

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2015년 5월 21일 (21.05.2015)



(10) 국제공개번호
WO 2015/072613 A1

- (51) 국제특허분류:
H04L 27/26 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2013/011077
- (22) 국제출원일: 2013년 12월 2일 (02.12.2013)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2013-0140079 2013년 11월 18일 (18.11.2013) KR
- (71) 출원인: 경상대학교 산학협력단 (INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION GYEONGSANG NATIONAL UNIVERSITY) [KR/KR]; 660-701 경상남도 진주시 진주대로 501, Gyeongsangnam-do (KR).
- (72) 발명자: 정방철 (JUNG, Bang Chul); 650-140 경상남도 통영시 봉평동 15-10 로즈빌 101호, Gyeongsangnam-do (KR). 반태원 (BAN, Tae Won); 618-708 부산시 강서구 명지동 쿤텀 1차 에디스타운 101동 902호, Busan (KR). 박정홍 (PARK, Jeong Hong); 650-160 경상남도 통영시 천함길 14-10, Gyeongsangnam-do (KR).
- (74) 대리인: 김태선 (KIM, Tae Sun); 135-915 서울시 강남구 테헤란로 37길 15 영남빌딩 402호, Seoul (KR).

- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17에 의한 선언서:

- 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

[다음 쪽 계속]

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR RECONSTRUCTING SPARSE SIGNAL USING PARALLEL ORTHOGONAL MATCHING PURSUIT TECHNIQUE

(54) 발명의 명칭: 병렬 직교 매칭 퍼스UIT 기법을 이용하여 성긴 신호를 복원하는 장치 및 방법

반복 AA	OMP	POMP (M=3)
1	$\Lambda_1 = \{ a_6 \}$	$\Lambda_1^1 = \{ a_6 \}$, $\Lambda_1^2 = \{ a_3 \}$, $\Lambda_1^3 = \{ a_8 \}$
2	$\Lambda_2 = \{ a_6 , a_2 \}$	$\Lambda_2^1 = \{ a_6 , a_2 \}$ $\Lambda_2^2 = \{ a_3 , a_1 \}$ $\Lambda_2^3 = \{ a_8 , a_7 \}$
3	$\Lambda_3 = \{ a_6 , a_2 , a_5 \}$	$\Lambda_3^1 = \{ a_6 , a_2 , a_5 \}$ $\Lambda_3^2 = \{ a_3 , a_1 , a_{10} \}$ $\Lambda_3^3 = \{ a_8 , a_7 , a_1 \}$
4	.	.
	.	.
	.	.
	.	.

AA ... Repeat

(57) Abstract: A reconstruction apparatus and a reconstruction method for reconstructing a sparse signal in a reception signal are disclosed. The reconstruction apparatus and the reconstruction method reconstruct a sparse signal using an orthogonal matching technique, select a plurality of initial indexes of an orthogonal matching pursuit technique, and apply the orthogonal matching pursuit technique with respect to the plurality of selected initial indexes, respectively.

(57) 요약서: 수신 신호에서 성긴 신호를 복원하는 복원 장치 및 복원 방법이 개시된다. 복원 장치 및 복원 방법은 직교 매칭 퍼스UIT 기법을 이용하여 성긴 신호를 복원하며, 직교 매칭 퍼스UIT 기법에서의 초기 인덱스를 복수 개 선택하고, 선택된 복수 개의 초기 인덱스 각각에 대하여 직교 매칭 퍼스UIT 기법을 적용한다.

WO 2015/072613 A1

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

명세서

발명의 명칭: 병렬 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 이용하여 성긴 신호를 복원하는 장치 및 방법

기술분야

- [1] 하기의 실시예들은 압축 센싱 분야에 관한 것으로, 구체적으로는 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 병렬적으로 적용하여 신호 복원 성능을 향상하는 기술에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 나이퀴스트 샘플링 (Nyquist sampling) 이론은 현재 대부분의 디지털 장치에서 아날로그 신호를 획득하는데 사용되는 근간이 되는 이론이다. 이 이론에 의하면 아날로그 신호를 완벽히 복원하기 위해서 해당 아날로그 신호 주파수 대역폭의 두 배 이상의 주파수로 샘플링을해야 한다. 이 이론은 간결하고 명쾌하지만, 신호를 완전히 무결하게 복원하기 위한 충분조건 (sufficient condition)이기에 신호의 특성이 반영되지 않는다. 최근 고화질 영상 처리나 고속 통신 시스템 등의 예에서 볼 수 있듯이 샘플링 해야 하는 데이터양이 급격히 늘어남에 따라서 이 이론의 효율성에 대한 의문이 꾸준히 제기되어 왔다.
- [3] Candes와 Donoho등은 복원하고자 하는 신호벡터에서 0의 개수가 많은 경우, 나이퀴스트 샘플링 보다 훨씬 높은 압축률로 원 신호를 완벽하게 복원할 수 있음을 증명하였다. 이 이론을 흔히 압축 센싱 이라고 불리운다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 하기 실시예들은 수신 신호에서 성긴 신호(sparse signal)을 정확히 복원하는 것을 목적으로 한다.
- [5] 하기 실시예들은 적은 계산량으로 성긴 신호를 복원하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결 수단

- [6] 예시적 실시예에 따르면, 직교 매칭 퍼스ٹ(orthogonal matching pursuit) 기법을 이용하여 수신 신호에서 성긴 신호를 복원하는 복원 장치에 있어서, 상기 직교 매칭 퍼스ٹ 기법의 초기 인덱스를 복수 개 선택하는 초기화부, 상기 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 상기 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 병렬적으로 적용하여 상기 초기 인덱스 각각에 대응하는 상기 수신 신호의 근사 행렬들을 생성하는 반복 수행부, 및 상기 복수의 근사 행렬들에 기반하여 상기 성긴 신호의 복원 신호를 선택하는 선택부를 포함하는 복원 장치가 제공된다.
- [7] 여기서, 상기 초기화부는 상기 수신 신호와 상기 직교 매칭 퍼스ٹ 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상기 상관도의 값의 크기에 따라서 상기 복수의 초기 인덱스를 선택할 수 있다.
- [8] 그리고, 상기 반복 수행부는 상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스ٹ 기법이

반복됨에 따라 생성된 추가 인덱스들의 스패(span) 위로의 정사영(orthogonal projection)을 결정하고, 상기 결정된 정사영에 기반하여 생성된 상기 수신 신호의 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차를 산출할 수 있다.

[9] 또한, 상기 반복 수행부는 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 상기 정사영을 산출할 수 있다.

[10] 여기서, 상기 선택부는 상기 각 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차에 따라서 상기 복원 신호를 선택할 수 있다.

[11] 또 다른 예시적 실시예에 따르면, 직교 매칭 퍼스uits(orthogonal matching pursuit) 기법을 이용하여 수신 신호에서 성진 신호를 복원하는 복원 방법에 있어서, 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 초기 인덱스를 복수 개 선택하는 단계, 상기 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법을 병렬적으로 적용하여 상기 초기 인덱스 각각에 대응하는 상기 수신 신호의 근사 행렬들을 생성하는 단계 및 상기 복수의 근사 행렬에 기반하여 상기 성진 신호의 복원 신호를 선택하는 단계를 포함하는 복원 방법이 제공된다.

[12] 여기서, 상기 초기 인덱스를 선택하는 단계는 상기 수신 신호와 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상기 상관도의 값의 크기에 따라서 상기 복수의 초기 인덱스를 선택할 수 있다.

[13] 그리고, 상기 후보 신호를 생성하는 단계는 상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라 생성된 추가 인덱스들의 스패(span) 위로의 정사영(orthogonal projection)을 결정하고, 상기 결정된 정사영에 기반하여 생성된 상기 수신 신호의 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차를 산출할 수 있다.

[14] 또한, 상기 후보 신호를 생성하는 단계는 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 상기 정사영을 산출할 수 있다.

[15] 여기서, 상기 선택하는 단계는 상기 각 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차에 따라서 상기 복원 신호를 선택할 수 있다.

발명의 효과

[16] 하기 실시예들에 따르면, 수신 신호에서 성진 신호(sparse signal)을 정확히 복원할 수 있다.

[17] 하기 실시예들에 따르면, 적은 계산량으로 성진 신호를 복원할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[18] 도 1은 수신 신호에서 성진 신호를 복원하는 개념을 도시한 도면이다.

[19] 도 2는 예시적 실시예에 따라 복수의 초기 인덱스를 선택하는 개념을 도시한 도면이다.

[20] 도 3은 예시적 실시예에 따른 복원 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

[21] 도 4는 예시적 실시예에 따른 복원 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [22] 이하, 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [23] 압축 센싱(Compressed Sensing)에 따르면, 우리가 통상적으로 다루는 신호들은 대부분 어떤 특정한 신호 공간(space)으로 변형(transform)시켜 보았을 때 성긴 신호(sparse signal)에 해당한다. 성긴 신호들은 변형되기 전의 신호 공간에서 대부분의 값은 '0'이고, '0'이 아닌 신호들은 일부에 불과한 신호이다. 이러한 성긴 신호들은 아주 적은 수의 선행 측정(linear measurement)만으로도 원래의 신호를 거의 완벽하게 복원시킬 수 있다.
- [24] 도 1은 수신 신호에서 성긴 신호를 복원하는 개념을 도시한 도면이다. 도 1에서, 수신 신호 Y(110)는 성긴 신호 X(130)가 측정 행렬 A(120)에 의해 변형된 신호이다. 수신 신호 Y(110), 성긴 신호 X(130), 측정 행렬 A(120)에 포함된 작은 사각형들은 각각 수신 신호 Y(110), 성긴 신호 X(130), 측정 행렬 A(120)의 원소들을 나타낸다.
- [25] 성긴 신호 X(130)에서, 흰색의 사각형들은 그 값이 '0'인 원소들이고, 회색의 사각형들은 그 값이 '0'이 아닌 원소들이다. 도 1에 도시된 실시예에 따르면, 성긴 신호 X(130)는 대부분의 원소들은 그 값이 '0'이고, 일부의 원소들만이 그 값이 '0'이 아니다.
- [26] 압축 센싱 이론에 따르면, 특정 조건을 만족하는 측정 행렬 A(120)를 이용하면, 수신 신호 Y(110)로부터 성긴 신호 X(130)를 복원할 수 있다. 도 1에 도시된 실시예를 하기 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.
- [27] 수학식 1
- $$Y = AX + Z$$
- [28] 여기서, 수신 신호 Y는 $Y \in \mathbb{R}^{m \times s}$, 측정 신호 A는 $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, 성긴 신호 X는 $X \in \mathbb{R}^{n \times s}$, 가우시안 잡음 Z는 $Z \in \mathbb{R}^{m \times s}$ 이다. 또한, $n > m$ 이다.
- [29] 수학식 1에서 표현된 신호 복원 문제의 해는 하기 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.
- [30] 수학식 2
- $$\min \|X\|_0 \text{ subject to } Y = AX$$
- [31] 여기서, $X = [\chi_1 \chi_2 \dots \chi_s] \in \mathbb{R}^{n \times s}$ 이고, $\|X\|_0$ 은 성긴 신호 X의 행들 중에서 어느 하나의 원소의 값이 '0'이 아닌 행의 개수를 나타낸다.
- [32] 수학식 2를 푸는 문제는 복잡성이 매우 높은 것으로 알려져 있으며, 이를 해결하기 위하여 여러 가지 알고리즘이 제안되었다. 그 중에서 S-OMP 알고리즘은 복원 성능이 비교적 뛰어나고 복잡도가 낮아 널리 사용되고 있다.
- [33] 이하 도 2 내지 도 4에서는 S-OMP 알고리즘을 개선하여 복원 성능을 향상시킨 병렬 직교 매칭 퍼스(Parallel Orthogonal Matching Pursuit) 기법에 대하여 설명한다. 병렬 직교 매칭 퍼스 기법은 복수의 초기 인덱스를 선택하고, 각각의 초기 인덱스에 대하여 직교 매칭 퍼스 기법을 병렬적으로 적용한다.

[34]

[35] 도 2는 예시적 실시예에 따라 복수의 초기 인덱스를 선택하는 개념을 도시한 도면이다. 도 2에서, 첫 번째 열은 직교 매칭 퍼스 기법의 반복 횟수를 나타내고, 두 번째 열은 종래의 직교 매칭 퍼스 기법에 따른 해, 세 번째 열은 예시적 실시예에 따른 병렬 직교 매칭 퍼스 기법에 따른 해를 나타낸다.

[36] 도 2에서, a_i 는 측정 행렬의 i 번째 열을 나타내고, Λ_t 는 t 번째 반복 횟수에서 1번째 인덱스 집합을 나타낸다.

[37] 반복 횟수가 '1'인 경우에, 직교 매칭 퍼스 기법의 경우 초기 인덱스를 선택한다. 종래의 직교 매칭 퍼스 기법에 따르면 하나의 초기 인덱스만을 선택한다. 여기서, 직교 매칭 퍼스 기법은 측정 행렬의 열들 중에서 어느 하나의 열을 선택하고, 선택된 열의 인덱스를 초기 인덱스로 선택할 수 있다. 도 2에 도시된 실시예에 따르면, 종래의 직교 매칭 퍼스 기법에서는 '6'을 초기 인덱스로 선택하였다.

[38] 반면, 예시적 실시예에 따른 병렬 직교 매칭 퍼스 기법의 경우 복수의 초기 인덱스를 선택한다. 도 2에 도시된 실시예에 따르면, 병렬 직교 매칭 퍼스 기법의 경우, '6', '3', '8'을 초기 인덱스로 선택하였다.

[39] 반복 횟수가 증가함에 따라서, 직교 매칭 퍼스 기법은 추가 인덱스를 선택한다. 종래의 직교 매칭 퍼스 기법에서는, 반복 횟수가 '2'인 경우 '2'를 추가 인덱스로 선택하고, 반복 횟수가 '3'인 경우 '5'를 추가 인덱스로 선택하여 인덱스 집합은 {6, 2, 5}이다.

[40] 예시적 실시예에 따른 병렬 직교 매칭 퍼스 기법은 각각의 초기 인덱스에 대하여 병렬적으로 직교 매칭 퍼스 기법을 적용하여 초기 인덱스 각각에 대응하는 추가 인덱스를 생성한다. 도 2에 도시된 실시예에서는 초기 인덱스 '6'에 대해서 추가 인덱스 '2' 및 '5'를 선택하여 인덱스 집합은 {6, 2, 5}이다. 또한, 초기 인덱스 '3'에 대해서 추가 인덱스 '4' 및 '10'을 선택하여 인덱스 집합은 {3, 2, 10}이다. 마지막으로, 초기 인덱스 '8'에 대해서 추가 인덱스 '7' 및 '1'을 선택하여 인덱스 집합은 {8, 7, 1}이다.

[41] 도 2에 도시된 실시예를 참고하면, 예시적 실시예에 따른 병렬 직교 매칭 퍼스 기법은 선택된 초기 인덱스 각각에 대응하는 인덱스 집합을 생성한다. 이 인덱스 집합들로 구성할 수 있는 신호를 성긴 신호의 후보 신호들이라 할 수 있으며, 병렬 직교 매칭 퍼스 기법은 복수의 후보 신호들 중에서 성긴 신호의 복원 신호를 선택한다.

[42] 도 2에 도시된 실시예에 따르면, 병렬 직교 매칭 퍼스 기법은 수신 신호와 각각의 복원 신호에 대하여 오차 신호를 생성하고, 생성된 오차 신호의 크기에 따라서 후보 신호들 중에서 복원 신호를 선택할 수 있다.

[43]

[44] 이하 도 3 내지 도 4에서 병렬 직교 매칭 퍼스 기법을 이용한 신호 복원 기법에 대하여 구체적으로 설명하기로 한다.

[45]

[46] 도 3은 예시적 실시예에 따른 복원 장치의 구조를 도시한 블록도이다. 예시적 실시예에 따른 복원 장치(300)는 초기화부(310), 반복 수행부(320) 및 선택부(330)를 포함한다.

[47] 초기화부(310)는 잔여 행렬(residual matrix) R^1 의 초기값 R^1_0 , 인덱스 집합 Λ^1 의 초기값 Λ^1_0 , 반복 횟수 t 를 하기 수학식 3과 같이 초기화할 수 있다.

[48] 수학식 3

$$R^1_0 = Y$$

[49] $\Lambda^1_0 = \emptyset$

[50] $t = 1$

[51] 여기서 잔여 행렬 R^1 은 1번째 POMP블록을 통해 생성된 수신신호 Y 의 근사행렬(approximation matrix)

$$P^1_t$$

과 수신신호 Y 간의 오차를 의미한다.

[52] 뿐만 아니라, 초기화부(310)는 수신 신호를 수신하고, 수신 신호에 대하여 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 적용하기 위한 초기 인덱스를 복수 개 선택할 수 있다. 여기서, 초기 인덱스는 측정 행렬의 열 벡터들 중에서 초기 벡터로 선택된 벡터들의 인덱스일 수 있다. 초기화부(310)는 수신 신호와 직교 매칭 퍼스ٹ 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상관도의 값의 크기에 따라서 복수의 초기 인덱스를 선택할 수 있다. 일측에 따르면, 초기화부(310)는 하기 수학식 4와 같이, 수신 신호 Y 와 측정 행렬 A 의 상관도가 큰 수선대로 L 개의 초기 인덱스 λ_t 를 선택할 수 있다.

[53] 수학식 4

$$\lambda_t = \arg \max_{i/\Lambda_{t-1}^1} \sum_{j=1}^J |\langle R_{t-1}^1(j), a_i \rangle|^2$$

[54] 여기서 a_i 는 측정 행렬 A 의 i 번째 열을 나타내고, $R_{t-1}^1(j)$ 는 1번째 후보집합을 통해 계산된 잔여행렬의 j 번째 열을 의미한다. 수학식 4에서 $|\langle c, d \rangle|$ 는 벡터 c, d 의 내적을 의미한다.

[55] 수학식 4를 참고하면, 초기화부(310)는 측정 행렬 A 의 각 열과, R_{t-1}^1 의 내적을 통해 나온 $1 \times s$ 크기의 벡터의 합이 가장 큰 i 가

$$\hat{x}$$

의 t 번째 '0'이 아닌 열이 된다.

[56] 초기화부(310)는 생성된 인덱스 λ_t 를 하기 수학식 5에 따라서, 종래의 인덱스 집합과 병합한다.

[57] 수학식 5

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

[58] 초기화부(310)는 인덱스 집합 λ_t 에 포함된 인덱스들의 스패(span)위로의 정사영(orthogonal projection)인 P_t 를 결정한다.

[59] 수학식 6

$$\mathbf{P}_t^l = \{(\mathbf{A}_t^l)^T \mathbf{A}_t^l\}^{-1} (\mathbf{A}_t^l)^T$$

[60] 여기서, $\mathbf{A}_t^l$ 은 Λ_t^l 에속하는 원소에 해당되는 열들로 구성된 A행렬의 sub-matrix를 의미한다.

[61] 일측에 따르면, 초기화부(310)는 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 정사영 $\mathbf{P}_t^l$ 를 결정할 수 있다.

[62] 초기화부(310)는 결정된 정사영에 기반하여 수신 신호의 근사 행렬(approximation matrix)

$$\hat{\mathbf{Y}}_t^l$$

와 잔여 행렬 $\mathbf{R}_t^l$ 를하기 수학식 7과 같이 업데이트 할 수 있다.

[63]

[64] 수학식 7

$$\hat{\mathbf{Y}}_t^l = \mathbf{A}(\mathbf{P}_t^l \mathbf{Y})$$

[65] $\mathbf{R}_t^l = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}}_t^l$

[66] 여기서 잔여 행렬 $\mathbf{R}_t^l$ 는 수신신호 $\mathbf{Y}$ 와 상기 수신 신호의 근사 행렬

$$\hat{\mathbf{Y}}_t^l$$

간의 오차를 의미한다.

[67]

[68] 초기화부(310)는 수학식 3내지 수학식 7 까지의 초기화 절차를 L 번 수행하여 L 개의 초기 인덱스를 선택한다.

[69]

[70] 반복 수행부(320)는 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 직교 매칭 퍼스 기법을 병렬적으로 적용하여 초기 인덱스 각각에 대응하는 수신 신호의 근사 행렬(approximation matrix)

$$\hat{\mathbf{Y}}_t^l$$

와 잔여 행렬 $\mathbf{R}_t^l$ 을 업데이트할 수 있다. 일측에 따르면, 반복 수행부(320)는 선택된 복수의 초기 인덱스 각각에 대하여 수학식 4 내지 수학식 7의 절차를 반복할 수 있다. 일측에 따르면, 반복 수행부(320)는 미리 결정된 상수인 K 번 만큼 수학식 4 내지 수학식 7의 절차를 반복할 수 있다.

[71]

[72] 일측에 따르면, 반복 수행부(320)의 반복에 따라서 인덱스 집합이 일치할 수도 있다. 예를 들어, 초기 인덱스로 인덱스 3을 선택하고, 이후 반복에 따라 인덱스 2를 추가한 경우의 인덱스 집합과, 초기 인덱스로 인덱스 2를 선택하고, 이후 반복에 따라 인덱스 3을 추가한 경우에 초기 인덱스 '3'에 대응되는 인덱스 집합은 {3, 2}이고, 초기 인덱스 '2'에 대응되는 인덱스 집합은 {2, 3}이다. 반복 생성부(320)는 초기 인덱스 및 추가 인덱스들을 포함하는 인덱스 집합들을 서로

비교할 수 있다.

- [73] 일측에 따르면, 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합이 존재하는 경우에, 반복 수행부(320)는 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합들 중에서 어느 하나의 집합에 대해서만 반복을 계산하고, 다른 인덱스 집합에 대해서는 반복을 중단하여 무의미한 반복 계산을 피할 수 있다.
- [74] 다른 측면에 따르면, t번째 반복과정에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합이 존재하는 경우에, t번째 반복과정의 초기화부(310)는 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합의 개수에 비례하여 인덱스를 재선택할 수 있다. 예를 들어, N개의 인덱스 집합이 존재하는 경우, 초기화부(310)는 t번째 반복과정에서 N-1개의 초기 인덱스를 재선택할 수 있다. 이 경우, 반복 수행부(320)는 재선택된 초기 인덱스에 대하여 직교 매칭 퍼스킷 기법을 적용하여 인덱스 집합을 생성할 수 있다.
- [75]
- [76] 선택부(330)는 초기화부(310) 및 반복 수행부(320)가 생성한 근사 행렬들에 기반하여 성긴 신호의 복원 신호를 선택한다. 일측에 따르면, 선택부(330)는 각 근사 행렬과 수신 신호간의 오차에 따라서 복원 신호를 선택할 수 있다. 선택부(330)는 하기 수학식 7과 같이, 각 근사 행렬과 수신 신호간의 오차를 의미하는 잔여 행렬의 크기가 최소가 되는 인덱스 집합을 통하여 복원된 신호를 성긴 신호의 복원 신호로 선택할 수 있다.
- [77]
- [78] 수학식 8
- $$\hat{l} = \arg \min_l \|R_k^l\|_2$$
- [79] $\hat{x} = \hat{P}_K^l Y$
- [80] 도 4는 예시적 실시예에 따른 복원 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.
- [81] 단계(410)에서, 복원 장치는 잔여 행렬(residual matrix) R^l 의 초기값 R^l_0 인덱스 집합 Λ^l 의 초기값 Λ^l_0 반복 횟수 t를 하기 수학식 3과 같이 초기화할 수 있다.
- [82] 또한, 복원 장치는 수신 신호를 수신하고, 수신 신호에 대하여 직교 매칭 퍼스킷 기법을 적용하기 위한 초기 인덱스를 복수 개 선택할 수 있다. 여기서, 초기 인덱스는 측정 행렬의 열 벡터들 중에서 초기 벡터로 선택된 벡터들의 인덱스일 수 있다. 복원 장치는 수신 신호와 직교 매칭 퍼스킷 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상관도의 값의 크기에 따라서 복수의 초기 인덱스를 선택할 수 있다.
- [83] 복원 장치는 생성된 인덱스 Λ_l 를 종래의 인덱스 집합과 병합한다.
- [84] 복원 장치는 인덱스 집합 Λ_l 에 포함된 인덱스들의 스펠(span)위로의 정사영(orthogonal projection)인 P_l 를 결정한다. 일측에 따르면, 복원 장치는 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 정사영 P_l 를 결정할 수 있다.

[85] 복원 장치는 결정된 정사영에 기반하여 수신 신호의 근사 행렬(approximation matrix)

$$\mathbf{P}_t^i$$

와 잔여 행렬 $\mathbf{R}_t^i$ 를 업데이트 할 수 있다.

[86]

[87] 단계(420)에서, 복원 장치는 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 병렬적으로 적용하여 초기 인덱스 각각에 대응하는 수신 신호의 근사 행렬(approximation matrix)

$$\mathbf{P}_t^i$$

와 잔여 행렬 $\mathbf{R}_t^i$ 를 업데이트 할 수 있다.

[88]

[89] 일측에 따르면, 단계(425)에서의 복원 장치는 초기 인덱스 및 추가 인덱스들을 포함하는 인덱스 집합들을 서로 비교할 수 있다. 이 경우, 반복에 따라서 인덱스 집합이 일치할 수도 있다.

[90] 일측에 따르면, 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합이 존재하는 경우에, 복원 장치는 단계(420)에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합들 중에서 어느 하나의 집합에 대해서만 반복을 계산하고, 다른 인덱스 집합에 대해서는 반복을 중단하여 무의미한 반복 계산을 피할 수 있다.

[91] 다른 측면에 따르면, t번째 반복과정에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합이 존재하는 경우에, t번째 반복 과정의 복원 장치는 단계(410)에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합의 개수에 비례하여 인덱스를 재선택 할 수 있다. 이 경우, 복원 장치는 단계(420)에서 재선택된 초기 인덱스에 대하여 직교 매칭 퍼스ٹ 기법을 적용하여 인덱스 집합을 생성할 수 있다.

[92]

[93] 단계(430)에서, 복원 장치는 생성된 근사 행렬들에 기반하여 성긴 신호의 복원 신호를 선택한다. 일측에 따르면, 복원 장치는 각 근사 행렬과 수신 신호간의 오차에 따라서 복원 신호를 선택할 수 있다. 복원 장치는 각 근사 행렬과 수신 신호간의 오차를 의미하는 잔여 행렬의 크기가 최소가 되는 인덱스 집합을 통하여 복원된 신호를 성긴 신호의 복원 신호로 선택할 수 있다.

[94]

[95] 실시예에 따른 방법은 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 실시예를 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. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[96]

[97] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[98] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

[99] (부호의 설명)

[100] 110: 수신 신호

[101] 120: 측정 행렬

[102] 130: 성긴 신호

산업상 이용가능성

[103] 상기 실시예들에 따르면, 수신 신호에서 성긴 신호(sparse signal)을 정확히 복원할 수 있다.

[104] 상기 실시예들에 따르면, 적은 계산량으로 성긴 신호를 복원할 수 있다.

청구범위

- [청구항 1] 직교 매칭 퍼스uits(orthogonal matching pursuit) 기법을 이용하여 수신 신호에서 성진 신호를 복원하는 복원 장치에 있어서,
상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 초기 인덱스를 복수 개 선택하는 초기화부;
상기 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법을 병렬적으로 적용하여 상기 초기 인덱스 각각에 대응하는 상기 수신 신호의 근사 행렬들을 생성하는 반복 수행부;
상기 복수의 근사 행렬들에 기반하여 상기 성진 신호의 복원 신호를 선택하는 선택부를 포함하는 복원 장치.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 초기화부는 상기 수신 신호와 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상기 상관도의 값의 크기에 따라서 상기 복수의 초기 인덱스를 선택하는 복원 장치.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 반복 수행부는 상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라 생성된 추가 인덱스들의 스패(span) 위로의 정사영(orthogonal projection)을 결정하고, 상기 결정된 정사영에 기반하여 생성된 상기 수신 신호의 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차를 산출하는 복원 장치.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
상기 반복 수행부는 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 상기 정사영을 산출하는 복원 장치.
- [청구항 5] 제3항에 있어서,
상기 선택부는 상기 각 근사 행렬과 상기 수신 신호간의 오차에 따라서 상기 복원 신호를 선택하는 복원 장치.
- [청구항 6] 제1항에 있어서, 상기 반복 수행부는
상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라 생성되고, 상기 초기 인덱스에 대응되는 추가 인덱스들이 포함된 인덱스 집합들을 서로 비교하고, 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합들 중에서 어느 하나의 집합에 대해서만 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법을 적용하는 복원 장치.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
상기 반복 수행부는 상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라 생성되고, 상기 초기 인덱스에 대응되는

추가 인덱스들이 포함된 인덱스 집합들을 서로 비교하고,
 상기 인덱스 집합들 중에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스
 집합이 존재하는 경우에, 상기 초기화부는 상기 동일한 인덱스를
 포함하는 인덱스 집합의 원소 개수에 따라 상기 초기 인덱스를
 재선택하여 상기 인덱스 집합의 개수를 유지 하고,
 상기 반복 수행부는 재선택된 초기 인덱스에 대하여 상기 직교
 매칭 퍼스uits 기법을 적용하는 복원 장치.

[청구항 8]

직교 매칭 퍼스uits(orthogonal matching pursuit) 기법을 이용하여 수신
 신호에서 성진 신호를 복원하는 복원 방법에 있어서,
 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의 초기 인덱스를 복수 개 선택하는 단계;
 상기 선택된 복수의 초기 인덱스에 대하여 상기 직교 매칭 퍼스uits
 기법을 병렬적으로 적용하여 상기 초기 인덱스 각각에 대응하는
 상기 수신 신호의 근사 행렬들을 생성하는 단계; 및
 상기 복수의 근사 행렬에 기반하여 상기 성진 신호의 복원 신호를
 선택하는 단계
 를 포함하는 복원 방법.

[청구항 9]

제8항에 있어서,
 상기 초기 인덱스를 선택하는 단계는 상기 수신 신호와 상기 직교
 매칭 퍼스uits 기법의 측정 행렬간의 상관도를 산출하고, 상기
 상관도의 값의 크기에 따라서 상기 복수의 초기 인덱스를
 선택하는 복원 방법.

[청구항 10]

제8항에 있어서,
 상기 후보 신호를 생성하는 단계는 상기 초기 인덱스 및 상기 직교
 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라 생성된 추가 인덱스들의
 스패(span) 위로의 정사영(orthogonal projection)을 결정하고, 상기
 결정된 정사영에 기반하여 생성된 상기 수신 신호의 근사 행렬과
 상기 수신 신호간의 오차를 산출하는 복원 방법.

[청구항 11]

제10항에 있어서,
 상기 후보 신호를 생성하는 단계는 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법의
 측정 행렬의 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 상기
 정사영을 산출하는 복원 방법.

[청구항 12]

제8항에 있어서,
 상기 선택하는 단계는 상기 각 근사 행렬과 상기 수신 신호간의
 오차에 따라서 상기 복원 신호를 선택하는 복원 방법.

[청구항 13]

제8항에 있어서, 상기 근사 행렬들을 생성하는 단계는
 상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼스uits 기법이 반복됨에 따라
 생성되고, 상기 초기 인덱스에 대응되는 추가 인덱스들이 포함된
 인덱스 집합들을 서로 비교하고, 동일한 인덱스를 포함하는

인덱스 집합들 중에서 어느 하나의 집합에 대해서만 상기 직교 매칭 퍼숫 기법을 적용하는 복원 장치.

[청구항 14]

제8항에 있어서,

상기 초기 인덱스 및 상기 직교 매칭 퍼숫 기법이 반복됨에 따라 생성되고, 상기 초기 인덱스에 대응되는 추가 인덱스들이 포함된 인덱스 집합들을 서로 비교하는 단계를 더 포함하고,

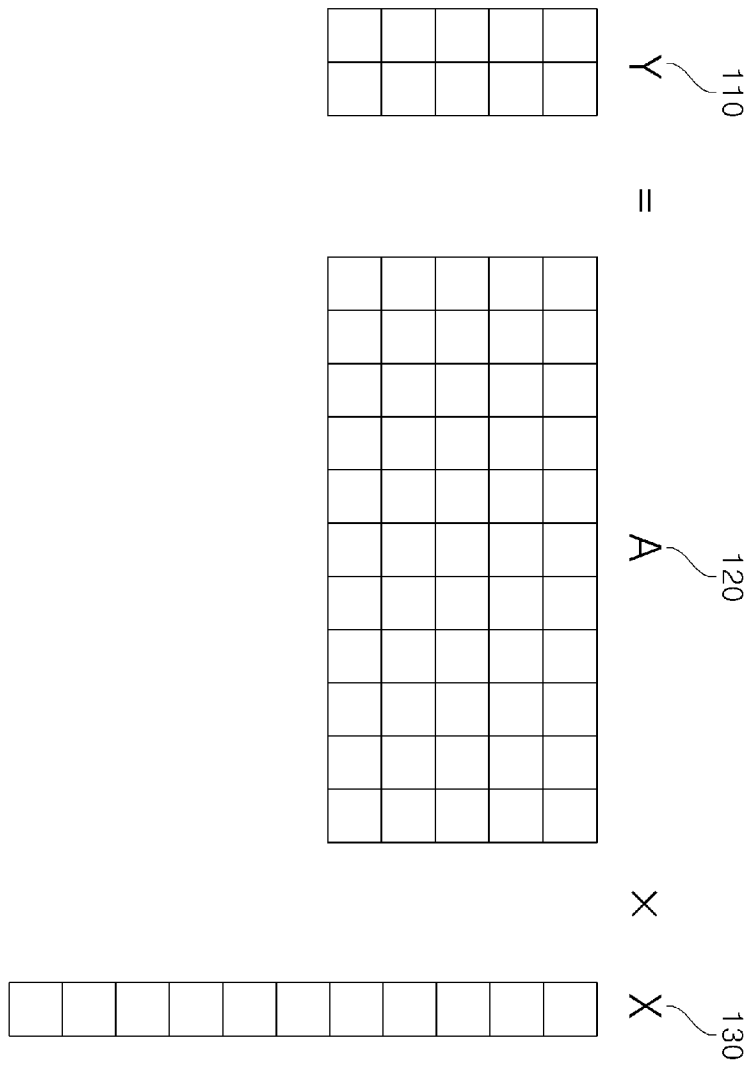
상기 인덱스 집합들 중에서 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합이 존재하는 경우에, 상기 초기 인덱스를 선택하는 단계는 상기 동일한 인덱스를 포함하는 인덱스 집합의 원소 개수에 따라 상기 초기 인덱스를 재선택하여 상기 인덱스 집합의 개수를 유지하고,

상기 근사 행렬들을 생성하는 단계는 재선택된 초기 인덱스에 대하여 상기 직교 매칭 퍼숫 기법을 적용하는 복원 장치.

[청구항 15]

제8항 내지 제14항 중에서 어느 하나의 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

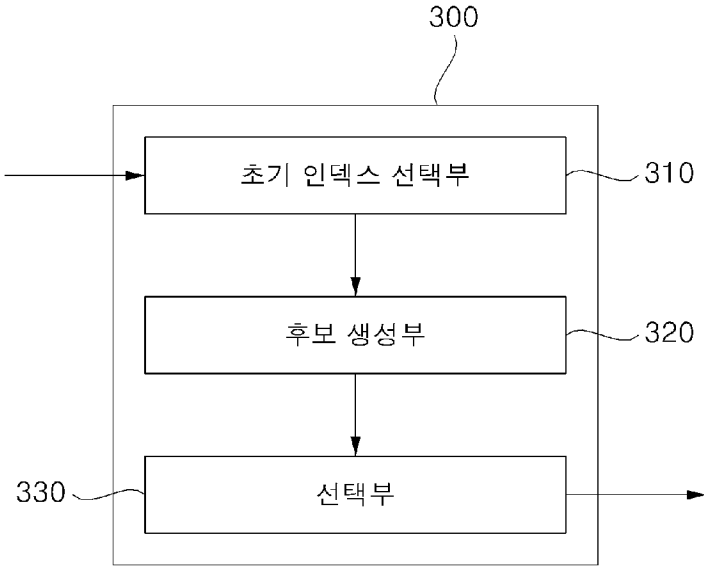
[Fig. 1]



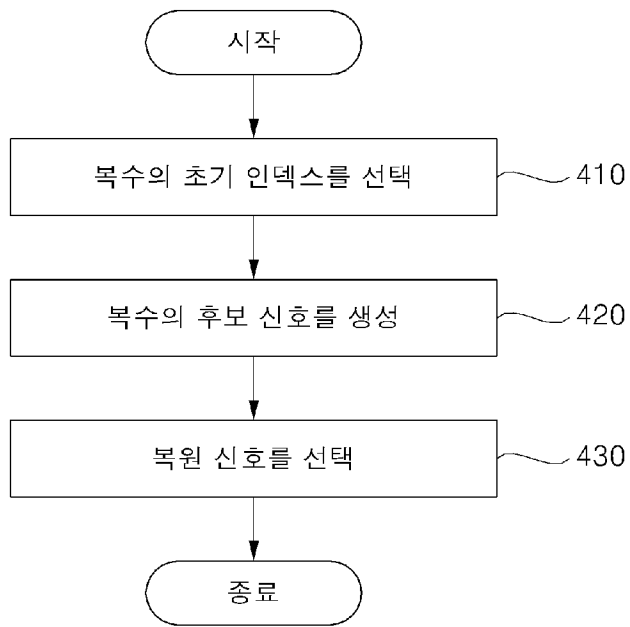
[Fig. 2]

반복	OMP	POMP (M=3)
1	$\wedge_1 = \{ a_6 \}$	$\wedge_1^1 = \{ a_6 \}$, $\wedge_1^2 = \{ a_3 \}$, $\wedge_1^3 = \{ a_8 \}$
2	$\wedge_2 = \{ a_6 , a_2 \}$	$\wedge_2^1 = \{ a_6 , a_2 \}$ $\wedge_2^2 = \{ a_3 , a_4 \}$ $\wedge_2^3 = \{ a_8 , a_7 \}$
3	$\wedge_3 = \{ a_6 , a_2 , a_5 \}$	$\wedge_3^1 = \{ a_6 , a_2 , a_5 \}$ $\wedge_3^2 = \{ a_3 , a_4 , a_{10} \}$ $\wedge_3^3 = \{ a_8 , a_7 , a_1 \}$
4	...	...

[Fig. 3]



[Fig. 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2013/011077

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 27/26(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L 27/26; H03M 7/30; H03M 7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: parallel, orthogonal matching pursuit, sparse signal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1232707 B1 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 13 February 2013 See abstract; figure 2, table 1, pages 4-8.	1-15
A	KR 10-2013-0122779 A (ALCATEL LUCENT) 08 November 2013 See abstract; figure 4, pages 16-19.	1-15
A	E. Liu et al., "The Orthogonal Super Greedy Algorithm and Applications in Compressed Sensing," IEEE Trans. on Information Theory, vol.58, no.4, April 2012. See abstract; sections III-IV.	1-15
A	R. Maieh et al., "Fast Algorithm for Sparse Signal Approximation using Multiple Addictive Dictionaries," SPARS 2007, 20 March 2009. See abstract; section II.	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 AUGUST 2014 (18.08.2014)

Date of mailing of the international search report

18 AUGUST 2014 (18.08.2014)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2013/011077

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1232707 B1	13/02/2013	NONE	
KR 10-2013-0122779 A	08/11/2013	CN 103250352 A	14/08/2013
		EP 2664069 A1	20/11/2013
		JP 2014-505415A	27/02/2014
		US 2013-0289942 A1	31/10/2013
		WO 2012-094804 A1	19/07/2012

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H04L 27/26(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H04L 27/26; H03M 7/30; H03M 7/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 병렬, 직교 매칭 피셋, 성긴 신호

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-1232707 B1 (고려대학교 산학협력단) 2013.02.13 요약, 그림 2, 표1, 페이지 4-8 참조.	1-15
A	KR 10-2013-0122779 A (알까텔 루슨트) 2013.11.08 요약, 그림 4, 페이지 16-19 참조.	1-15
A	E. Liu et al., "The Orthogonal Super Greedy Algorithm and Applications in Compressed Sensing," IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 58, No. 4, April 2012. 요약, 섹션 III-IV 참조.	1-15
A	R. Maleh et al., "Fast Algorithm for Sparse Signal Approximation using Multiple Addictive Dictionaries," SPARS 2007, 20 Mar 2009. 요약, 섹션 II 참조.	1-15

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2014년 08월 18일 (18.08.2014)

국제조사보고서 발송일

2014년 08월 18일 (18.08.2014)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

 대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관

권성락

전화번호 +82-42-481-5803



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1232707 B1	2013/02/13	없음	
KR 10-2013-0122779 A	2013/11/08	CN 103250352 A	2013/08/14
		EP 2664069 A1	2013/11/20
		JP 2014-505415A	2014/02/27
		US 2013-0289942 A1	2013/10/31
		WO 2012-094804 A1	2012/07/19