



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월14일
(11) 등록번호 10-2252359
(24) 등록일자 2021년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 13/39 (2006.01) H03M 13/25 (2015.01)
(52) CPC특허분류
H03M 13/39 (2013.01)
H03M 13/25 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0005221
(22) 출원일자 2020년01월15일
심사청구일자 2020년01월15일
(56) 선행기술조사문헌
KR101232707 B1
KR1020160001451 A
KR1020140057921 A

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
박문규
서울특별시 노원구 노해로 508, 605동 604호(상계동, 상계주공6단지아파트)
(74) 대리인
민영준

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 조춘근

(54) 발명의 명칭 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법 및 장치

(57) 요약

압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법 및 장치가 개시된다. 개시된 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법은 측정 신호를 입력받는 단계; 크기 순서에 따라서, 상기 측정 신호를 재구성하는 단계; 및 상기 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

측정 신호를 입력받는 단계;

크기 순서에 따라서, 상기 측정 신호를 재구성하는 단계; 및

상기 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산하는 단계를 포함하며,

상기 측정 신호를 재구성하는 단계는

상기 측정 신호에 대한 샘플링 데이터로부터, 무손실 데이터 벡터와 손실 데이터 벡터를 생성하는 단계; 및

상기 무손실 데이터 벡터를 오름차순 또는 내림차순으로 재구성하는 단계를 포함하며,

상기 선형 측정식은

하기 수학식인

압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법.

[수학식]

$$y_s = Gx_s^*$$

여기서, 재구성된 측정 신호 y_s 는 $(m \ u)^T$ 이며, 선형 변환 벡터 G 는 $(B \ C)^T$ 이며, x_s^* 는 재구

성된 측정 신호에 대한 원신호이며, $Bx_s^* = m$ and $Cx_s^* = u$ 이며, m 은 재구성된 무손실 데이터 벡터이며, u 는 손실 데이터 벡터임.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 샘플링 데이터는

압축 센싱에 따른 샘플링 주파수에 따라서 샘플링된 데이터인

압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,
주파수 영역에서 계산된 상기 최적해의 시간 영역값을 생성하는 단계; 및
상기 샘플링 데이터에 할당된 인덱스에 따라서, 상기 시간 영역값을 복원하는 단계
를 더 포함하는 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법.

청구항 7

크기 순서에 따라서, 측정 신호를 재구성하는 재구성부;
상기 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산하는 최적해 계산부; 및
상기 최적해를 시간 영역값으로 역변환하는 역변환부를 포함하며,
상기 재구성부는
상기 측정 신호에 대한 샘플링 데이터로부터, 무손실 데이터 벡터와 손실 데이터 벡터를 생성하고, 상기 무손실
데이터 벡터를 오름차순 또는 내림차순으로 재구성하며,
상기 선형 측정식은
하기 수학식인
압축 센싱을 이용하는 신호 복원 장치.

[수학식]

$$y_s = Gx_s^*$$

여기서, 재구성된 측정 신호 y_s 는 $(m \ u)^T$ 이며, 선형 변환 벡터 G 는 $(B \ C)^T$ 이며, x_s^* 는 재구

성된 측정 신호에 대한 원신호이며, $Bx_s^* = m$ and $Cx_s^* = u$ 이며, m 은 재구성된 무손실 데
이터 벡터이며, u 는 손실 데이터 벡터임.

청구항 8

삭제

청구항 9

제 7항에 있어서,
상기 역변환부는
상기 샘플링 데이터에 할당된 인덱스에 따라서, 상기 시간 영역값을 복원하는
압축 센싱을 이용하는 신호 복원 장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 측정 신호에 대한 원신호를 복원하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 압축 센싱을

[0001]

이용하는 신호 복원 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 기존의 정보/통신 시스템은 샤논(Shannon)과 나이퀴스트(Nyquist)에 의한 샘플링 이론(Sampling Theorem)에 입각하여 설계된 디지털 시스템 위주로 발전되어 왔다. 신호의 최고 주파수의 2배 이상으로 샘플링을 하면 그 신호를 정확하게 다시 아날로그 신호로 복원할 수 있다는 것이 바로 샤논-나이퀴스트의 샘플링 이론인데, 오늘날 까지 이 이론은 디지털 시스템을 구축하는 기초이론으로 충실되게 이용되어 왔다.
- [0004] 하지만 최근 나이퀴스트 레이트(Nyquist rate) 이상으로 신호를 샘플링하지 않아도 완전하기 신호를 복원할 수 있는 압축 센싱 이론이 많은 관심을 받고 있다.
- [0005] 압축 센싱 이론은 통상적으로 다루는 신호들은 대부분 어떤 특정한 신호 공간(space)로 변환(transform)되었을 때, 대부분의 값이 0인 소위 스파스(sparse)한 신호라는 것에 주목하고 있다. 푸리에 변환을 통해 주파수 영역으로 변환된 신호는, 대부분이 주파수 x 에서 크기 F 가 0이고, 상대적으로 아주 적은 수의 x 에서 크기 F 가 논-제로(non-zero)값을 나타내는 스파스한 신호이다.
- [0006] 압축 센싱 이론에 따르면, 이러한 스파스한 신호는 아주 적은 수의 선형측정(linear measurements)만으로도 원래의 신호로 거의 완벽하게 복원될 수 있다.
- [0007] 압축 센싱 이론의 핵심은 선형 방정식 $y=Ax$ 의 최적해를 찾는 것으로 요약될 수 있다. 여기서, y 는 측정 신호이며, A 는 선형 측정 행렬, x 는 측정 신호에 대한 원신호를 나타낸다. 즉, 이러한 선형 측정식은, 원래의 신호 x 로부터 어떤 행렬을 곱해서 얻은 y 가 선형 측정된 신호라고 정의된다.
- [0008] 이러한 선형 방정식은 under-determined system이므로 수많은 원신호 x 에 대한 해가 존재하며, 이러한 해 중에서 최적해는, L_0 -최적화(Optimization 또는 최소화), L_1 -최적화 또는 L_2 -최적화 기법을 통해 계산될 수 있다.
- [0009] 관련 선행문헌으로 특허 문헌인 대한민국 등록특허 제10-1526774호, 제10-1580532호, 대한민국 공개특허 제2019-0042982호, 비특허문헌인 "압축센싱 소개, 이흥노, 박상준, 박순철, 2011년 1월 전자공학회지 제38권 제1호"가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 압축 센싱을 이용하는 신호 복원의 정확도를 더욱 높일 수 있는 신호 복원 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 측정 신호를 입력받는 단계; 크기 순서에 따라서, 상기 측정 신호를 재구성하는 단계; 및 상기 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산하는 단계를 포함하는 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법이 제공된다.
- [0014] 또한 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 크기 순서에 따라서, 상기 측정 신호를 재구성하는 재구성부; 상기 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산하는 최적해 계산부; 및 상기 최적해를 시간 영역값으로 역변환하는 역변환부를 포함하는 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 장치가 제공된다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 측정 신호의 희박도가 상승하여 원신호에 대한 최적해의 정확도가 향상될 수 있다.
- [0017] 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 측정 신호의 일부 데이터가 손실된 경우에도 원신호가 정확하게 복원될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3 내지 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 방법의 복원 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0022] 전술된 바와 같이, 압축 센싱은 측정 신호의 희박도(sparsity)에 기반하여 신호를 복원하는 이론이며, 희박도가 증가할수록 원신호에 대한 최적해가 보다 정확하게 산출될 수 있다.
- [0023] 본 발명은 이러한 점에 착안하여 측정 신호의 희박도를 높여 원신호에 대한 최적해를 산출함으로써, 측정 신호로부터 원신호를 복원한다. 본 발명의 일실시예는 측정 신호의 희박도를 높이기 위해, 측정 신호를 크기 순서에 따라서 재구성한 후, 재구성된 측정 신호의 선형 변환식으로부터 원신호에 대한 최적해를 산출한다. 이와 같이, 재구성된 측정 신호는 선형성이 증가하며, 데이터가 급격히 변하는 구간이 감소하므로, 재구성된 측정 신호에 대한 고주파 성분이 감소하며 측정 신호의 희박도가 증가할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 방법은, 통신 시스템, 영상 처리 장치, 전력 시스템 등, 압축 센싱 기반으로 측정 신호를 입력받아 복원하는 기술 분야에 모두 적용될 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 방법은 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에서 수행될 수 있으며, 일실시예로서 데스크탑, 노트북, 서버 또는 별도의 신호 복원 장치에서 수행될 수 있다.
- [0026] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 장치는 재구성부(110), 최적해 계산부(120) 및 역변환부(130)를 포함한다.
- [0030] 재구성부(110)는 측정 신호를 크기 순서에 따라서 재구성한다. 재구성부(110)는 실시예에 따라서 시간 영역의 측정 신호에 대한 샘플링 데이터를 오름차순 또는 내림차순으로 재정렬함으로써, 측정 신호를 재구성할 수 있다.
- [0031] 측정 신호는, 신호 복원 장치가 이용되는 실시예에 따라 달라질 수 있다. 예컨대, 통신 시스템에서 측정 신호는 수신 장치의 수신 신호일 수 있으며, 영상 처리 장치에서의 측정 신호는 영상 신호일 수 있다. 또는 전력 시스템에서는 소비 전력량이나 발전량에 대한 측정 데이터가 측정 신호에 대응될 수 있다.
- [0032] 또한 샘플링 데이터는, 시간 영역에서 연속적인 측정 신호가, 압축 센싱에 따른 샘플링 주파수에 따라서 샘플링된 데이터이다. 측정 신호는 이러한 샘플링 주파수에 따라서 샘플링될 수 있다.
- [0033] 최적해 계산부(120)는 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산한다.
- [0034] 최적해 계산부(120)는 재구성된 측정 신호에 대해 푸리에 변환을 수행하여, 재구성된 측정 신호를 주파수 영역의 신호로 변환한 후, 일실시예로서, L_1 -최적화를 이용하여 최적해를 계산할 수 있다. 그리고 L_1 -최적화를 위해, Operator Splitting QP Solver와 같은 최적해 산출 알고리즘이 이용될 수 있다.
- [0035] 역변환부(130)는 주파수 영역에서 계산된 최적해를 시간 영역값으로 역변환하며, 역푸리에 변환을 통해 시간 영역값을 계산할 수 있다. 이 때, 주파수 영역에서 계산된 최적해는 재구성된 측정 신호로부터 산출된 최적해이므로, 재구성전의 측정 신호에 대한 최적해의 시간 영역값을 구하기 위해, 역변환부(130)는 재구성전 샘플링 데이터에 대한 인텍스를 이용할 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일실시예에 따르면, 측정 신호의 희박도가 상승하여 원신호에 대한 최적해의 정확도가 향상될 수 있다.
- [0038] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 압축 센싱을 이용하는 신호 복원 방법을 설명하기 위한 도면으로서, 도 2에

서는 전송된 신호 복원 장치의 신호 복원 방법이 일실시예로서 설명된다.

[0039] 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 장치는 측정 신호를 입력받는다(S210). 일례로서 측정 신호는 아날로그 신호 형태로 입력되거나, 압축 센싱에 따른 샘플링 주파수에 따라서 미리 샘플링된 데이터 형태로 입력될 수 있다. 아날로그 신호 형태로 입력된 경우, 신호 복원 장치는 미리 설정된 샘플링 주파수에 따라서 측정 신호를 샘플링할 수 있다.

[0040] 그리고 신호 복원 장치는, 측정 신호의 크기 순서에 따라서, 측정 신호를 재구성(S220)한다. 신호 복원 장치는 실시예에 따라서, 측정 신호에 대한 샘플링 데이터를 오름차순 또는 내림차순으로 재정렬함으로써, 측정 신호를 재구성할 수 있다. 입력된 측정 신호를 y 라고 할 경우, 재구성된 측정 신호(y_s)와 입력된 측정 신호 사이의 관계는, [수학식 1]과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0041]
$$\Theta y = y_s$$

[0042] 여기서, Θ 는, 벡터 형태의 측정 신호 y 를 크기 순서에 따라서 재구성하는 재구성 오퍼레이터를 나타낸다.

[0043] 그리고 신호 복원 장치는, 재구성된 측정 신호의 선형 측정식에 대한 최적해를 주파수 영역에서 계산(S230)한다. 재구성된 측정 신호에 대한 선형 측정식은, [수학식 2]와 같이 표현될 수 있으며, 신호 복원 장치는 L_1 -최적화를 통해 [수학식 2]에 대한 최적해를 계산할 수 있다.

수학식 2

[0044]
$$y_s = Gx_s^*$$

[0045] 여기서, G 는 선형 측정 행렬을 나타내며, x_s^* 는 재구성된 측정 신호에 대한 원신호를 나타내며, 벡터 형태로 표현될 수 있다.

[0046] 이러한 주파수 영역에서의 최적해는 역푸리에 변환을 통해, 시간 영역에서의 최적해로 변환될 수 있다. 이 때, 주파수 영역에서의 최적해는 재구성된 측정 신호로부터 계산된 것이고, 최종적으로 구하고자하는 최적해는 재구성된 측정 신호의 원신호에 대한 최적해이기 때문에, 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 장치는, 입력된 측정 신호의 샘플링 데이터에 대한 인덱스에 따라서, 시간 영역값을 복원한다.

[0047] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 신호 복원 장치는, 주파수 영역에서 계산된 최적해의 시간 영역값을 생성한 후, 샘플링 데이터에 대한 인덱스에 따라서, 입력된 측정 신호에 대한 원신호의 시간 영역값을 복원한다. 재구성된 샘플링 데이터에 할당된 인덱스는, 샘플링 데이터의 재구성 순서를 나타내므로, 이러한 인덱스를 통해 입력된 측정 신호에 대한 원신호의 시간 영역값이 복원될 수 있다.

[0048] 신호 복원 장치는, 입력된 측정 신호의 샘플링 데이터에 대한 인덱스를 이용하여, 재구성된 샘플링 데이터의 정렬 순서를, 재구성전의 정렬 순서로 변환할 수 있으며, 재구성된 샘플링 데이터의 정렬 순서가 변환됨에 따라서, 시간 영역값 벡터의 엘리먼트 별 순서 역시 재정렬되며, 결국 입력된 측정 신호에 대한 원신호의 시간 영역값이 복원될 수 있다. 이를 수학식으로 표현하면 [수학식 3]과 같다.

수학식 3

$$y = \Theta^{-1} y_s$$

[0049]

[0050] 여기서, Θ^{-1} 는 재구성 오퍼레이터 Θ 에 대한 역변환 오퍼레이터로서, 재구성된 샘플링 데이터를 재구성전의 순서로 변환하는 오퍼레이터이다.

[0051] 한편, 측정 신호에 손실 데이터가 포함된 경우, 손실 데이터에 대해서는 재구성이 불필요하므로, 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 복원 장치는 입력된 측정 신호의 샘플링 데이터로부터 무손실 데이터 벡터와 손실 데이터 벡터를 생성하고, 무손실 데이터 벡터를 오름차순 또는 내림차순으로 재구성할 수 있다. 무손실 데이터는 측정값이 존재하는 데이터이며, 손실 데이터는 측정값이 존재하지 않는 데이터로서, 손실 데이터 벡터는, 미리 설정된 null 값으로 구성될 수 있다.

[0052] 측정값이 존재하는 재구성된 무손실 데이터 벡터를 m , 측정값이 존재하지 않는 손실 데이터 벡터를 u 로 표현할

경우, 재구성된 측정 신호는 $(m \ u)^T$ 으로 표현될 수 있으며, 이 경우, 무손실 데이터 벡터 및 손실 데이터 벡터에 대한 선형 측정식은 [수학식 4]와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$Bx_s^* = m \text{ and } Cx_s^* = u$$

[0053]

[0054] 여기서, 선형 측정 행렬 G 와, 선형 측정 행렬 B 및 C 는 $G = (B \ C)^T$ 와 같은 관계이며, 선형 측정 행렬 C 는 선형 측정 행렬 G 의 영공간(null space)에 대한 벡터를 나타낸다.

[0055] [수학식 4]는 [수학식 2]와 동일한 형태이므로, 신호 복원 장치는, 전술된 바와 같이, L_1 -최적화를 통해 [수학식 4]에 대한 최적해를 계산할 수 있다.

[0057] 도 3 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 복원 방법의 복원 결과를 설명하기 위한 도면으로서, 측정 신호에 손실 데이터가 포함된 경우의 복원 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0058] 도 3은 [수학식 5]와 같은 측정 신호를 나타내는 도면이며, 도 3의 빨간색 포인트는 샘플링된 데이터를 나타낸다.

수학식 5

$$y(t) = \sin(300\pi t) + \sin(1,500\pi t) + \sin(3,000\pi t)$$

[0059]

[0060] 이러한 샘플링 데이터 중 일정 구간(310)의 데이터가 손실된 경우, 측정 신호를 재구성하지 않고 선형 측정식에 따라서 측정 신호를 복원한 결과는 도 4와 같다. 도 4에서 빨간색 포인트(measured)는 측정 신호임과 동시에 원 신호를 나타내며, 실선(reconstructed)은 원신호에 대한 복원 결과를 나타내는데, 원신호와 복원 결과 사이에 상당한 오차가 존재함을 알 수 있다.

[0061] 반면, 도 5(b)는 측정 신호의 무손실 데이터를 도 5(a)와 같이 오름차순으로 재구성한 뒤, 복원한 결과를 나타내는 도면으로서, 원신호와 복원 결과가 거의 동일함을 알 수 있다.

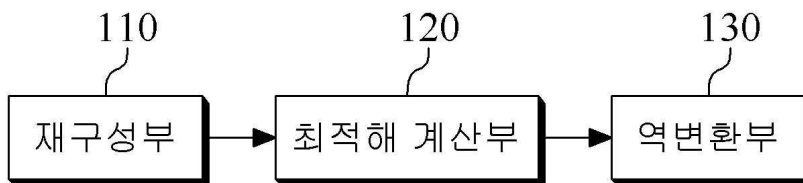
[0062] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면, 측정 신호의 일부 데이터가 손실된 경우에도 원신호가 정확하게 복원될 수 있다.

[0064] 앞서 설명한 기술적 내용들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예들을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 하드웨어 장치는 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

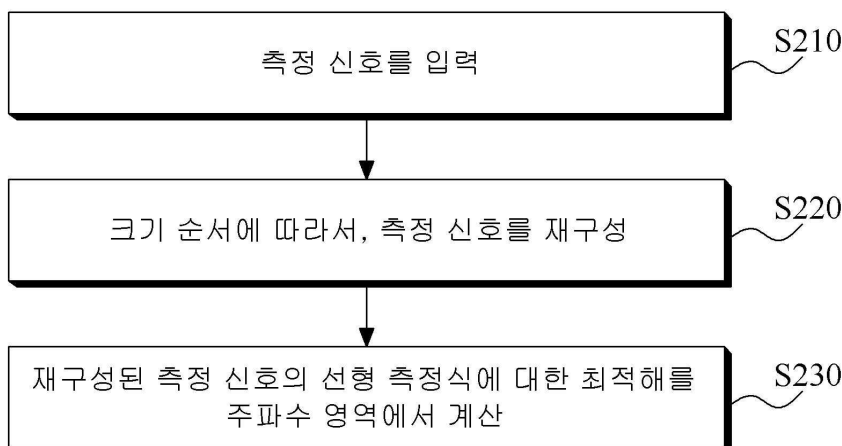
[0066] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

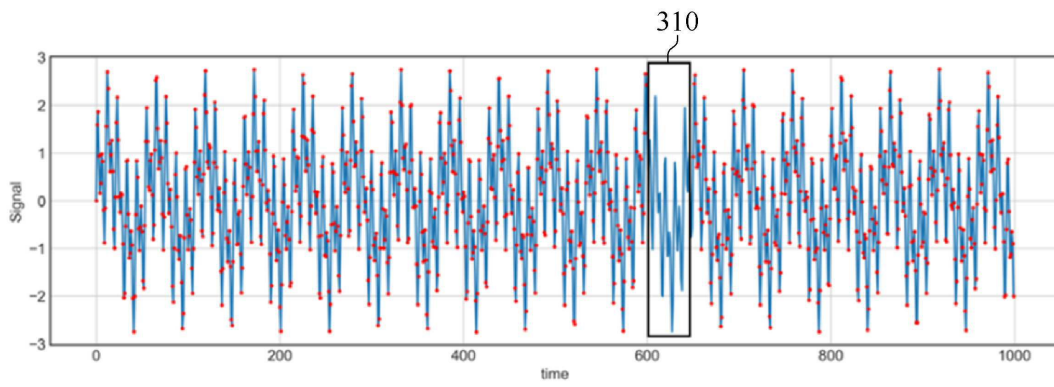
도면1



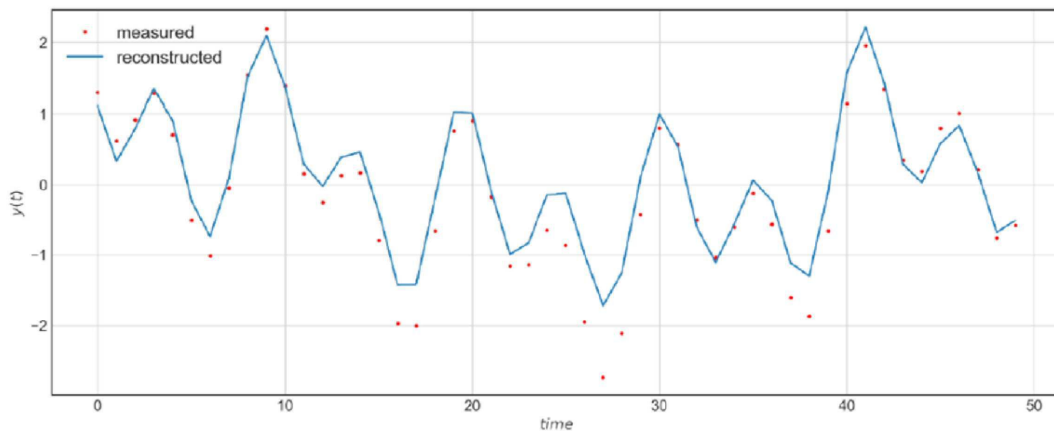
도면2



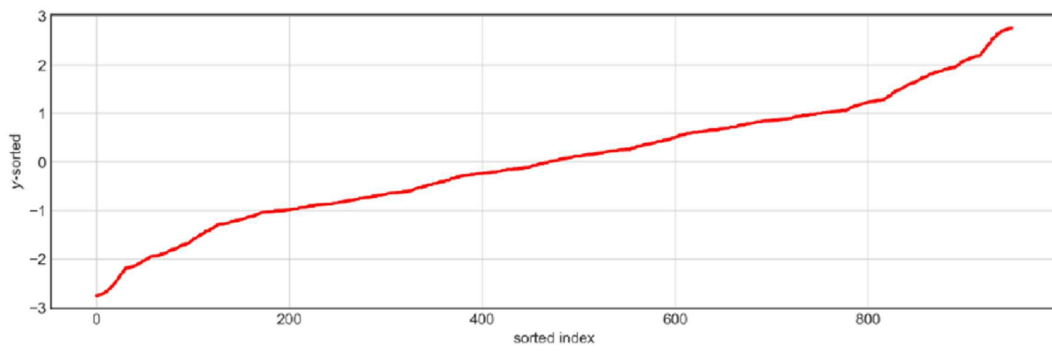
도면3



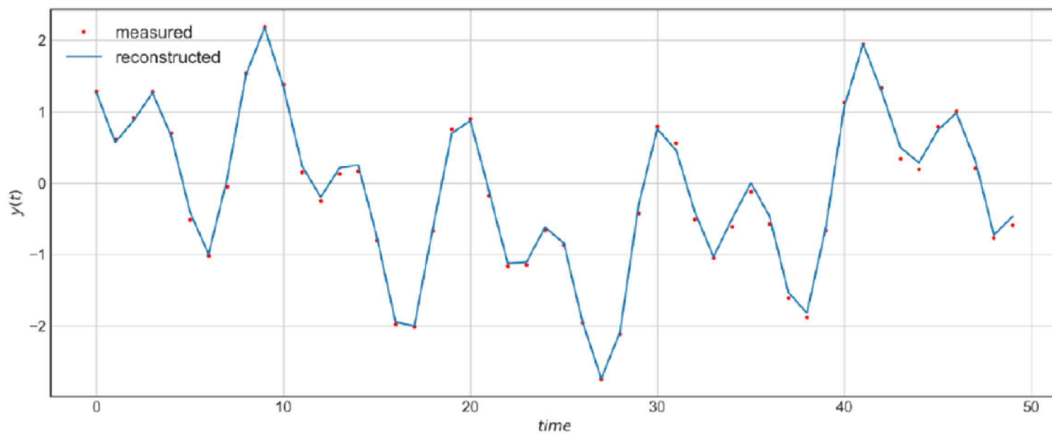
도면4



도면5



(a)



(b)