

허용 오차 변화에 따른 BCS-SPL 성능 분석

박영균, *심혁재, **전병우
성균관대학교

pyg484@skku.edu, *waitnual@ece.skku.ac.kr, **bjeon@skku.edu

요 약

압축 센싱 기술은 성긴 (sparse)신호의 경우 Nyquist 표본화율보다 적은 수의 표본으로도 원신호를 완벽하게 복원할 수 있는 이론을 제시하고 있다. 전통적인 영상 처리분야에 압축 센싱 기술을 적용하는 연구를 시작함에 따라 계산 복잡도 및 메모리 문제로 블록 영상 기반 압축 센싱 방법을 많이 고려하고 있다. 또한, 이러한 압축 센싱 방법에서 복원 과정은 일정 허용 오차 범위 기준을 복원 신호가 만족시키는 경우에 종료되므로, 허용 오차 범위에 따른 복원 신호 품질과 계산 복잡도에 변화가 발생하게 된다. 본 논문에서는 블록 기반 압축 센싱 방법을 이용하여 영상을 복원함에 있어, 허용 오차 값에 따른 복원 영상의 화질 변화와 시간 절감 정도를 비교, 분석하였다.

1. 서론

압축 센싱 이론은 Sparse 신호의 경우 Nyquist 표본화 방법보다 더 적은 표본 수도로 원 신호를 복원할 수 있는 구조를 제시하고 있다[1]. 기존 시스템에서는 신호를 복원하기 위해 신호를 표본화하고, 획득한 정보를 이용하여 압축 과정을 수행한다. 압축 센싱 이론에서는 표본화와 압축 과정을 단일 과정으로 해결할 수 있는 방법을 제시하기 때문에 부호화 단계의 복잡도 및 비용 절감 면에서 효과적인 구조이다.

기존 연구 [2]에서는 압축 센싱 이론을 이용하여 영상 정보를 획득할 때, 블록 단위로 압축하고 센싱하는 알고리즘을 제시하고 있다. 블록 단위로 영상을 처리함으로써 복호화 과정에서의 계산 복잡도와 메모리 증가의 문제를 해결할 수 있어 영상 단위 압축 센싱 방법보다 더 효과적이고 실용적인 구조를 가지고 있다. [3]에서는 BCS-SPL (Block-based Compressed Sensing Smooth Projected Landweber) 알고리즘을 제시하면서 블록 크기 및 측정값 선택에 따른 영상 복원 방법을 보여주고 있다. BCS-SPL의 복원 과정은 정해진 허용 오차 범위를 예측된 영상 결과가 만족시키는 경우에 종료된다. 그 결과, 허용 오차 범위에 따라 복원된 결과 영상의 화질 및 계산 복잡도 차이가 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 BCS-SPL 알고리즘에서 허용 오차 범위에 따른 영상의 화질 변화를 관찰하고, 그에 따른 계산 복잡도에 대해 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 압축 센싱 이론과 BCS-SPL 방법, 그리고 허용 오차에 따른 영상 품질 및 복잡도의 관련성을 살펴보면, 3장에서는 허용 오차와 결과 간의 연관성을 판단하기 위한 실험 방법과 결과에 대하여 분석하였다. 그리고, 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 기존 압축 센싱 방법

많은 신호들이 특정 영역(domain)으로 변환되면, 0이 아닌 계수들의 수가 적은 성긴 신호의 특성을 가진다. 압축 센싱 이론이 따르면, 이런 성긴 신호의 경우, 0이 아닌 표본들의 정보만으로도 원 신호를 복원할 수 있다[1].

$$y = \Phi x = \Phi \Psi s \quad (1)$$

x 는 원신호, s 는 성긴 신호이며, Φ 는 $M \times N$ 랜덤 센싱 행렬, Ψ 는 $N \times N$ 선형 기저 변환 행렬, 그리고 y 가 압축 센싱되어 전송될 측정 신호를 의미한다. 서브레이트(subrate)는 x, y 신호 길이 비율인 M/N 값을 의미한다. (1)의 식에서 성기지 않은 신호 x 도 Ψ^{-1} 를 통해 성긴 신호로 변환 가능하므로 압축 센싱 방법을 통해 신호 복원이 가능하다. 하지만, 원 신호 벡터의 차원이 클수록 랜덤 센싱 행렬의 크기도 커져야 함에 따라 필요한 연산과 메모리 요구량이 증가한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 [3]에서는 블록 단위 영상 압축 및 복원 방법인 BCS-SPL 방법을 제시한다.

BCS-SPL 방법은 부호화 단계에서 원 영상 신호를 일정 블록 단위로 분할하고, 분할된 각각의 블록 영상 신호에 대해 독립적으로 압축 센싱을 수행하여 얻은 측정 신호를 복호화기에 전송한다.

$$y_i = \Phi_B x_i \quad (2)$$

x_i 는 i 번째 블록 신호, Φ_B 는 $M_B \times B^2$ 블록 단위 센싱 행렬, 그리고 y_i 는 i 번째 측정 신호이다. 복호화 단계에서는 획득한 측정 신호를 기반으로 복원 작업을 수행하여 가장 원 신호 x 에 근접한 신호를 찾는다. 복원 단계에서 (2)의 역변환을 수행하여 획득한 \hat{x}_i 신호를 위너필터(Wiener filter) [4]와 하드 임계 과정을 이용한 반복적 예측 복원 방법을 통해 원 신호와 가까운 신호를 얻는다.

SPL 복원 방법은 반복 과정에서 예측된 신호들 간의 차이가 고정된 허용 오차 범위보다 작아지는 경우에 현재 복원 알고리즘을 종료한다[5].

$$|D^i - D^{i-1}| < TOL \quad (3)$$

여기서, TOL 은 고정된 허용 오차값(10^{-4})으로 설정되어 있으며, D^i 는 i 번째 복원 과정을 통해 변화된 신호 품질의 정도이다.

표 1. 허용 오차 변화에 따른 실험 결과

실험 영상	허용오차	Δ PSNR	TS (%)
Lena	10^{-1}	-0.60	69.67
	10^{-2}	-0.11	49.77
	10^{-3}	0.00	25.43
	10^{-4}	PSNR=35.90	$T_{anchor}=47.53$
Goldhill	10^{-1}	-0.23	72.31
	10^{-2}	0.08	53.95
	10^{-3}	0.13	35.18
	10^{-4}	PSNR=32.83	$T_{anchor}=55.20$
Mandrill	10^{-1}	0.06	70.64
	10^{-2}	0.09	54.43
	10^{-3}	0.08	35.65
	10^{-4}	PSNR=25.12	$T_{anchor}=53.01$

따라서, 허용 오차 값 변화는 복원 과정에 직접적인 연관성을 가지고 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 허용 오차 값의 변화가 CS 복원 결과에 어떤 변화를 가져오는지 알아본다.

3. 실험 결과 및 분석

허용 오차와 CS 복원 결과 간의 연관성 분석 실험을 위해, [3]의 BCS-SPL-DCT 알고리즘을 이용하였으며, 허용 오차 값은 10^{-4} 을 기준으로 일정 간격으로 허용 오차 값을 추가하여 수행하였다. 성능 판단을 위해서 각각의 허용 오차별 복원된 영상의 품질을 PSNR 로 측정하였고, 동시에 복원 과정에서 소요된 연산 시간(Time Saving, TS)을 기준 허용 오차의 경우와 비교하였다.

본 논문에서는 허용 오차별 복원 결과 성능 분석을 위해 Lena, Goldhill, Mandrill 의 흑백 영상(512x512)을 사용하였다. 영상을 블록 크기 32x32 로 분할하여 블록 기반 압축 센싱 및 복원 과정을 수행하였고, 허용 오차는 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} 로 실험하였으며, 블록 복원 시에 서브레이트는 0.1 부터 0.9 까지 0.1 간격으로 변화시켰다. 또한, 각 영상에 대해 10 회씩 반복 실험을 수행하였다.

비교, 분석의 용이를 위해 기준 허용 오차의 결과를 기준으로 영상 왜곡의 차이를 Δ PSNR 로, 그리고 복원 소요 시간 절감율을 TS(%)로 나타냈다.

$$DPSNR = PSNR_d - PSNR_{anchor} \quad (3)$$

$$TS = \frac{(T_{anchor} - T_d)}{T_{anchor}} \times 100 \quad (4)$$

여기서, d 은 실험 허용 오차 값인 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} 을 의미하며, $anchor$ 는 기준 허용 오차 값인 10^{-4} 를 의미한다. 표 1 은 각 실험 영상 별로 위의 실험 방법에 따라 도출된 전체 서브레이트 결과를 평균하여 얻은 것이다. 표 1 에서 허용 오차 값이 커질수록 일부 영상의 품질이 다소 떨어지는 경향을 보이나, 복원 과정 소요 시간은 크게 단축된다는 것을 알 수 있다. 보다 정확하게는 허용 오차를 현재 기준 허용 오차보다 10 배 크게 하면 영상 품질을 떨어뜨리지 않으면서도 복원 과정 소요 시간을 25%이상 절감할 수 있다는 결론을 얻게 된다.

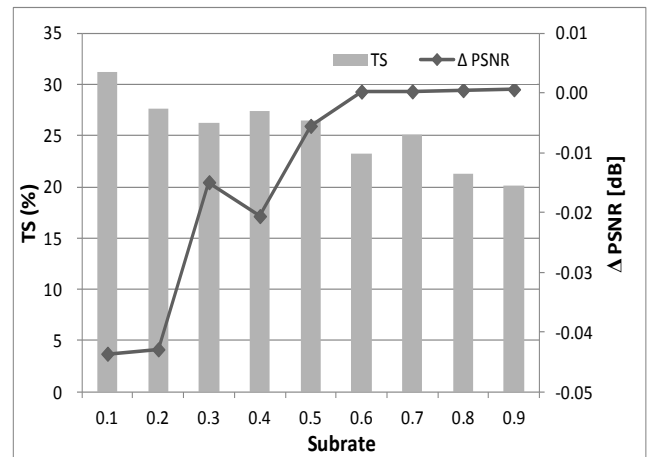


그림 1. 각 서브레이트별 실험 결과 ($d=10^{-3}$, Lena)

그림 1 은 Lena 영상에 대하여 허용 오차를 10^{-3} 으로 실험한 경우, 서브레이트에 따른 화질 저하와 시간 절감율을 $anchor$ 와 비교한 결과를 나타낸 것이다. 이 그래프에서 확인할 수 있듯이, 복원 영상의 화질 저하는 0.05dB 미만에 불과하지만, 시간 절감율은 20~35% 정도로, 평균 25%에 이르는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 허용 오차 변화에 따른 복원 영상 품질과 계산 복잡도를 분석하였다. 즉, 본 실험 방법은 허용 오차와 복원 결과간의 연관성을 보였다. 실험 결과를 통해 허용 오차 범위가 클수록 0 ~ 0.5dB 정도 떨어지는 복원 영상 품질을 얻게 되지만, 복원 과정에서 소요되는 시간은 최대 70% 단축할 수 있다

감사의 글

이 논문은 2013 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-001-7578)

참고 문헌

- [1] D. L. Donoho, "Compressed Sensing," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 52, pp. 1289-1306, April, 2006.
- [2] L. Gan, "Block Compressed Sensing of Natural Images," *Proc. of Digital Signal Processing*, Cardiff, UK, pp. 304-406, July, 2007.
- [3] S. Mun and J. E . Fowler, "Block Compressed Sensing of Images Using Directional Transforms," *Proc. IEEE Int. Conf. Image proc (ICIP)*, , Egypt, pp. 3021-3024, Nov. 2009.
- [4] S. V. Vaseghi, *Advanced Signal Processing and Noise Reduction*, 2nd ed., Chichester, Eng., John Wiley & Sons, Sep, 2000.
- [5] D. L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 41, no. 3, pp. 613-627, May, 1995.