

Soft-Threshold 기법을 이용한 영상신호의 양자화 잡음 제거 효과

우창용*, 박남천*

경남대학교 전기전자공학부

The Quantization Noise Reducing Effect on Image Signals by the Soft-Threshold Technique

Chang-Yong Woo*, Nam-Chun Park*

*Division of Electrical and Electronic Eng. Kyungnam University
nachpa@Hanma.kyungnam.ac.kr

요 약

고압축 영상신호에서 발생한 양자화잡음 제거 효과를 비교하였다. 잡음제거는 Soft-Threshold 기법을 이용하여 각 대역에서 양자화 잡음을 제거하였다. Soft-Threshold 기법에 적용하기 위해 각 대역별 잡음분산을 Monotonic 변환 및 SURE, Visu 방법으로 추정하여 양자화 잡음제거 효과를 PSNR로 비교하였다. 양자화 잡음 제거 결과 영상에 따라 달라지지만 유니폼 양자화 영상에서 약 5 ~ 6dB 정도의 영상품질 개선 효과가 있었다.

I 서론

최근 멀티미디어의 급속한 발전으로 대용량 정보 처리에 대한 요구가 증가되고 있으며 이를 위해 데이터 압축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 데이터 압축은 무손실 압축과 손실 압축으로 분류 할 수 있다. 최근에는 멀티미디어의 발달로 손실압축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 JPEG (Joint Photographic Experts Group)과 MPEG(Moving Picture Experts Group) 등에서는 손실압축을 이용하여 압축률을 높이기 위해 연구가 계속되고 있다.[1] 데이터 압축은 양자화과정과 코드할당을 위한 부호화 과정을 통해 이루어진다. 양자화 과정은 스칼라 양자화와 벡터 양자화가 있으며 스칼라 양자화는 유니폼 양자화와 로이드맥스 양자화가 있다. 부호화 과정은 양자화를 기본으로 한 효율적인 코드 할당함으로 압축률을 높여준다. 그러므로 데이터 압축은 양자화 과정이 매우 중요하다. 또 이런 양자화 과정의 압축률을 높이기 위해 변환영역의 주파수 대역별 양자화 비트를 다르게 함으로 데이터 압축을 높이는 연구[2]가 지난 수 십년 간 진행되어 왔으며, 웨이블릿 변환 영역에서의 부밴드 부호화와 프랙탈 부호화가 푸리에 변환 영역에서의 부밴드 부호화보다 효과적 인 것으로 알려져 있다.[3] 이 손실 압축은 결과적으로 원 신호와는 다른 신호로 복구되고 이 차이가 양자화 잡음이 된다. 특히 영상신호에서의 양자화 잡음은 Blurring과 Ringing 및 Blocking 현상 등의 발생원인이 된다.[4] 또 적은 수의 비트를 할당한 고압축에서는 Contouring효과가 발생된다. 고압축 영상에서 양자화잡음은 원영상과 매우 큰 상관관계를 갖고 있어 양자화 잡음을 제거하기가 매우 어려운 것으로 알려져 있다.[3] 이런 고압축 양자화잡음을 제거 또는 축소하고 시각적 측면에서 영상품질을 개선하

기 위해 많은 방법들이 연구되고 있다. [5]에서는 디터링(Dithering)기법을 이용한 영상품질 개선 방안이 제시되었고, [6]에서는 적절한 합성필터(Synthesis Filter) 선택으로 양자화 잡음을 축소시키는 방법, [7]는 베이지안 추정에 의한 경계값을 이용한 Threshold에 의한 잡음제거 방법들이 제안되었다. 또 [3]는 Undecimated DWT를 이용한 양자화 잡음 제거 방법이 제안되었다.

본 논문은 유니폼 양자화 잡음을 제거하였다. 경계값 결정을 위해 잡음편차가 알려져 있지 않은 경우, 잡음편차 추정하기 위해 [8]에서 제시된 Donoho의 편차 추정 방법인 Visu와 SURE(Stein Unbiased Risk Estimator) 그리고 Monotonic 변환[9]에 의한 잡음편차 추정방식으로 양자화 잡음제거 효과를 비교하였다. 실험을 위해 각 영상을 웨이블릿 변환으로 2레벨로 분할한 후 유니폼 양자화를 하였으며 고압축을 위해 각 대역에 서로 다른 비트 수를 할당하였다. 각 대역별 오차 분산 추정을 위해 앞에서 제시된 방법으로 잡음편차를 추정하여 Soft-Threshold 기법을 사용하여 잡음을 제거하여 결과는 원 영상과 잡음제거한 영상과의 PSNR로 비교하였다. 실험결과 SURE와 Monotonic 방법은 전체 실험영상에서 약 5~6dB 정도의 잡음 제거 효과가 있었지만, Visu 방법은 영상에 따라 잡음제거 효과가 큰 차이를 보였으며 blurring 효과가 다른 방법보다 많이 발생되었다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 Soft-Threshold 과정을 설명하고, 3장에서는 잡음분산추정방법을 설명한다. 그리고 4장에서는 실험방법과 결과를 설명하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. ST 기법의 잡음제거 알고리즘

원신호 f 와 잡음이 부가된 신호 \tilde{f} 로 두면

$$\tilde{f}_i = f_i + \sigma z_i, \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (1)$$

(단, $\tilde{f}_i = \tilde{f}(t_i), f_i = f(t_i)$ 이고 $t_i = \frac{i}{n}$ 이다. 또 σ 는 잡음편차이고 z_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 분포인 $N(0, 1)$ 의 분포를 갖는다.) 식(7)을 웨이브릿 변환하면

$$W_{\psi} \tilde{f}_i = (W_{\psi})(f_i + \sigma z_i) = W_{\psi} f_i + \sigma (W_{\psi} z_i) \quad (2)$$

식(8)에서 웨이브릿 변환 영역에서 가우시안 잡음 z_i 은 σ 와 같은 진폭을 갖는 ω_i 가 된다. 식(8)에서 정보 신호 f_i 를 구하면

$$f_i = (W_{\psi}^{-1})(W_{\psi} \tilde{f}_i - \sigma \omega_i) \quad (3)$$

식(9)은 잡음이 부가된 신호에서 원 신호를 구하는 식이지만 $\sigma \omega_i$ 가 알려져 있지 않으므로 $\sigma \omega_i$ 대신 추정치 λ 를 사용하면

$$\bar{f}_i \approx (W_{\psi}^{-1})(W_{\psi} \tilde{f}_i - \lambda) \quad (4)$$

식(4)는 \bar{f}_i 는 $W_{\psi} \tilde{f}_i$ 에 추정치 λ 를 제거하므로 잡음이 제거된 원 신호의 추정 신호가 되고 원 신호의 최적 추정이 된다. Donoho는 최적 λ 를 식(5)과 같이 제시하였다.

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log(n)}, \quad n \text{은 표본수} \quad (5)$$

식(12)은 ST 기법에 의한 잡음 제거된 웨이브릿 변환에서의 추정식이다.

$$\eta_{\lambda}(x) = \begin{cases} x - \lambda & x \geq \lambda \\ 0 & |x| < \lambda \\ x + \lambda & x < -\lambda \end{cases} \quad (6)$$

III. 잡음분산 추정

잡음 제거를 위해 Soft-Threshold 기법을 적용하기 위해 경계값 λ 는 식(5)와 같이 잡음분산에 비례하므로 잡음분산을 알아야된다. 그러나 잡음분산이 알려져 있지 않은 경우 웨이브릿 변환 영역의 최고대역에서 Donoho 등은 [8]에서 아래 1, 2와 같이 분산 추정방법을 제시하였으며 본 논문에서는 아래 3의 Monotonic 변환을 이용한 잡음분산 추정방법을 제시하여 경계값에 적용하였다.

1. Visu 추정

잡음 분산이 알려져 있지 않은 경우 Donoho 등은 웨이브릿 변환 영역의 최고대역에서 식(5)의 σ 대신 식(7)을 제시하였다(MAD는 계수 절대치의 중간값)

$$\hat{\sigma} = MAD / 0.6745 \quad (7)$$

식(7)은 웨이브릿 변환 영역에서의 최고 고주파대역에서만 유용하다. 그러므로 식(7)을 다른 대역에 적용할 수 없

는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있으며, Donoho는 SURE 방법을 적용한 경계값을 제시하였다

2. SURE방법[10]

SURE방법은 Donoho 등[8] 웨이브릿 변환 영역의 최고 주파 대역에서는 Soft-Threshold기법의 경계값 결정을 위한 잡음분산 추정식인 식(7)을 제시했으나, 식(7)이 적용될 수 없는 경우와 식 (7)에 의한 경계값 적용으로 성능이 저하될 경우를 위해 도입한 방법이다.

SURE의 계산과정은 잡음이 혼합된 데이터로부터 능동적 경계값의 추정량 중 리스크가 최소인 값을 계산하는 방법으로 SURE 추정량 $\hat{r}_i(f, T)$ 을 최소화하는 추정경계값 \hat{T} 는 N개인 데이터의 계수 $X_B[m]$ 을 크기에 따라 내림차순 정리를 하고 k번째 계수를 $X'_B[k] = X_B[m_k]$ 로 두면 $|X'_B[k]| \geq |X'_B[k+1]|$ 이 된다. 1 번째에서 식 (14)과 같은 관계가 성립되면

$$\begin{cases} |X'_B[l]| \leq T < |X'_B[l+1]| \\ (\text{단 } T \text{는 경계값이다.}) \end{cases} \quad (14)$$

SURE 추정량 $\hat{r}_i(f, T)$ 은 식(15)와 같이 된다.

$$\hat{r}_i(f, T) = \sum_{k=1}^N |X'_B[k]|^2 - (N-l)\sigma^2 + l(\sigma^2 + T^2) \quad (15)$$

$\hat{r}_i(f, T)$ 을 최소화하기 위해서는 $T = |X'_B[l]|$ 인 경계값 T 를 구해야된다. 즉 1 번째와 1+1 번째 계수와의 관계가 식 (14)가 성립되는 계수를 선정하고, 선정된 계수값 중 가장 작은 값을 선택하여 경계값으로 결정한다.

3. Monotonic 변환을 이용한 분산 추정

Monotonic 변환은 일대일 변환으로 서로 다른 확률분포를 갖는 독립인 두 확률변수가 합하여져 측정 가능한 새로운 확률분포를 갖게되고 서로의 확률분포를 알고 있다면 측정 가능한 확률분포로부터 다른 확률분포의 대표값을 알 수 있다. 특히 측정 가능한 확률분포가 Log-Normal 분포한 경우 가우시안 분포하는 확률변수의 평균과 분산은 식(8)에서 식(13)의 과정을 통해 간단하게 수식적으로 유도가 가능하며 신호 변환은 다음과 같다.

신호 $x(m)$ 과 $y(m)$ 이 이산신호이고, $x(m) \in \{x_1, \dots, x_N\}$ 과 $y(m) \in \{y_1, \dots, y_N\}$ 이라면

$$P_Y(y(m) = y_j) = \sum_{x_i} P_X(x(m) = x_i) \quad (8)$$

이다.

식(8)에서 확률변수 X에 대한 누적분포 Y가 단조증가 함수라면 $Y = \exp(X)$ 으로 표시할 수 있으며 식(8)의 좌변과 우변에 $\Delta y / \Delta y$ 와 $\Delta x / \Delta x$ 를 곱하고

$$\frac{F_y(y(m) + \Delta y) - F_y(y(m))}{\Delta y} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \frac{F_x(x(m) + \Delta x) - F_x(x(m))}{\Delta x} \quad (9)$$

식(9)에서 $\Delta x, \Delta y$ 를 zero에 수렴시키면

$$f_y(y(m)) = \left| \frac{\partial x(m)}{\partial y(m)} \right| f_x(x(m)) \quad (10)$$

식(10)에 $x(m) = h^{-1}(y(m))$ 을 대입하면

$$f_y(y(m)) = \left| \frac{\partial h^{-1}(y(m))}{\partial y(m)} \right| f_x(h^{-1}(y(m))) \quad (11)$$

식(11)는 표본 pdf와 모집단 pdf의 관계식이다. 여기서 $y(m) = \exp(x(m))$ 의 관계가 있으면 $f_y(y)$ 는 식(12)와 같이 구해진다.

$$f_y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x}y(m)} \exp\left(-\frac{\ln(y(m)) - \mu_x}{2\sigma_x^2}\right) \quad (12)$$

또 x 가 $x = \ln(y)$ 이면 식(13)과 같이 log-normal 분포의 평균과 분산으로 가우시안 분포의 평균과 분산을 구할 수 있다.

$$\begin{cases} \mu_x = \ln(\mu_y) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\sigma_y^2}{\mu_y^2}\right) \\ \sigma_x^2 = \ln\left(1 + \frac{\sigma_y^2}{\mu_y^2}\right) \end{cases} \quad (13)$$

IV. 모의실험 및 결과

고압축 양자화 잡음을 제거하기 위해 Soft-Threshold 기법에 의한 잡음제거를 실험하였으며 실험 영상은 256x256 의 8비트 해상도를 갖는 그레이 레벨 영상들이다.

1 대역 (8비트)	2 대역 (2비트)	5 대역 (1비트)
3 대역 (2비트)	4 대역 (2비트)	
6 대역 (1비트)		7 대역 (1비트)

그림 1. 대역 분리 및 비트할당

영상에 대해 D4 웨이블릿 필터로 그림 1과 같이 2레벨까지 분해한 후 1레벨인 5, 6, 7대역에는 1비트를 할당하고, 2레벨의 2, 3, 4 대역에는 2비트를 할당하였다. 또 최저주파수 대역 1에는 8비트를 할당하였다. 그림 2, 3, 4의 각 (a) 영상은 Lenna, Camera Man, Couple 영상을 그림1과 같이 비트를 할당한 유니폼 양자화 된 영상이다. 또 (b)~(d)는 (a)영상을 SURE 및 Visu 방법과 Monotonic 방법으로 추정된 잡음편차로 Soft-Threshold 기법에 적용하여 양자화 잡음을 제거하였다. 표 1은 양자화 된 영상에 양자화 잡음을 제거하여 효과를 PSNR로 비교하였다.

표 1. 유니폼 양자화시 잡음제거 효과

영상의 종류	압축영상	SURE	Visu 방식	Monotonic 방식
Lenna	22.9	28.9	26.5	28.7
Cammera Man	17.2	23.0	22.7	22.4
Couple	21.2	26.1	23.8	26.3

표 1의 압축영상은 원 영상과 압축된 영상의 PSNR을 나타내었으며, SURE는 웨이블릿 변환된 영역에서 압축 영상 신호에 대하여 식 (15)에 의해 추정된 경계값을 이용하여 식 (6)의 Soft-Threshold 기법으로 양자화 잡음을 제거한 후 원 영상과의 PSNR을 측정하였으며, Visu 방식은 식 (7)로 잡음편차를 추정하여 식 (6)으로 잡음을 제거하였다. 그리고 Monotonic방식은 식 (13)에 의한 편차 추정하여 같은 방법으로 잡음을 제거 후 원 영상과의 PSNR을 측정하였다.



(a) 양자화 된 영상

(b) SURE



(c) Visu

(d) Monotonic

그림 2. 유니폼 양자화 된 Lenna 영상의 잡음제거 된 영상



(a) 양자화 된 영상

(b) SURE



(c) Visu

(d) Monotonic

그림 3. 유니폼 양자화 된 Cameraman 영상의 잡음 제거된 영상



(a) 양자화 된 영상

(b) SURE



(c) Visu

(d) Monotonic

그림 4. 유니폼 양자화된 Couple 영상의 잡음제거된 영상

실험 결과 SURE은 전체 실험 영상에서 5 ~ 6 dB 정도의 개선효과가 있었으며, Monotonic 방법은 4.1dB에서 5.8dB 정도의 개선 효과가 있었지만 Visu 방법은 1.6dB에

서 4.5dB로 영상에 따라 잡음제거 효과가 많은 차이가 있었으며 잡음개선 효과도 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문은 웨이블릿 변환 영역에서 유니폼 양자화 된 고압축 영상신호에서 발생된 양자화잡음을 제거하기 위해 Soft-Threshold 기법을 이용하였다. 그리고 경계값 추정을 위해 SURE 및 Visu 방법과 Monotonic 방법으로 양자화 잡음편차를 추정하여 이를 양자화 잡음을 제거하여 잡음 제거 효과를 비교하였다. 실험결과 SURE 및 Monotonic 방법은 약 5 ~ 6 dB 정도의 영상품질 개선효과가 있었으며, Visu 방법은 1.6 dB에서 5.5dB까지 영상에 따라 잡음제거 효과가 일정하지 않고 변화가 많았으며 Blurring 현상도 발생하였다. 향후 연구 방향은 더 많은 영상과 더 다양한 비트 할당에 대한 모의실험이 필요한 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Khalid Sayood, Introduction to Data Compression, 2nd ,Academic Press, 2000.
- [2] John W. Woods, Subband Image Coding, Kluwer Academic publishers, 1991.
- [3] D. Wei, M. Lang, J. E. Odegard, and C. S. Burrus, "Quantization Noise Reduction Using Wavelet Thresholding for Various Coding Schemes", In SPIE, Math. Imaging; Wavelet Application, in Signal and Image Processing Vol. 2569, July, 1995.
- [4] T. A. Ramstad, S. O. Aase, J.H.Husoy, Subband Compression of Images; Principles and Examples, Elsevier. Science B.V. 1995, pp205~pp272.
- [5] T. Chen, "Elimination of Subband-Coding Artifacts Using the Dithering Technique", Image Proc. IEE Int. Conf. Image Processing, Vol 2, 1994. pp874-877.
- [6] J. Kovacevic, "Subband Coding System Incorporating Quantize Models", IEEE, Trans. On Image Processing Vol 4, No 5, May 1995.
- [7] S. Grace Chang, Bin Yu and Martin Vetterli, "Lossy Compression and Wavelet Thresholding for Image Denoising", IEEE, Trans. On Image Processing, Jan , 1998.
- [8] D. L. Donoho, I. M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage", Biometrika, 81. 3. 1994. pp425-455.
- [9] Chang Y. Woo, Chang B. Joo, Nam C. Park, "Noise Suppression of Image Signals by Using the Wavelet Shrinkage via the Monotonic Transform", Proceeding of the ISIM 2000, Oct. pp177-182.
- [10] S. Mallat, A Wavelet tour of Signal Processing, 2nd Academic Press, 1999, pp455-547.