리 필터의 성능비교

	QP	without filter				with proposed filter			
		SNRY	SNRU	SNRV	Bit rate	SNRY	SNRU	SNRV	Bit rate
SNR	16	39.44	41.18	41.22	830.28	39.58	43.34	43.72	456.59
	20	39.08	40.87	40.80	465.96	38.85	42.50	43.11	258.40
	25	38.17	40.36	40.29	176.90	37.39	41.34	41.95	138.11
	28	35.89	40.19	39.89	83.44	35.24	39.88	40.26	75.16
	32	33.10	39.26	39.60	46.41	32.73	38.91	39.17	44.04
dB	16	42.83	44.37	44.60	532.17	40.23	43.74	44.50	348.84
	20	41.19	43.82	44.66	251.21	39.08	42.32	43.12	205.99
	25	38.58	42.01	42.94	133.38	37.28	41.07	41.74	119.69
	28	35.86	40.26	40.85	76.33	35.10	39.68	40.08	70.79
	32	33.13	39.14	39.41	45.30	32.64	38.75	38.89	42.82

표 2. Container의 QP값에 따른 전처리 필터의 성능비교

	QP	without filter				with proposed filter			
		SNRY	SNRU	SNRV	Bit rate	SNRY	SNRU	SNRV	Bit rate
SNR	16	40.53	42.16	42.36	696.76	40.29	44.15	44.34	303.78
	20	40.04	41.90	42.00	338.77	39.47	43.46	43.61	142.12
	25	38.72	41.16	41.36	88.93	37.98	42.28	42.13	59.32
	28	36.25	40.28	40.06	31.99	35.88	40.43	40.06	27.88
	32	33.38	39.68	39.38	15.32	33.22	38.74	38.72	14.66
dB	16	43.66	45.39	45.46	389.47	40.68	44.56	44.88	190.22
	20	41.54	45.09	45.26	143.52	39.49	43.19	43.32	91.46
	25	38.80	42.08	43.17	61.59	37.81	41.69	41.72	48.00
	28	36.13	40.99	40.71	27.99	35.70	39.96	40.00	25.61
	32	33.28	39.43	38.84	14.63	33.15	38.64	38.22	14.17

표 3. Test 영상의 QP값에 따른 전처리 필터의 성능비교

	QP	without filter	with proposed filter
Test	16	780.26	570.04
	20	473.28	379.22
	24	278.87	250.36
	28	172.78	164.91
	32	104.62	102.19

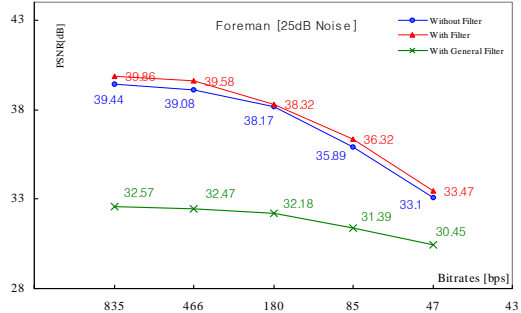


그림 7. Foreman QCIF (25dB 노이즈 첨가) 영상의 Bitrate에 따른 PSNR 비교

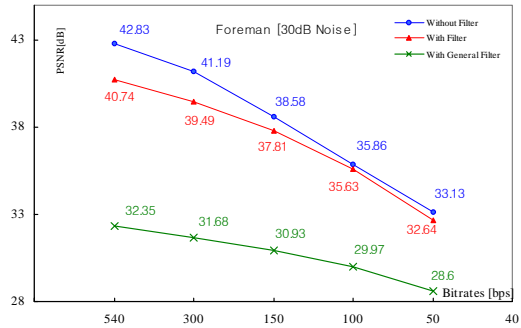


그림 8. Foreman QCIF (30dB 노이즈 첨가) 영상의 Bitrate에 따른 PSNR 비교

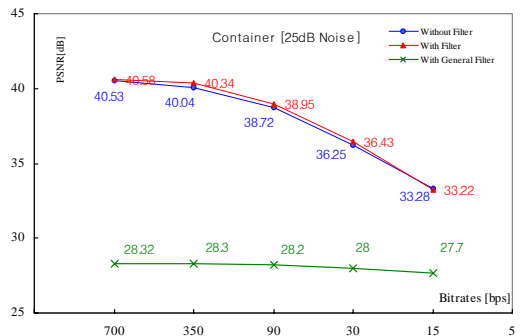


그림 9. Container QCIF (25dB 노이즈 첨가) 영상의 Bitrate에 따른 PSNR 비교

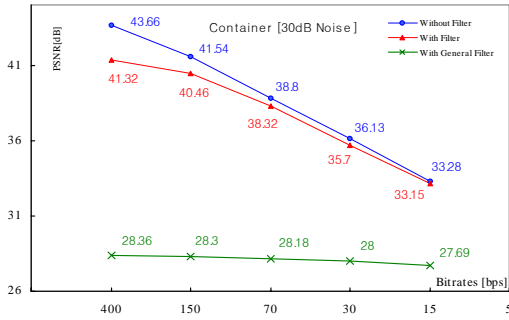


그림 10. Container QCIF (30dB 노이즈 첨가) 영상의 Bitrate 에 따른 PSNR 비교

### V. 결론

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 성능 향상을 위한 저 계산량의 전처리 필터를 제안하였다. 변형된 가우시안 PSF를 제안하였으며, 국부 활동성과 양자화 매개변수, 그리고 간단한 형태의 가시 함수 (visibility function)가 필터링 과정에서 소개되었다. 가우시안 PSF를 제어하는 매개변수들을 국부 통계적 특성을 이용하여 결정하였다 실험 결과로부터, 노이즈에 의해 심하게 훼손된 영상에 대해 부호화율 개선 및 효과적으로 노이즈 제거가 있었음을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 필터링 과정을 칼라 영상의 채널 간의 상관관계를 이용하여 노이즈 제거를 효과적으로 하기 위한 방식을 연구 중이다 이와 같은 방식을 이용하는 경우 첨가 노이즈 정도에 따라 노이즈 제거를 보다 효과적으로 하여 윤곽선 정보의 손실 없이 보다 압축 효율을 개선 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

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

[2] Iain E. G. Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression*, Wiley, 2003.

[3] 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.

[4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear Space-invariant Post Processing of Blocking Coded Images," *IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology*, vol.13, no. 9, pp.560-576, July 2003.

[5] R. Rosenholtz and A. Zakhor, "Iterative Procedure for Reduction of Blocking Effects in Transform Image Coding," *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, vol.2, no. 91-94, March 1992.

[6] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized Reconstruction to Reduce Blocking Artifacts of Block Discrete cosine Transform Compressed Images," *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 3, no. 6, pp. 421-432, Dec. 1993.

[7] A. K. Katsaggelos and N. P. Galatsanos, editors, *Signal Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission*, Kluwer Academic Publishers, 1998.

[8] J. C. Brailean, R. P. Kleihorst, S. N. Efstratiadis, A. K. Katsaggelos, R. L. Lagendijk, "Noise Reduction Filters for Dynamic Image Sequences : A Review," *IEEE Proceedings*, vol. 83, no. 9, pp. 1272-1292, Sept. 1995.

[9] 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.

[10] C. Andrew Segall, Passant Karunaratne and Aggelos, 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.

[11] A. B. Watson, "DCT Quantization Matrices Visually Optimized for Individual Images," *Proceedings of the SPIE Human Vision, Visual Processing and Display*, IV, vol. 1913, pp. 202-216, Jan. 1993.

[12] A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Resto-

