



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년04월10일

(11) 등록번호 10-1511359

(24) 등록일자 2015년04월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06T 1/00 (2006.01) H04N 1/41 (2006.01)

H04N 19/00 (2014.01)

(21) 출원번호 10-2013-0075972

(22) 출원일자 2013년06월28일

심사청구일자 2013년06월28일

(65) 공개번호 10-2015-0003045

(43) 공개일자 2015년01월08일

(56) 선행기술조사문헌

KR101232707 B1

JP2013093707 A

KR101000786 B1

(73) 특허권자

동국대학교 산학협력단

서울특별시 중구 필동로1길 30 (필동3가, 동국대학교)

(72) 발명자

임대운

서울 은평구 진관2로 57-37, 243동 1001호 (진관동, 은평뉴타운우물골아파트)

김기훈

대전 유성구 가정로287번길 26, (도룡동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인이지

전체 청구항 수 : 총 3 항

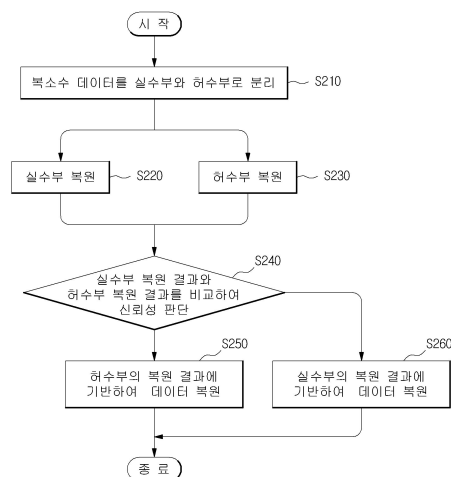
심사관 : 정성훈

(54) 발명의 명칭 복소수 데이터 복원 방법 및 장치

(57) 요약

복소수 데이터로 이루어진 신호의 복원단에서 수행되는 복소수 데이터 복원 방법 및 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 복원 방법은 복원 대상 신호 x 를 포함하는 복소수 데이터를 실수부와 허수부로 분리하는 단계, 분리된 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계, 상기 실수부의 복원 결과와 상기 허수부의 복원 결과를 비교하여 신뢰성을 판단하는 단계 및 상기 신뢰성 판단 결과에 따라 상기 허수부의 복원 결과 또는 상기 실수부의 복원 결과를 기반으로 상기 복원 대상 신호 x 를 복원하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

박호성

서울 은평구 응암로 324, (응암동)

노종선

서울 강남구 광평로10길 15, 406호 (일원동, 상록수아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20120003926

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업(신진)

연구과제명 압축 센싱을 이용한 차세대 멀티미디어 데이터 부호화 및 전송 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 동국대학교 산학협력단

연구기간 2012.05.01 ~ 2013.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

압축 센싱에서 실수 센싱 행렬을 사용하여 복소수 데이터를 복원하는 방법에 있어서,

복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 포함하는 복소수 데이터를 실수부와 허수부로 분리하는 단계;

분리된 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계;

상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지를 비교하여, 상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지 중 상대적으로 더 작은 값을 갖는 것을 더 신뢰성 있는 것으로 판단하는 단계; 및

상기 신뢰성 판단 결과에 따라 상기 허수부의 복원 결과 또는 상기 실수부의 복원 결과를 기반으로 상기 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 복원하는 단계;를 포함하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계는,

직교 대응추구 알고리즘(orthogonal matching pursuit, OMP)을 통해 이루어지는 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

압축 센싱에서 실수 센싱 행렬을 사용하여 복소수 데이터를 복원하는 프로세서를 포함하는 복원 장치에 있어서, 상기 프로세서는:

복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 포함하는 복소수 데이터를 실수부와 허수부로 분리하는 단계;

분리된 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계;

상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지를 비교하여, 상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지 중 상대적으로 더 작은 값을 갖는 것을 더 신뢰성 있는 것으로 판단하는 단계; 및

상기 신뢰성 판단 결과에 따라 상기 허수부의 복원 결과 또는 상기 실수부의 복원 결과를 기반으로 상기 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 복원하는 단계;를 수행하도록 설정된 복원 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 데이터 복원 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 실수 센싱 행렬을 갖는 압축 센싱에서 복소수 데이터를 복원하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 압축 센싱 (compressed sensing)은 최근에 신호 처리와 정보 이론 분야에서 많은 주목을 받고 있다. 압축 센싱은 나이키스트 표본화율보다 작은 표본화율로 표본들을 취하게 되는데 그럼에도 불구하고 높은 차원의 신호를 정확하게 복원해낸다. 차세대 이동통신 시스템의 채널추정, 랜덤 액세스(Random Access) 기술, 인지무선통신 스펙트럼 센싱 기술에 압축센싱 기술이 활용되고 있으며, 영상 신호 복원, 비디오 코딩, 데이터 복원 등 다양한 분야에 적용 가능하여 그 활용범위는 넓어지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 실수 센싱 행렬을 사용하는 경우에 있어 희소성을 갖는 복소수 데이터를 보다 효율적으로 복원할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 일 양태에 있어서, 본 발명의 실시예에 따른 복소수 데이터로 이루어진 신호의 복원단에서 수행되는 복소수 데이터 복원 방법은 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 포함하는 복소수 데이터를 실수부와 허수부로 분리하는 단계, 분리된 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계, 상기 실수부의 복원 결과와 상기 허수부의 복원 결과를 비교하여 신뢰성을 판단하는 단계 및 상기 신뢰성 판단 결과에 따라 상기 허수부의 복원 결과 또는 상기 실수부의 복원 결과를 기반으로 상기 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 복원하는 단계를 포함한다.

[0005] 상기 실수부의 복원 결과와 상기 허수부의 복원 결과를 비교하여 신뢰성을 판단하는 단계는 상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지를 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[0006] 상기 신뢰성의 판단은 상기 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지 중 상대적으로 더 작은 값을 갖는 것을 더 신뢰성 있는 것으로 판단할 수 있다.

[0007] 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계는 직교 대응추구 알고리즘(orthogonal matching pursuit, OMP)을 통해 이루어질 수 있다.

[0008] 상기 복원단은 데이터 전달이 이루어지는 시스템 또는 장치에 데이터 전송 개체(entity)로부터 전달되는 신호를 수신하는 개체일 수 있다.

[0009] 본 발명의 다른 양태에 있어서, 프로세서를 포함하는 복소수 데이터를 복원하는 복원 장치에 있어서 상기 프로세서는 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 포함하는 복소수 데이터를 실수부와 허수부로 분리하는 단계, 분리된 상기 실수부와 상기 허수부를 각각 복원하는 단계, 상기 실수부의 복원 결과와 상기 허수부의 복원 결과를 비교하여 신뢰성을 판단하는 단계 및 상기 신뢰성 판단 결과에 따라 상기 허수부의 복원 결과 또는 상기 실수부의 복원 결과를 기반으로 상기 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 복원하는 단계를 수행하도록 설정된다.

발명의 효과

[0010] 압축 센싱에서 실수 센싱 행렬을 사용하여 복소수 데이터를 복원하는 경우 기존의 복원 방법에 약간의 추가 연산을 하여 복원 성능을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 데이터 복원 방법에 적용될 수 있는 OMP 알고리즘을 간략히 나타낸 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 복원 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 데이터 복원 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 4 내지 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법을 적용한 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 이를 상세한 설명을 통해 상세히 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.
- [0013] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 본 명세서의 설명 과정에서 이용되는 숫자(예를 들어, 제1, 제2 등)는 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위한 식별기호에 불과하다.
- [0014] 또한, 본 명세서에서, 일 구성요소가 다른 구성요소와 "연결된다" 거나 "접속된다" 등으로 언급된 때에는, 상기 일 구성요소가 상기 다른 구성요소와 직접 연결되거나 또는 직접 접속될 수도 있지만, 특별히 반대되는 기재가 존재하지 않는 이상, 중간에 또 다른 구성요소를 매개하여 연결되거나 또는 접속될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0015] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.
- [0016] $M < N$ 인 M 과 N 에 대하여 $N \times 1$ 크기를 가지는 K -회소 신호, 즉 K 개의 0이 아닌 원소를 가지는 데이터 벡터를 $\mathbf{x}$ 라 하고, $M \times N$ 센싱 행렬 Φ 와 $M \times 1$ 센싱 벡터 $\mathbf{y}$ 라 할 때, 데이터의 압축 센싱 과정은 수 1 과 같은 선형 관계식으로 나타낼 수 있다.
- [0017] [수 1]
- [0018] $\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x}$
- [0019] 센싱 벡터 $\mathbf{y}$ 가 복원단에 전달되었을 때, 복원단에서는 주어진 센싱 행렬 Φ 와 센싱 벡터 $\mathbf{y}$ 로부터 원래의 데이터 $\mathbf{x}$ 를 정확히 복원하여야 한다.
- [0020] 직교 대응추구(Orthogonal Matching Pursuit, OMP) 알고리즘은 데이터 복원에 이용되는 알고리즘 중 하나이다. OMP 알고리즘은 매 반복마다 잉여 값과 센싱 행렬의 열들 간의 상관 관계를 계산하여 가장 높은 값에 해당하는 위치를 찾고, 이를 회소 벡터 에서 0이 아닌 원소의 위치라고 판단한다. 이때 0이 아닌 원소의 위치에 해당하는 원소의 계수는 최소 자승법 (least squares)를 이용하여 구할 수 있다.
- [0021] 도 1은 데이터 복원 방법에 적용될 수 있는 OMP 알고리즘을 간략히 나타낸 순서도이다.
- [0022] OMP 알고리즘에 의한 데이터 복원 방법은 초기화 단계(S110), 상관관계 측량 단계(S120), 0이 아닌 위치를 결정하는 단계(S130), 0이 아닌 위치 집합을 갱신하는 단계(S140), 각 위치의 계수를 추정하는 단계(S150), 잉여값을 업데이트 하는 단계(S160), 각 위치의 계수를 추정하는 단계(S170), 모든 회소 신호에 대한 계수 추정이 완료되었는지 여부를 판단하여 상술한 절차를 반복할 것인지 여부를 결정하는 단계(S180)를 포함한다.
- [0023] 상술한 각 단계를 수식과 함께 간략히 설명하면 다음과 같다.
- [0024] S110의 초기화 단계는 수 2로 설명될 수 있다.

[0025] [수 2]

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_0 &= \mathbf{y} \\ \Lambda_0 &= \emptyset \\ t &= 1 \end{aligned}$$

[0026]

[0027] 잉여값 r 의 초기값 $\mathbf{r}_0$ 는 $\mathbf{y}$ 로 데이터 벡터 $\mathbf{x}$ 에서 0이 아닌 위치들의 색인(index) 집합 Λ 의 초기값 Λ_0 는 공집합, 데이터 벡터 $\mathbf{x}$ 에서 0이 아닌 원소의 수만큼 상술한 단계가 반복되므로 이를 계수하는 t 의 초기값은 1로 설정된다. t 는 상술한 S180에서 S120 내지 S170의 절차를 반복하는 것으로 결정될 때 1씩 증가시키고 $t=k$ (k 는 벡터 $\mathbf{x}$ 에서 0이 아닌 원소의 수)일 때 S120 내지 S170의 절차의 반복은 중단된다.

[0028] 수 3 내지 수 7은 각각 S120 내지 S160을 수식으로 나타낸 것이다.

[0029] [수 3]

$$\mathbf{h}_{t-1} = \Phi^T \mathbf{r}_{t-1}$$

[0030]

[0031] [수 4]

$$\lambda_t = \arg \max_{j=1,2,\dots,N} |h_{t-1}(j)|$$

[0032]

[0033] [수 5]

$$\Lambda_t = \Lambda_{t-1} \cup \{\lambda_t\}$$

[0034]

[0035] [수 6]

$$\begin{aligned} \Phi_t &= \Phi S_{\Lambda_t}^T \\ \mathbf{x}_t &= (\Phi_t^T \Phi_t)^{-1} \Phi_t^T \mathbf{y} \end{aligned}$$

[0036]

[0037] [수 7]

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_t &= \Phi_t \mathbf{x}_t \\ \mathbf{r}_t &= \mathbf{y} - \mathbf{a}_t \end{aligned}$$

[0038]

[0039] OMP 알고리즘의 S120에서 현재 잉여 값인 $\mathbf{r}_{t-1}$ 과 센싱 행렬의 열들 간의 상관 관계를 벡터 $\mathbf{h}_{t-1}$ 로 구하고, S130에서 가장 큰 상관 관계 값을 갖는 위치를 λ_t 에서 0이 아닌 위치라고 추정한다(수 4). S140에서는 이러한 추정된 위치들을 색인(index) 집합 Λ_t 에 병합(수 5)시킨다. S150에서 색인 집합 Λ_t 를 바탕으로 각 위치의 계수들을 $\mathbf{x}_t$ 로 추정(수 6)하는 데, 이때 최소 자승법(least squares)이 이용될 수 있다. S160에서 현재까지 추정된 0이 아닌 위치와 계수들을 바탕으로 $\mathbf{a}_t$ 를 생성하여 $\mathbf{y}$ 에서 감해줌으로써 잉여 값을 갱신(수7)한다. 그리고 상술한 바와 같이 S170에서 S120 내지 S160 과정의 반복 여부를 판단한다.

[0040] 도 1과 함께 설명한 OMP 알고리즘을 비롯한 종래의 데이터 복원 방법은 센싱 행렬 Φ 의 원소나 복원되어야 할 원래의 신호 $\mathbf{x}$ 의 원소가 실수인지 복소수인지 여부와 무관하게, 즉 실수인지 복소수인지를 구분하지 아니하고 동일한 방법을 적용하였다.

[0041] 본 발명은 실수 센싱 행렬을 사용하는 경우 희소성을 가지는 복소수 데이터를 보다 효율적으로 복원할 수 있는 방법으로, 종래의 데이터 복원 방법을 개선한 데이터 복원 방법이다.

[0042] 일반적으로 압축 센싱에 의해 생성된 측량 값(measurement)은 복소수인 경우가 많다. 즉, 측량 값의 실수부와 허수부는 각각 데이터의 실수부와 허수부로부터 분리되어 생성될 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원방법은 이러한 실수부와 허수부의 분리성을 이용한다.

[0043] 수 1에서 실수 센싱 행렬 Φ 을 가정하면, 수 1의 y 는 수 8과 같이 실수부와 허수부로 나뉘 수 있다.

[0044] [수 8]

$$\text{Re}\{y\} = \Phi \text{Re}\{x\}$$

$$\text{Im}\{y\} = \Phi \text{Im}\{x\}$$

[0045]

[0046] 본 발명의 실시예에 따른 복원 방법은 수 8과 같이 복원단에서의 획득 신호 y 를 실수부와 허수부로 나누어 관찰하여, 종래의 복원 방법에 비하여 보다 많은 정보를 획득하고 이를 바탕으로 신호 x 를 복원하는 것을 하나의 특징으로 한다.

[0047] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 복원 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0048] 복소수 데이터(복원 대상 신호 x)를 수 8과 같이 실수부와 허수부로 분리한다(S210). 이후 분리된 실수부와 허수부를 각각 복원(S220, S230)한다. 분리된 실수부와 허수부를 복원하는 각각의 과정 S220, S230에는 종래의 데이터 복원 기법이 이용될 수 있다. 일례로 도 1과 함께 설명한 OMP 알고리즘이 적용될 수 있다. 이때 S220과 S230 각각은 도 1의 S110 내지 S180의 단계를 포함할 수 있다. 이때 분리된 실수부에 대한 OMP 알고리즘을 적용한 복원 방법은 수 2 내지 수 7에 상응하는 수 9 내지 수 14로, 분리된 허수부에 대한 OMP 알고리즘을 적용한 복원 방법은 수 2 내지 수 7에 상응하는 수 15내지 와 허수부 각각은 수

[0049] [수 9]

$$\tau_0^{\text{Re}} = \text{Re}\{y\}$$

$$A_0 = \emptyset$$

$$t = 1$$

[0050]

[0051] [수 10]

$$h_{t-1}^{\text{Re}} = \Phi^T r_{t-1}^{\text{Re}}$$

[0052]

[0053] [수 11]

$$\alpha_t = \arg \max_{j=1,2,\dots,N} |h_{t-1}^{\text{Re}}(j)|$$

[0054]

[0055] [수 12]

$$A_t = A_{t-1} \cup \{\alpha_t\}$$

[0056]

[0057] [수 13]

$$\Phi_t^{\text{Re}} = \Phi S_{A_t}^T$$

$$x_t^{\text{Re}} = ((\Phi_t^{\text{Re}})^T \Phi_t^{\text{Re}})^{-1} (\Phi_t^{\text{Re}})^T \text{Re}\{y\}$$

[0058]

[0059] [수 14]

$$a_t^{\text{Re}} = \Phi_t^{\text{Re}} x_t^{\text{Re}}$$

$$r_t^{\text{Re}} = \text{Re}\{y\} - a_t^{\text{Re}}$$

[0060]

[수 15]

$$\mathbf{r}_0^{\text{Im}} = \text{Im}\{\mathbf{y}\}$$

$$\mathbf{B}_0 = \emptyset$$

$$t = 1$$

[수 16]

$$\mathbf{h}_{t-1}^{\text{Im}} = \Phi^T \mathbf{r}_{t-1}^{\text{Im}}$$

[수 17]

$$\beta_t = \arg \max_{j=1,2,\dots,N} |h_{t-1}^{\text{Im}}(j)|$$

[수 18]

$$\mathbf{B}_t = \mathbf{B}_{t-1} \cup \{\beta_t\}$$

[수 19]

$$\Phi_t^{\text{Im}} = \Phi S_{\mathcal{A}}^T$$

$$\mathbf{x}_t^{\text{Im}} = ((\Phi_t^{\text{Im}})^T \Phi_t^{\text{Im}})^{-1} (\Phi_t^{\text{Im}})^T \text{Im}\{\mathbf{y}\}$$

[수 20]

$$\mathbf{a}_t^{\text{Im}} = \Phi_t^{\text{Im}} \mathbf{x}_t^{\text{Im}}$$

$$\mathbf{r}_t^{\text{Im}} = \text{Im}\{\mathbf{y}\} - \mathbf{a}_t^{\text{Im}}$$

S220 과 S230을 통하여 각각 복원된 실수부의 복원 결과와 허수부의 결과를 비교하여 신뢰성을 판단한다(S240). 신뢰성 판단은 실수부 복원 결과의 잉여 부의 에너지와 허수부 복원 결과의 잉여부의 에너지를 비교를 통해 이루어질 수 있다. 실수부와 허수부의 잉여부의 에너지 중 상대적으로 더 작은 값을 갖는 것을 더 신뢰성 있는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 실수부의 잉여 값의 에너지가 허수부의 잉여 값의 에너지보다 작은 경우 실수부의 위치 색인 집합 $\mathcal{A}_t$ 를(S260), 허수부의 잉여값의 에너지가 실수부의 잉여 값의 에너지보다 작은 경우 허수부의 위치 색인 집합 $\mathcal{B}_t$ 를 기반으로 신호 $\mathbf{x}$ 를 복원(250)한다. 수 21은 상술한 S250, S260을 수식으로 표현한 것이다.

[수 21]

$$\Lambda_t = \mathcal{A}_t, \left\| \mathbf{r}_t^{\text{Re}} \right\|_2^2 / \left\| \text{Re}\{\mathbf{y}\} \right\|_2^2 < \left\| \mathbf{r}_t^{\text{Im}} \right\|_2^2 / \left\| \text{Im}\{\mathbf{y}\} \right\|_2^2 \text{일 때},$$

$$\Lambda_t = \mathcal{B}_t, \left\| \mathbf{r}_t^{\text{Re}} \right\|_2^2 / \left\| \text{Re}\{\mathbf{y}\} \right\|_2^2 > \left\| \mathbf{r}_t^{\text{Im}} \right\|_2^2 / \left\| \text{Im}\{\mathbf{y}\} \right\|_2^2 \text{일 때}$$

$$\Phi_t = \Phi S_{\Lambda_t}^T$$

$$\mathbf{x}_t = (\Phi_t^T \Phi_t)^{-1} \Phi_t^T \mathbf{y}$$

도 3은 본 발명의 다른 실시례에 따른 데이터 복원 방법을 나타낸 흐름도이다.

도 3에 예시한 본 발명의 다른 실시례는 도 1의 OMP 알고리즘에 기반한 것으로 도 1과의 차이점을 중심으로 설명한다.

도 3의 데이터 복원 방법은 실수부와 허수부의 상관 관계의 정보를 공유하는 것을 그 특징으로 한다. OMP 알고

리즘에서 얻어지는 상관 관계 $\tilde{h}_{t-1}$ 은 일반적으로 복소수라고 볼 수 있고, $\tilde{h}_{t-1}$ 의 실수부는 현재 잉여 값의 실수부를, $\tilde{h}_{t-1}$ 의 허수부는 현재 잉여 값의 허수부를 바탕으로 얻어진다고 할 수 있다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 데이터 복원 방법에서는 도 1의 OMP 알고리즘에 기반한 데이터 복원 방법에서 정제된 상관 관계 벡터를 생성하는 단계 S325를 더 포함한다.

[0079] 정제된 상관 관계 벡터 $\tilde{h}_{t-1}$ 은 $\tilde{h}_{t-1}$ 의 실수부와 허수부의 정보 공유에 의하여 얻어질 수 있다.

[0080] 수 22는 $\tilde{h}_{t-1}$ 의 실수부와 허수부의 정보로부터 정제된 상관 관계 벡터 $\tilde{h}_{t-1}$ 을 얻는 획득하는 것을 수식으로 표현한 것이다.

[0081] [수 22]

$$\tilde{h}_{t-1}(j) = \max \{ |\operatorname{Re}\{h_{t-1}(j)\}| / \|\operatorname{Re}\{y\}\|_2, |\operatorname{Im}\{h_{t-1}(j)\}| / \|\operatorname{Im}\{y\}\|_2 \}$$

[0083] S330의 0이 아닌 위치를 결정함에 있어 도 3의 복원 방법은 도 1의 복원 방법의 S130과 비교할 때, $\tilde{h}_{t-1}$ 대신 $\tilde{h}_{t-1}$ 을 적용한다.

[0084] 다시 말해서, S320의 상관관계 측량 단계에서, 실수부의 상관 관계와 허수부의 상관 관계 중 큰 값을 선택하여 새로운 정제된 상관 관계 벡터 $\tilde{h}_{t-1}$ 를 생성(S325)하여 이를 기반으로 S330에서 0이 아닌 위치를 선택하게 된다. 이 때, 실수부의 상관 관계와 허수부의 상관 관계의 비교에 앞서 정규화 과정이 선행될 수 있다.

[0085] 도 3의 실시예에 따른 데이터 복원 방법은 도 2의 실시예에 있어서도 적용될 수 있으며, 지금까지 OMP 알고리즘을 기반으로 한 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법은 설명하였으나, 본 발명은 OMP 알고리즘에 기반한 것에 제한되지 아니하며, OMP 알고리즘 이외에 종래에 데이터 복원 방법에 이용된 OMP 알고리즘의 작동원리에 기반한 다양한 알고리즘, 예를 들어 CoSaMP, ROMP, SP, BAOMP 등의 변형 알고리즘들에도 그대로 적용될 수 있는 것은 자명하다.

[0086] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 기법을 적용한 결과를 통해 본 발명의 효과를 살펴본다.

[0087] 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법의 효과를 확인하기 위하여 진행한 모의실험에서, 첫번째 센싱 행렬은 128X256의 크기를 가지고 각각의 원소는 {+1,-1}에서 랜덤하게 어느 값을 취하였으며, 두번째 센싱 행렬은 이진 Kasami 부호의 모든 부호어를 {+1,-1}에서 어느 값을 취하도록 변형시킨 후 센싱 행렬의 열으로 대응시킨 행렬을 사용하였다.

[0088] 즉, Kasami 부호의 모든 부호어를 63X1 크기의 열 벡터 $s_i(i=1,2,3,\dots,512)$ 로 나타내면, 실험에서 사용된 63X515 크기의 Kasami 센싱 행렬은 수 23과 같이 나타낼 수 있다.

[0089] [수 23]

$$[s_1 \ s_2 \ s_3 \ \dots s_{511} \ s_{512}]$$

[0090]

[0091] 또한 K-회소 신호를 총 네 가지의 방법으로 발생시켰는데 (이하에서 각각을 신호 모델 1부터 신호 모델 4로 칭한다), 각각에서 K개의 0이 아닌 원소들은 기본적으로 복소 가우시안 확률 분포를 따르도록 랜덤하게 발생시켰다.

[0092] 수 24는 신호 모델을 수식으로 나타낸 것이다.

[0093] [수 24]

$$x = a_1 \tilde{h}_1 e_1 + a_2 \tilde{h}_2 e_2 + \dots + a_N \tilde{h}_N e_N + j(a_1 \tilde{h}_1 e_1 + a_2 \tilde{h}_2 e_2 + \dots + a_N \tilde{h}_N e_N)$$

[0095]

수 24에서 $j=1,2,\dots,N$ 에 대하여 a_j 와 b_j 는 각 위치에서 복소 데이터의 값을 표현하는 계수이고, $i_j \in \{0,1\}$ 은 $\mathbf{x}$ 의 최소성을 나타내기 위한 값이며, e_j 는 j 번째 원소만 1을 갖는 $N \times 1$ 크기의 기초 열 벡터를 의한다.

[0096]

네 가지 모든 신호 모델에 대하여 i_j 는 0또는 1을 임의로 선택하되 K 개의 j 에 대해서만 1을 갖게 발생시켰다. 신호 모델 1에서 a_j 와 b_j 는 모두 $N(0,1^2)$ 로부터, 신호 모델 2에서 a_j 와 b_j 는 각각 $N(0,2^2)$ 와 $N(0,1^2)$ 로부터, 신호 모델 3에서 a_j 와 b_j 는 각각 $N(0,4^2)$ 와 $N(0,1^2)$ 로부터, 신호 모델 4에서 a_j 와 b_j 는 각각 $N(0,8^2)$ 와 $N(0,1^2)$ 로부터 발생시켰다.

[0097]

실험은 매 K 에 대하여 상술한 조건에 맞는 임의의 원 신호 $\mathbf{x}$ 를 발생시켜 1000번 시행하였다. 1000번 중 평균 제곱 오류 대비 원 신호의 에너지가 10^{-5} 이하가 되면 복원에 성공한 것으로 판단하였다. 즉, 복원된 신호를 $\hat{\mathbf{x}}$ 이라 할 때, $\hat{\mathbf{x}}$ 이 수 25와 같을 때 복원에 성공한 것으로 판단하였다.

[0098]

[수 25]

$$\frac{|\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}|^2}{|\mathbf{x}|^2} < 10^{-5}$$

[0099]

[0100]

도 4 내지 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법을 적용한 결과를 나타낸 그래프이다.

[0101]

도 4의 그래프는 랜덤하게 생성된 이진 센싱 행렬 사용하고 신호 모델 1로 복원 대상 신호 $\mathbf{x}$ 를 발생시킨 경우의 복원 성능을 나타낸 것이다.

[0102]

랜덤하게 생성된 크기 128X256의 이진 센싱 행렬을 사용한 경우를 보여준다. $\mathbf{x}$ 는 신호 모델 1으로 발생을 시켰다. 전반적으로, $\mathbf{x}$ 에서 0이 아닌 원소의 수인 K 가 커질수록 복원 성능이 점차 감쇄함을 보여준다. CONV는 기존의 OMP 알고리즘의 성능을 보여준다. PROP1과 PROP2는 각각 도 2의 실시예에 따른 복원 방법과 도 3의 실시예에 따른 복원 방법이 적용된 결과이다. PROP1과 PROP2 모두 신호의 실수부와 허수부의 정보를 공유하여 다이버시티(diversity)를 얻을 수 있다. 따라서 기존의 OMP 알고리즘인 CONV보다 PROP1과 PROP2가 더 좋은 복원 성능을 낸다.

[0103]

도 5의 그래프는 Kasami 센싱 행렬을 사용하고 신호 모델 1로 $\mathbf{x}$ 를 발생시킨 경우의 복원 성능을 나타낸 것이다. 도 4의 그래프와 마찬가지로 PROP1과 PROP2가 CONV보다 더 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

[0104]

도 4 및 도 5는 신호 모델 1을 이용하여 $\mathbf{x}$ 를 발생시킨 결과를 나타내었으나, 신호모델 2 내지 신호 모델 4로 발생시켜도 복원 성능은 변하지 않는다. 이는 도 2의 실시예 및 도 3의 실시예의 복원 방법에는 각 신호의 잉여 값을 기반으로 하는 정규화 과정을 포함하기 때문이다.

[0105]

PROP1과 PROP2의 알고리즘에서 실수부와 허수부를 동시에 고려하게 될 때 실수부와 허수부의 에너지 또는 그 제곱근으로 정규화 하므로(도 2의 S280 및 도 3의 S320 참고), PROP1과 PROP2는 $\mathbf{x}$ 의 0이 아닌 원소들의 실수부와 허수부가 에너지 측면에서 비대칭적으로 발생한 경우인 신호 모델 2, 3, 4에 대해서도 신호 모델 1에서 보여준 성능과 동일한 성능을 갖게 된다.

[0106]

도 6 내지 도 9는 모든 신호 모델로부터 $\mathbf{x}$ 를 발생시킨 경우 정규화를 하지 않은 PROP1과 PROP2의 복원 성능을 나타내고 있다. 도 6 및 도 8에서 알 수 있듯이 정규화를 하지 않은 PROP1을 이용하여 신호를 복원하는 경우에는 $\mathbf{x}$ 의 0이 아닌 원소들의 실수부와 허수부가 에너지 측면에서 비대칭적으로 발생했다라도 복원 성능은 대칭적으로 발생한 경우와 동일함을 알 수 있다. 그 이유를 분석해보면, 본 성능 실험에서 측정 값에는 잡음이 없는 것으로 가정하였으며, 복원 성공의 기준을 오류 대비 원 신호의 에너지가 매우 작은 경우로 한정하였으므로 실

제로 복원이 성공하는 경우의 잉여 값의 에너지가 0이 되는 경우가 대부분이다. 그리고 OMP의 복원은 $\mathbf{x}$ 에서 0이 아닌 원소들이 동일한 크기만큼 배가되었거나 줄어들었다고 하더라도 그렇지 않은 경우와 완전히 동일한 결과를 낳게 된다. 따라서 PROP1은 모든 신호 모델들에 대하여 동일한 복원 성능을 보여주게 된다.

[0107] 한편 도 7 및 도 9에서 볼 수 있듯이 정규화를 하지 않은 PROP2는 $\mathbf{x}$ 의 0이 아닌 원소들의 실수부와 허수부의 비대칭성이 커질수록 성능 열화도 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 도 3의 S320에서 실수부와 허수부로부터 각각 얻어진 상관 관계들을 한꺼번에 고려할 때 실수부의 에너지가 허수부보다 더 큰 경우에는 자연히 실수부의 상관 관계들의 크기도 그만큼 커지게 되어 공정한 상관 관계 크기의 비교가 불가능하게 되기 때문이다.

[0108] 도 2 및 도 3과 함께 설명한 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법은 종래의 복원 방법에 별다른 추가적인 연산이 필요하지 않다. 따라서, 추가적인 계산 복잡도는 무시 할만한 수준이라 할 수 있다.

[0109] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 데이터 복원 방법은 다양한 전자적으로 정보를 처리하는 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 저장 매체에 기록될 수 있다. 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.

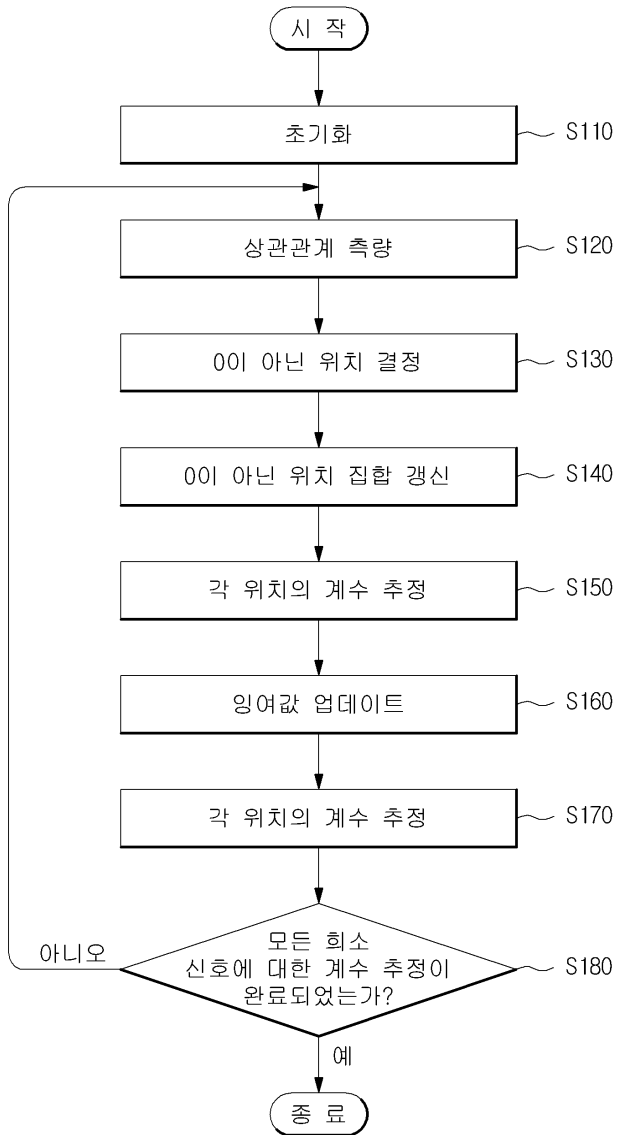
[0110] 저장 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 소프트웨어 분야 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 저장 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 또한 상술한 매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 반송파를 포함하는 광 또는 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수도 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 전자적으로 정보를 처리하는 장치, 예를 들어, 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0111] 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

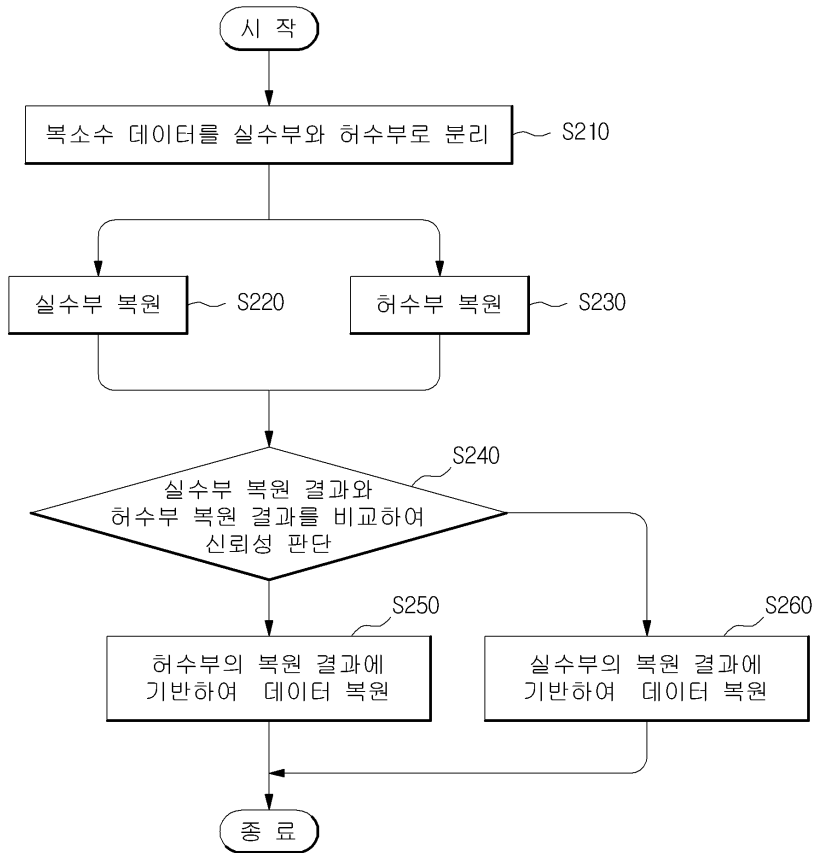
[0112] 상술한 실시예들은 다양한 양태의 예시들을 포함한다. 다양한 양태들을 나타내기 위한 모든 가능한 조합을 기술할 수는 없지만, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자는 다른 조합이 가능함을 인식할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명은 이하의 특허청구범위 내에 속하는 모든 다른 교체, 수정 및 변경을 포함한다고 할 것이다.

도면

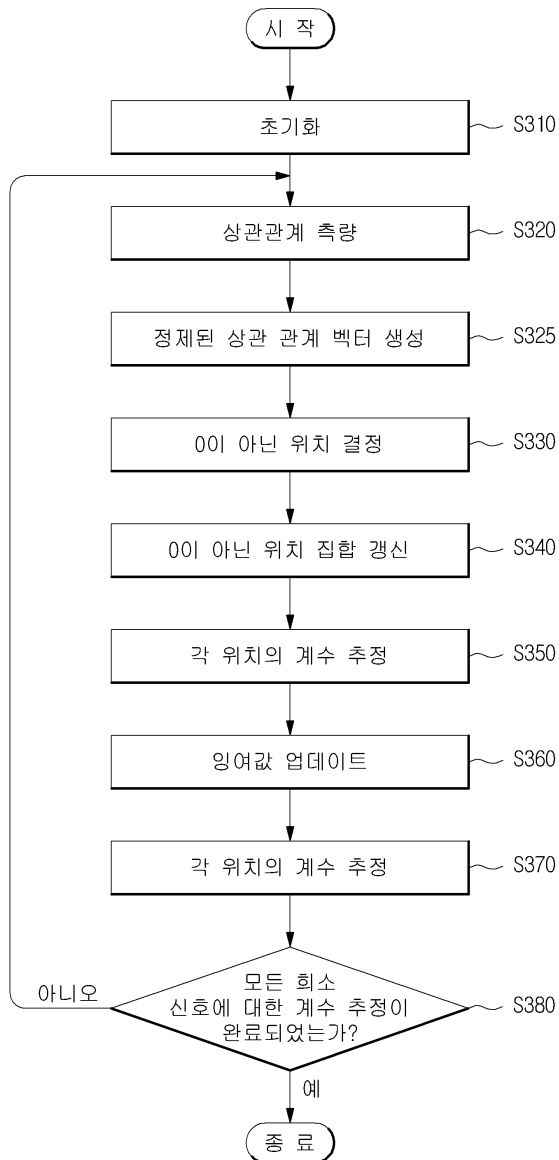
도면1



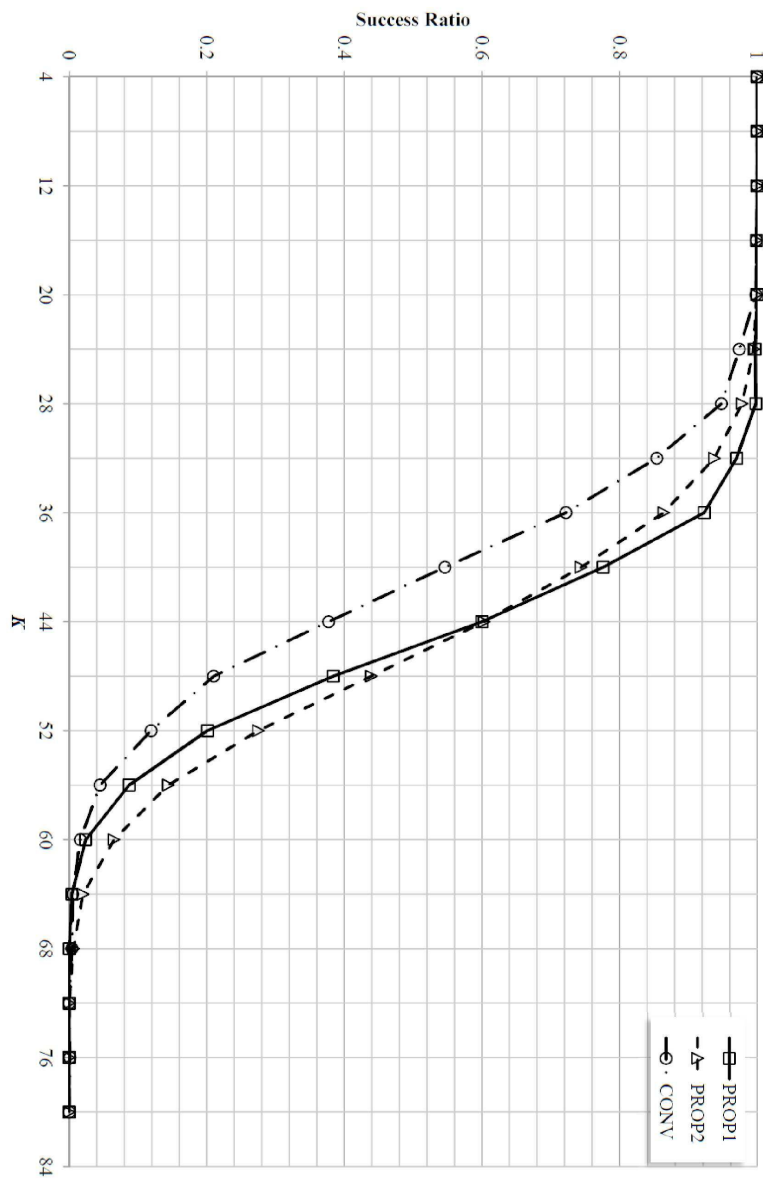
도면2



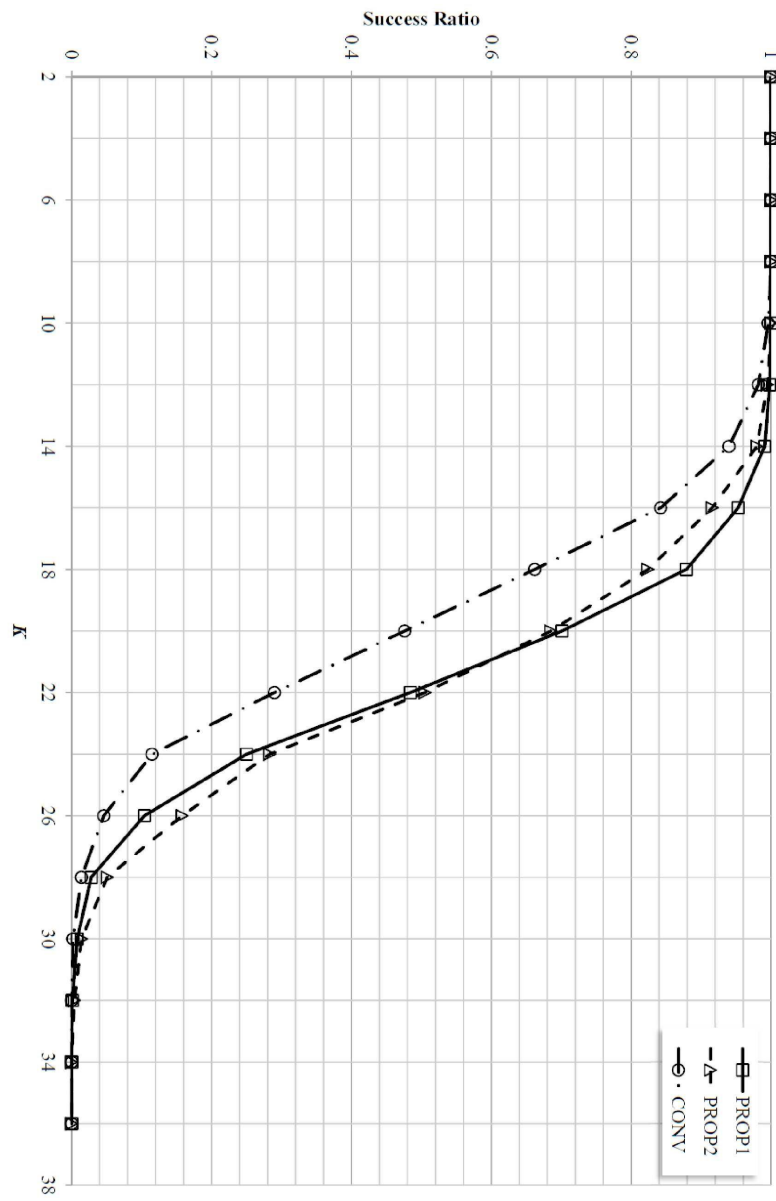
도면3



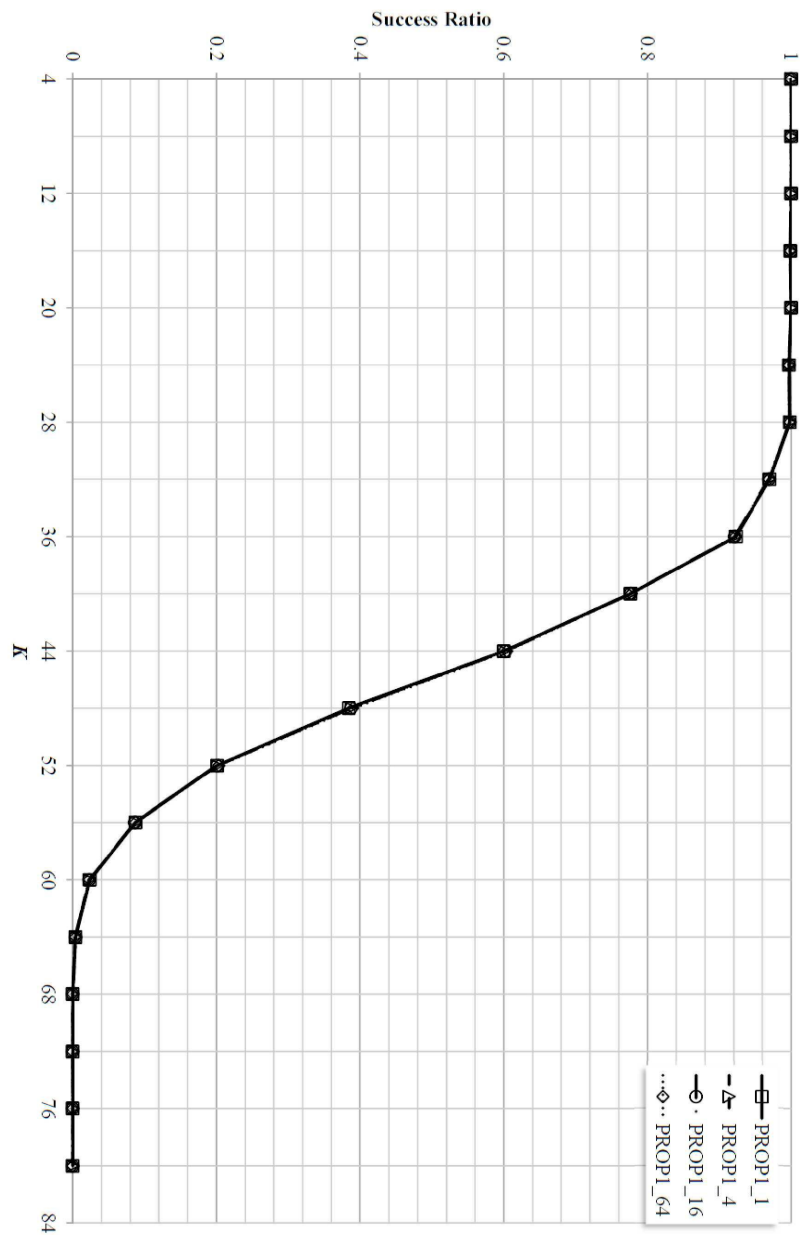
도면4



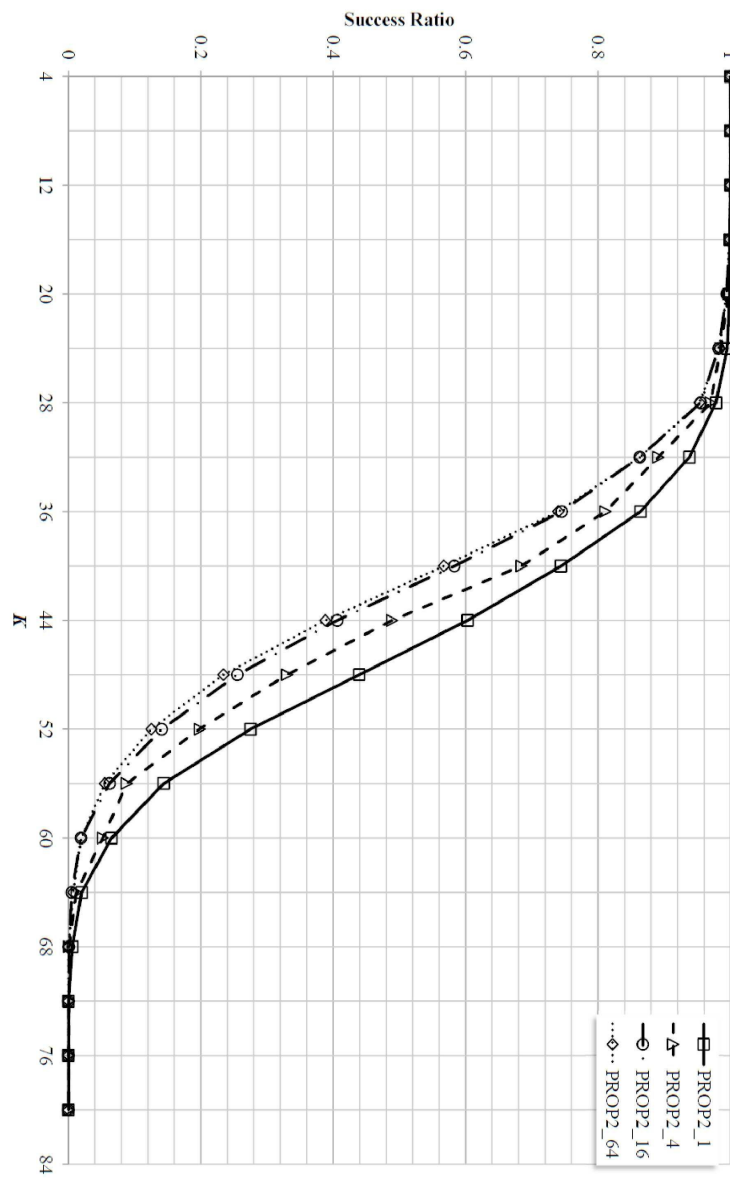
도면5



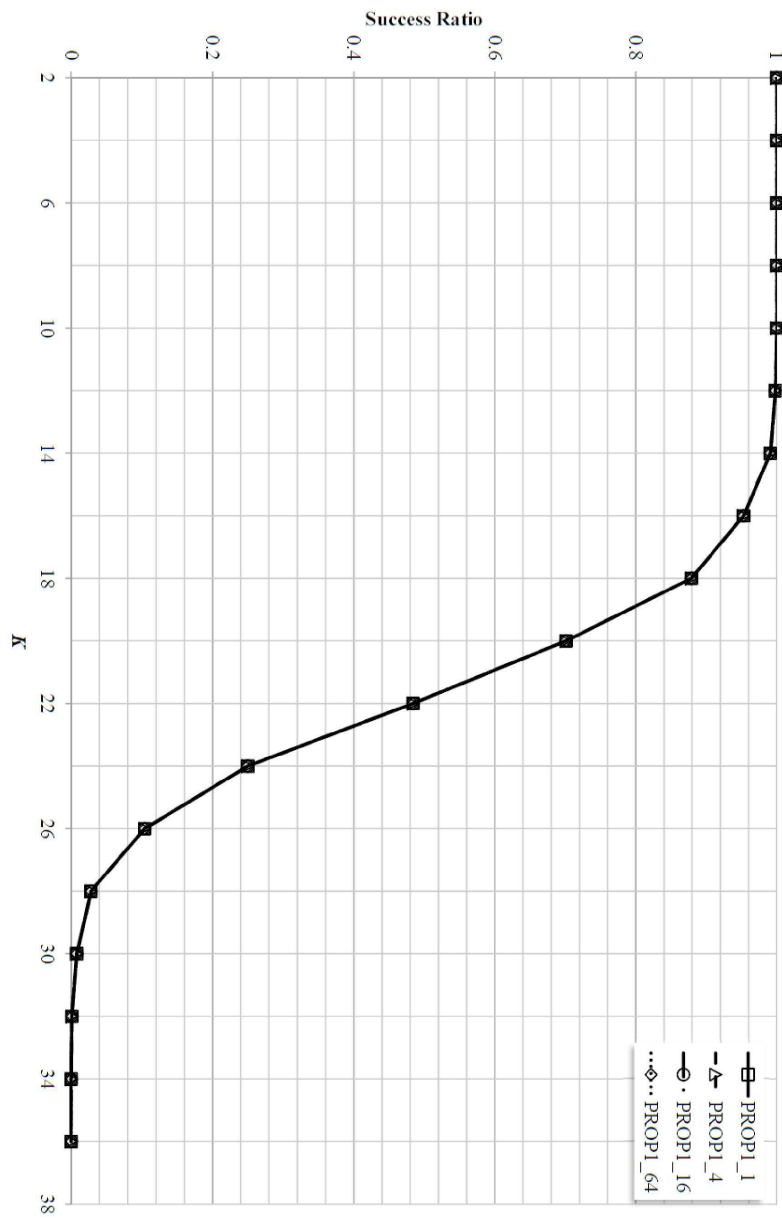
도면6



도면7



도면8



도면9

