

논문 2012-50-4-19

# 압축 센싱의 성능 향상을 위한 가변 블록 크기 기술

## ( Variable Block Size for Performance Improvement of Compressed Sensing )

함 우 규\*, 구 자 성\*, 안 창 범\*\*, 박 호 중\*\*\*

( Woo-Gyu Ham, Jaseong Ku, Chang-Beom Ahn, and Hochong Park )

### 요 약

기존의 블록 기반 압축 센싱은 고정 블록 크기를 사용하여 신호를 복원하며, 영역별 신호의 특성에 적합한 블록 크기를 사용하지 못하여 복원 성능이 저하된다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여 블록 기반 압축 센싱에서 신호의 특성에 따라 블록 크기를 가변적으로 결정하여 복원 신호의 품질을 향상시키는 가변 블록 크기 기술을 제안한다. 제안한 방법은 여러 블록 크기로 신호를 복원하고, 프레임별로 각 복원한 신호의 자기 상관도를 측정하여 신호의 특성을 확인하고, 프레임의 블록 크기를 결정한다. 동일한 측정 데이터에 대하여 제안한 가변 블록 크기 방법이 기존의 고정 블록 크기 방법에 비하여 향상된 품질의 신호를 복원하는 것을 확인하였다.

### Abstract

The conventional block-based compressed sensing uses a fixed block size for signal reconstruction, and the reconstructed signal is degraded because the block size suitable to the signal characteristics is not used. To solve this problem, in this paper, a variable block size method for compressed sensing is proposed that estimates the signal characteristics and selects a proper block size for each frame, thereby improving the quality of the reconstructed signal. The proposed method reconstructs the signal with different block sizes, analyzes the signal characteristics using correlation coefficients for each frame, and select the block size for the frame. It is confirmed that, with the same acquired data, the proposed method reconstructs the signal of higher quality than the conventional fixed block size method.

**Keywords** : 압축 센싱, 신호 복원, 가변 블록 크기, 자기 상관도

## I. 서 론

압축 센싱 (compressed sensing, CS)은 신호의 성긴

(sparse) 성질을 이용하여 Nyquist rate보다 적은 수의 데이터로부터 신호를 복원하는 기술이다<sup>[1-3]</sup>. 이 기술을 사용하면 매우 적은 수의 데이터만 측정하여 전체 신호를 복원할 수 있으므로 데이터 측정 시간을 단축시켜 주며, 고속 신호 획득, 이미징, 센싱 등의 분야에 사용되고 있다<sup>[4-7]</sup>.

기존 CS 복원에서는 모든 측정 데이터를 이용하여 한 번의 과정으로 최종 신호를 복원한다. 그러나 이 방법은 서로 상관관계가 없는 정보를 동시에 활용하여 복원하므로 복원 성능이 저하되고 많은 데이터를 동시에 처리하므로 연산량이 많은 문제를 가진다. 이를 해결하기 위해 신호를 작은 단위의 블록으로 분할하고, 각 블

\* 학생회원, \*\*\* 정회원, 광운대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering, Kwangwoon University)

\*\* 정회원, 광운대학교 전기공학과  
(Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University)

※ 본 연구는 2012년도 광운대학교 교내 연구비 지원, 2011년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2011-0001291), 보건복지부 보건연구개발사업의 지원(A101954)을 받아 수행되었습니다.

접수일자: 2013년1월2일, 수정완료일: 2013년3월18일

록 단위로 CS를 적용하여 복원하는 블록 기반 CS (block-based CS)가 개발되었다<sup>[6~7]</sup>. 블록 단위로 신호를 복원하면 상관관계가 높은 정보만을 활용하므로 복원된 신호의 품질이 향상되고 CS 복원에 필요한 연산량을 줄일 수 있다. 또한, 신호의 특성에 따라 적응적으로 데이터 측정 위치를 결정하는 적응적 (adaptive) CS 기술이 개발되었다<sup>[8]</sup>. 이 기술을 사용하면 복원 성능에 큰 영향을 미치는 위치에서 데이터를 측정하며, 측정 데이터 수를 동일하게 유지하면서 복원된 신호의 품질을 향상시킬 수 있다.

기존의 블록 기반 CS는 고정된 크기의 블록을 사용하여 신호를 복원한다<sup>[6~8]</sup>. 그러나 블록 기반 CS에서 블록 크기는 복원 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 블록 크기가 너무 작으면 블록내의 데이터 수가 적어 복원 성능이 저하되고, 블록 크기가 커서 성질이 다른 신호가 동시에 포함되면 블록 복원의 효과를 얻지 못한다. 따라서 복원 성능 향상을 위하여 동일 성질의 신호만 포함하면서 크기는 가능한 크도록 블록을 구성하여야 하며, 신호의 영역별 특성을 기반으로 블록 크기를 가변적으로 정하는 새로운 CS 기술이 필요하다.

초기 실험을 통하여 고정 크기의 블록을 사용할 때의 문제점과 블록 크기를 변화시켜 복원 성능을 향상시킬 수 있는 것을 확인하였다. 그림 1은 실험에 사용한 1차원 원본 신호의 스펙트로그램을 나타내고, 4kHz 샘플링 주파수를 가지는 음성 신호이고, 샘플 인덱스 0~300 (A), 700~1100 (B), 2000~2500 (C)는 non-stationary 구간이고, 300~700 (D), 1100~2000 (E), 2500~3200 (F)은 stationary 구간이다. 만일, 샘플링 장치의 제약으로 인하여 4kHz 샘플링 주파수로 데이터를 측정하지 못하고 일부 데이터만 측정할 경우에, 측정된 데이터에 CS를 적용하면 원하는 신호를 복원할 수 있다. 표 1은 데이터 측정 비율 (measurement ratio, MR)이 30%일 때, 블록 크기 256, 512, 1024, 2048로 각각 복원한 신호의 A ~ F 구간별 SNR(dB)을 보여준다. 각 복원 과정에서 동일한 데이터를 사용하고 단지 복원할 때의 블록 크기만 다르다. Non-stationary 구간에서는 작은 블록을 사용할 때 성능이 우수하고, stationary 구간에서는 큰 블록을 사용할 때 성능이 우수하며, 따라서 신호의 영역별 특성에 따라 블록 크기를 가변적으로 변경하면 복원 성능이 향상될 수 있음을 알 수 있다.

이와 같은 배경에 따라 본 논문에서는 블록 기반 CS

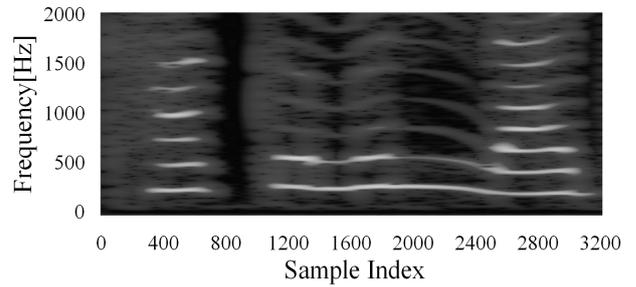


그림 1. 실험에 사용한 신호의 스펙트로그램.  
Fig. 1. Spectrogram of signal used in experiment.

표 1. SNR로 측정된 블록 크기별 복원 성능  
Table 1. Reconstruction performance in SNR for different block sizes.

Block Size \ Region	Non-Stationary			Stationary		
	A	B	C	D	E	F
256	2.18	2.11	12.77	3.45	9.46	1.42
512	2.02	-1.23	11.32	4.21	9.89	3.94
1024	1.70	-5.42	9.04	4.74	10.02	5.02
2048	1.31	-8.22	8.94	5.35	10.44	6.55

의 복원 성능 향상을 위하여 신호의 영역별 특징을 분석하고 그에 따라 가변적으로 블록 크기를 결정하는 CS 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존 블록 기반 CS에서 블록 크기만을 변경하므로 기존의 CS 복원 시스템에 그대로 적용할 수 있다.

## II. 제안한 가변 블록 크기를 사용하는 CS 방법

### 1. 개요

본 논문의 목표는 복원된 신호의 품질이 최고가 되도록 영역별 블록 크기를 정하는 것이며, 복원 신호의 품질은 원본 신호와의 SNR로 정의한다. 만일 원본 신호가 주어지면 각 영역별로 서로 다른 블록 크기를 사용하여 신호를 복원한 후 복원한 신호의 SNR를 측정하고, 최대 SNR을 제공하는 블록 크기를 선택하면 이상적인 결과를 얻는다. 그러나 실제 상황에서는 원본 신호가 주어지지 않으므로 서로 다른 블록 크기로 복원한 신호를 분석하여 최대 SNR을 제공할 것으로 예측되는 블록 크기를 구하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 1차원 신호에 대하여, 서로 다른 블록 크기로 복원한 신호의 특성을 분석하여 최적의 복원 블록 크기를 결정하는 closed-loop 방법을 제안한다. 또한 원본 신호가 주어질 때의 이상적

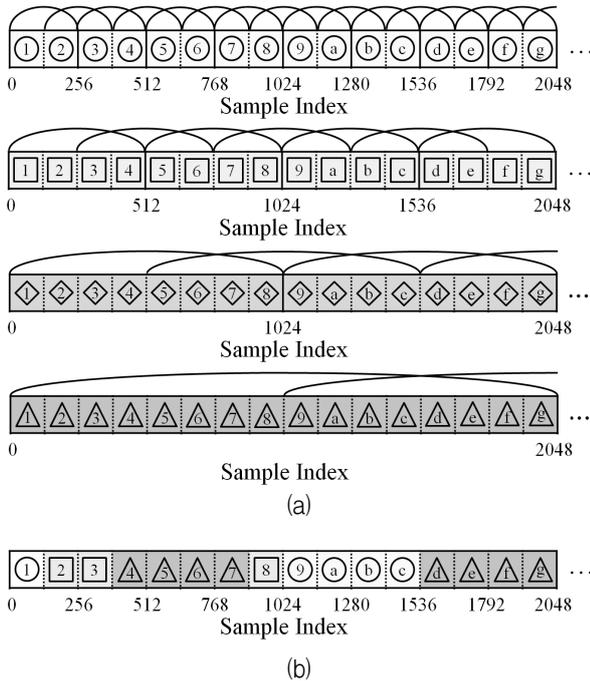


그림 2. 제안한 방법에서 가변 블록 크기를 사용하여 CS 복원하는 과정. (a) 고정 블록 크기 256, 512, 1024, 2048로 각각 복원한 신호. (b) 가변 블록 크기를 사용하여 복원한 최종 신호.

Fig. 2. Reconstruction procedure with variable block size in the proposed method. (a) The reconstructed signal using fixed block size of 256, 512, 1024 and 2048, respectively. (b) The final reconstructed signal using variable block size.

성능을 측정하여 제안한 방법의 성능을 평가하는 지표로 사용한다.

제안한 방법에서 블록 크기를 결정하고 최종 복원 신호를 구하는 과정은 다음과 같다. 첫 단계에서 기존 블록 기반 CS와 동일하게 고정 블록 크기를 사용하여 신호를 복원하며, 여러 고정 블록 크기에 대한 복원을 동시에 진행한다. 제안한 방법에서는 256, 512, 1024, 2048 등의 4 가지 블록 크기를 사용하고, 50% 중첩을 사용하여 신호를 복원한다. 이 과정을 그림으로 설명하면 그림 2(a)와 같으며, 각 블록 크기로 복원한 신호를 128 길이의 프레임으로 나누어 표시하였다. 두 번째 단계에서는, 128 길이의 프레임 단위로 각 블록 크기로 복원한 신호를 분석하여 프레임별 특징을 분석하고, 그에 따라 프레임의 블록 크기를 결정하며, 이 과정이 본 논문에서 개발하는 핵심 내용이다. 마지막 단계에서는, 프레임별로 결정된 블록 크기를 사용하여 최종 복원 신호를 완성한다. 예로, 그

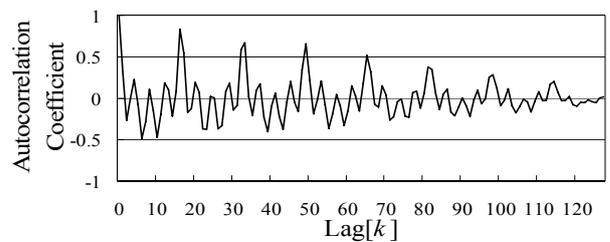
림 2에서 첫 프레임의 블록 크기가 256, 두 번째와 세 번째 프레임의 블록 크기가 512, 네 번째~일곱 번째 프레임의 블록 크기가 2048로 결정되면, 최종 복원된 신호는 그림 2(b)와 같이 (a)에서 각각 구한 복원 신호를 프레임 별로 연결하여 완성한다.

## 2. 프레임별 블록 크기 결정 방법

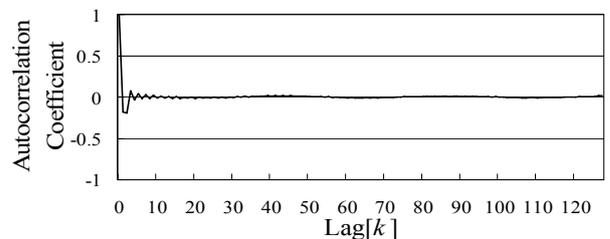
그림 1에서 확인하였듯이 stationarity 특성이 블록 크기를 결정하는데 중요한 요인이 된다. 만일 stationarity가 강하면 동일 특성의 신호가 주기적으로 반복되고 그렇지 않으면 신호 특성이 급격히 변하므로, 주기 성질 분석을 통하여 간접적으로 stationarity 특성을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 프레임별 신호의 특성을 분석하기 위하여 고정 블록 크기로 복원한 각 신호의 자기 상관도 (autocorrelation coefficient)를 사용한다. 자기 상관도는 (1)로 정의되고  $x[n]$ 는 고정 블록 크기로 복원된 각 신호이다.

$$\rho[k] = \frac{\sum_n x[n]x[n-k]}{\sqrt{\sum_n x^2[n]\sum_n x^2[n-k]}}, |\rho[k]| < 1.0 \quad (1)$$

그림 3은 원본 신호의 stationary와 non-stationary 구



(a)



(b)

그림 3. 원본 신호의 자기 상관도.

(a) Stationary 구간. (b) Non-Stationary 구간.

Fig. 3. Autocorrelation coefficient of original signal.

(a) Stationary region. (b) Non-stationary region.

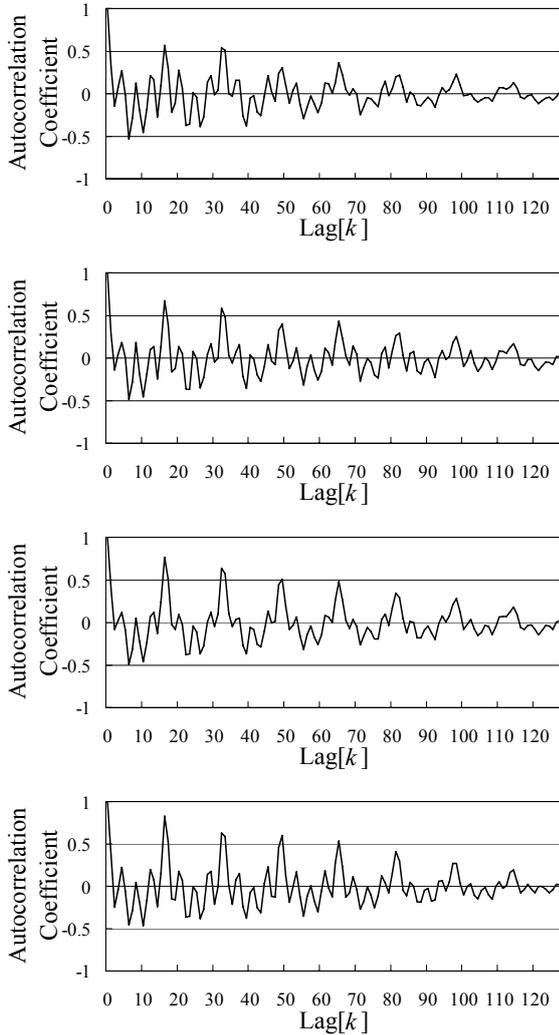


그림 4. Stationary 구간에서 복원된 신호의 자기 상관도. 위에서 아래로 블록 크기는 256, 512, 1024, 2048.

Fig. 4. Autocorrelation coefficients of reconstructed signal in stationary region. The block size is 256, 512, 1024 and 2048 from top to bottom.

표 2. Stationary 구간에서 블록 크기 별  $k_{max}$ ,  $\rho_{MAX}$ , SNR

Table 2.  $k_{max}$ ,  $\rho_{MAX}$  and SNR for different block sizes in stationary region.

Block Size	$k_{max}$	$\rho_{MAX}$	SNR(dB)
256	17	0.57	7.53
512	17	0.67	9.46
1024	17	0.76	10.42
2048	17	0.82	11.22

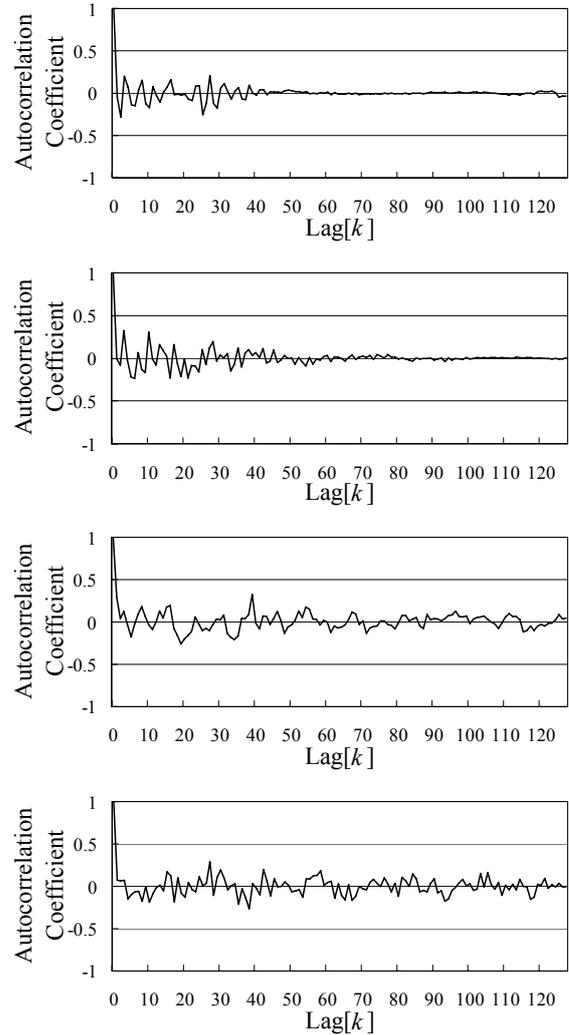


그림 5. Non-stationary 구간에서 복원된 신호의 자기 상관도. 위에서 아래로 블록 크기는 256, 512, 1024, 2048.

Fig. 5. Autocorrelation coefficients of reconstructed signal in non-stationary region. The block size is 256, 512, 1024 and 2048 from top to bottom.

표 3. Non-stationary 구간에서 블록 크기 별  $k_{max}$ .

Table 3.  $k_{max}$  for different block sizes in non-stationary region.

Block Size	$k_{max}$
256	28
512	4
1024	40
2048	27

간에서의 자기 상관도의 예를 보여준다. Stationary 구간에서는 신호의 주기 성질이 강하여 자기 상관도에 강한 피크가 주기적으로 뚜렷하게 발생한다. 반면, non-stationary 구간에서는 신호의 랜덤 성질이 강하여 자기 상관도가 매우 낮고 stationary 구간과 큰 차이를 가진다. 이와 같이 신호의 자기 상관도 성질 차이를 이용하여 신호의 stationarity 분석이 가능하며, 제안하는 방법은 신호의 자기 상관도를 기반으로 블록 크기를 결정한다. 단, 본 논문에서는 원본 신호가 아니라 복원한 신호를 이용하여 특성을 분석해야 하므로, 복원한 신호에도 이와 같은 자기 상관도 성질 차이가 나타나는 것을 확인해야 한다.

그림 4는 그림 3(a)와 동일한 구간에서 서로 다른 블록 크기로 복원한 신호의 자기 상관도를 보여주고, 표 2는 자기 상관도에서 최대값을 가지는 피크 위치  $k_{max}$ 와 그 위치에서 자기 상관도 값  $\rho_{MAX}$ 을 보여준다. Stationary 구간에는 강한 주기 성질이 존재하고, CS 복원에 의한 오류가 포함되어도 주기 성질이 크게 왜곡되지 않는다. 따라서 각 블록 크기로 복원한 신호가 모두 원 신호의 주기 성질을 그대로 포함하고  $k_{max}$ 가 모두 동일하다. 또한, 원본 신호와의 복원 신호 사이의 이상적 성능을 SNR로 측정하면,  $\rho_{MAX}$ 가 클수록 SNR이 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 stationary 구간에서는 블록 크기에 관계없이  $k_{max}$ 가 동일하고, SNR은  $\rho_{MAX}$  값과 비례 관계가 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 그림 3(b)와 동일한 구간에서 서로 다른 블록 크기로 복원한 신호의 자기 상관도를 보여주고, 표 3은 각각의  $k_{max}$ 를 보여준다. 이 구간에서는 자기 상관도의 피크가 뚜렷한 특징을 가지지 않고 불규칙하게 분포하며, CS 복원 오류에 의하여 신호는 더욱 불규칙하게 되어 블록 크기에 따라  $k_{max}$  값이 다르다. 따라서 서로 다른 블록 크기로 복원한 신호의  $k_{max}$ 이 다를 경우 non-stationary 구간으로 예측할 수 있다.

이상의 실험을 통하여 고정 블록 크기로 복원한 각 신호에서 128-길이 프레임 단위로 자기 상관도를 측정하면 각 프레임에서의 stationarity 성질을 추정할 수 있고, stationary 구간에서는  $\rho_{MAX}$ 로부터 SNR 순위를 예측할 수 있다. 따라서 제안한 방법에서 블록 크기를 정하는 방법은 다음과 같이 정리된다. 각 고정 블록 크기로 복원 신호에 대하여 프레임의  $k_{max}$ 가 모두 동일하면 해당 프

레이미는 stationary 구간으로 판정하고  $\rho_{MAX}$ 가 가장 큰 블록 크기를 최종 블록 크기로 결정한다. 만일 각 복원 신호에 대한  $k_{max}$ 가 모두 동일하지 않으면 해당 프레임은 non-stationary 구간으로 판정하고 블록 크기는 256으로 결정한다.

### III. 성능 평가

제안한 방법의 성능을 여러 MR에 대하여 측정하였고, 각 MR에 대하여 동일한 측정 데이터를 사용하여 서로 다른 방식의 신호 복원을 진행하였다. CS 복원 알고리즘은 FOCUSS를 사용하였고<sup>[9]</sup>, 실험에 사용하는 원본 신호는 여성 음성 신호와 음악 신호이고, 모두 4kHz 샘플링 주파수를 가진다. 음성 신호의 데이터 크기는 7000 샘플이고 음악 신호의 데이터 크기는 14000 샘플이다.

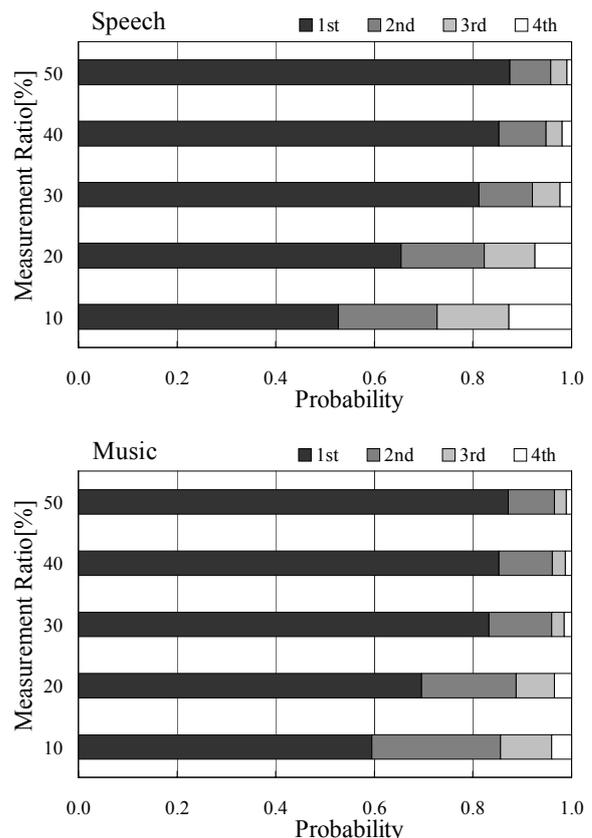


그림 6. 각 측정 비율에서 제안한 방법으로 찾은 블록 크기의 순위 분포.

Fig. 6. Rank distribution of the selected block size by the proposed method for each measurement ratio.

표 4. 각 측정 비율에서 제안한 방법으로 찾은 블록 크기의 평균  $1/rank$ .

Table 4. The average  $1/rank$  of the selected block size by the proposed method for each measurement ratio.

MR (%)	Speech	Music
10	0.71	0.77
20	0.79	0.85
30	0.89	0.90
40	0.91	0.91
50	0.93	0.92

앞에서 언급하였듯이 프레임별로 최대 SNR을 제공하는 블록 크기가 이상적 블록 크기이다. 따라서 첫 평가 지표로서 제안한 방법으로 결정한 블록 크기가 이상적 블록 크기와 얼마나 일치하는지를 평가하였다. 각 프레임별로 각 블록 크기로 복원한 신호의 SNR 크기에 따라 블록 크기 순위를 1등부터 4등까지 정할 수 있으며, 제안한 방법의 목표는 각 프레임에서 1순위 블록 크기를 찾는 것이다. 따라서 제안한 방법의 성능은 선택된 블록 크기의 순위 분포를 측정하여 평가할 수 있으며, 그림 6에 음성과 음악 신호에서의 결과가 주어진다. MR 30% 이상에서 전체 프레임의 80%에서 1순위 블록 크기를 찾으며, MR이 증가 할수록 복원한 신호의 품질이 우수하고 그에 따라 정확한 신호 특성 분석이 가능하므로 제안한 방법의 성능이 향상된다.

블록 크기 선택에 대한 추가 평가 지표로, 각 프레임에서 선택한 블록 크기의 순위를  $rank$  라 할 때,  $1/rank$  의 프레임 평균을 구하였고, MR 별 결과는 표 4와 같다. 선택 성능이 향상되면 이 값은 1.0에 접근한다.

두 번째 평가 지표로서, 기존의 고정 블록 크기를 사용하여 복원한 신호와 제안한 가변 블록 크기를 사용하여 복원한 신호의 SNR을 비교하였고, 이를 통하여 가변 블록 크기 사용에 의한 성능 향상을 확인하였다. 또한 이 결과를 이상적 블록 크기를 사용할 때의 이상적 SNR과 비교하여 제안한 방법의 성능이 얼마나 이상적 성능에 근접하였는지 확인하였다. 그림 7에 MR별로 각 방법으로 복원한 신호의 SNR이 주어진다. 먼저, 기존의 고정 블록 크기를 사용할 때의 SNR를 살펴보면, 음악 신호는 stationary 영역이 매우 넓게 나타나므로 큰 블록 크기로 복원한 신호의 성능이 좋다. 반면, 음성 신호는 transient

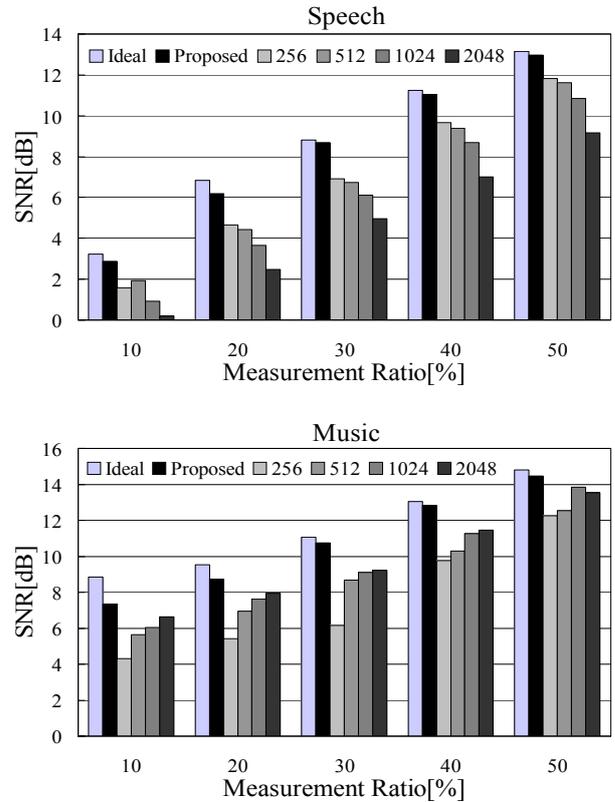


그림 7. 고정 블록 크기와 제안한 가변 블록 크기를 사용하여 복원한 신호의 SNR

Fig. 7. SNR of reconstructed signal using fixed block size and the proposed variable block size.

구간이 자주 발생하여 음악 신호에 비하여 non-stationary 구간이 많고, 그에 따라 작은 블록 크기로 복원한 신호의 성능이 좋다. 다음, 제안한 방법과 기존 고정 블록 크기 방법의 성능을 비교하면, 모든 경우에서 제안한 방법의 SNR이 기존 방법의 SNR에 비하여 높은 것을 확인할 수 있고, 또한 제안한 방법의 SNR이 이상적 SNR에 근접한 것을 알 수 있다. MR이 증가 할수록 1순위 블록 크기를 더 자주 선택하므로 제안한 방법의 SNR이 이상적 SNR에 더 근접한다.

이상의 성능 평가 결과로부터, 제안한 가변 블록 크기 방법을 사용하면 기존의 고정 블록 크기 방법에 비하여 동일한 MR에서 향상된 품질의 신호를 얻는 것을 확인하였다. 또한 제안한 방법의 성능이 이상적 성능에 근접하고, MR이 높을수록 1순위 블록 크기를 더 자주 선택하므로 제안한 방법의 성능이 이상적 성능에 더 근접한다.

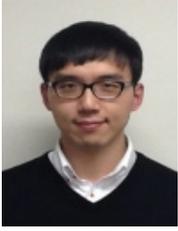
#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 고정 블록 크기를 사용하는 블록 기반 CS의 성능 향상을 위하여 가변 블록 크기를 사용하는 CS를 개발하였다. 블록의 크기는 복원 성능에 큰 영향을 미치며, 동일한 특성의 신호만 포함하면서 가능한 블록 크기가 커야 한다. 이와 같은 블록 크기를 선택하기 위하여 제안한 방법에서는 서로 다른 블록 크기로 신호를 복원하고, 복원된 신호의 자기 상관도를 프레임 별로 측정하여 신호의 특성을 확인하고, 그 결과에 따라 프레임의 블록 크기를 결정한다. 제안한 방법의 성능이 기존 고정 블록 크기의 성능에 비하여 향상된 것을 확인하였고, 측정 비율이 높아지면 보다 정확한 신호 분석이 가능하므로 제안한 방법의 성능이 이상적 성능에 근접하는 것을 확인하였다. 제안한 방법은 CS 복원에서 블록 크기만 변경하므로 기존 CS 복원 시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Emmanuel Candès, Justin Romberg, and Terence Tao, "Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information," *IEEE Trans. on Information Theory*, 52(2) pp.489-509, February, 2006.
- [2] David Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. on Information Theory*, 52(4), pp.1289-1306, April, 2006.
- [3] E. J. Candes and M. B. Wakin, "An introduction to compressed sampling," *IEEE Signal Processing Magazine* 25, pp.21-30, 2008.
- [4] W. L. Chan, M. L. Moravec, R. G. Baraniuk and D. M. Mittleman, "Terahertz imaging with compressed sensing and phase retrieval," *Optics Letter* 33, pp.974-976, 2008.
- [5] W. L. Chan, K. Charan, D. Takhar, K. F. Kelly, R. G. Baraniuk and D. M. Mittleman, "A single-pixel terahertz imaging system based on compressed sensing," *Appl. Phys. Lett.* 93, 121105, 2008.
- [6] S.-H. Cho, S.-H. Lee, C. Nam-Gung, S.-J. Oh, J.-H. Son, H. Park, and C.-B. Ahn, "Fast terahertz reflection tomography using block-based compressed sensing," *Optics Express* 19, pp.16401-16409, 2011.
- [7] B.-M. Hwang, S. H. Lee, W.-T. Lim, C.-B. Ahn, J.-H. Son and H. Park, "A fast spatial-domain terahertz imaging using block-based compressed sensing," *J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves* 32, pp.1328-1336, 2011.
- [8] 이동규, 김기준, 안창범, 박호중, "압축 센싱의 성능 향상을 위한 적응적 데이터 측정 기술," 전자공학회 논문지, 제49권 제9호, pp.85-91, 2012.09.
- [9] C. Ye, S. Tak, Y. Han and H. W. Park, "Projection reconstruction MR imaging using FOCUSS," *Magnetic Resonance in Medicine* 57, pp.764-775, 2007.

저 자 소 개



함 우 규(학생회원)  
 2009년 2월 광운대학교  
 전자공학과 학사  
 2011년 9월~현재 광운대학교  
 전자공학과 석사과정  
 <주관심 분야 : 음성/오디오 신호  
 처리, 멀티미디어 신호처리>



구 자 성(학생회원)  
 2012년 2월 광운대학교  
 전자공학과 학사  
 2012년 3월~현재 광운대학교  
 전자공학과 석사과정  
 <주관심 분야 : 음성/오디오 신호  
 처리, 멀티미디어 신호처리>



안 창 범(정회원)  
 1981년 서울대학교  
 전자공학과 학사  
 1983년 한국과학기술원 전기 및  
 전자공학과 석사  
 1986년 한국과학기술원 전기 및  
 전자공학과 박사  
 1991년 Univ. of California, Irvine 조교수  
 1992년 생산기술연구원 전자정보센터 부교수  
 1992년~현재 광운대학교 전기공학과 교수  
 <주관심분야 : 화상처리, 다차원신호처리, 의학영  
 상시스템>



박 호 종(정회원)-교신저자  
 1986년 서울대학교  
 전자공학과 학사  
 1987년 Univ. of Wisconsin-  
 Madison 전기 및 컴퓨터  
 공학과 석사  
 1993년 Univ. of Wisconsin-  
 Madison 전기 및 컴퓨터  
 공학과 박사  
 1993년~1997년 삼성전자 선임연구원  
 1997년~현재 광운대학교 전자공학과 교수  
 <주관심 분야 : 음성/오디오 신호처리, 멀티미디  
 어 신호처리>