



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월08일  
(11) 등록번호 10-2225025  
(24) 등록일자 2021년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01S 3/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01S 3/143 (2013.01)

G01S 3/146 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2020-0025822

(22) 출원일자 2020년03월02일

심사청구일자 2020년03월02일

(56) 선행기술조사문헌

JP2017138260 A

JP2014119343 A

KR1020180119412 A

KR102075468 B1

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

서지원

인천광역시 연수구 송도과학로 85, 510동 201호(송도동)

박관식

인천광역시 연수구 용담로 3, 101동 106호(청학동, 시대아파트)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 14 항

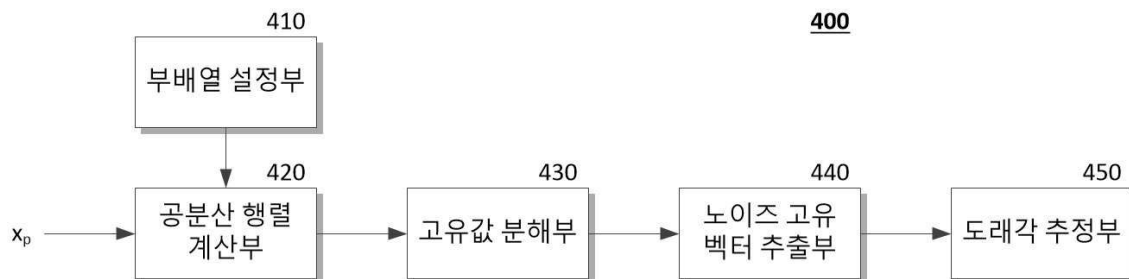
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 비정렬된 배열안테나의 코히어런트 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 안테나 소자가 불규칙적인 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각각 기지정된 개수의 안테나 소자를 포함하는 다수의 부배열 안테나를 설정하는 부배열 설정부, 다수의 부배열 안테나 각각의 수신 신호에 대한 평균 공분산 행렬을 계산하는 공분산 행렬 계산부, 평균 공분산 행렬을 고유값 분해하여 고유 벡터 행렬을 획득하는 고유값 분해부, 고유 벡터 행렬에서 기지정된 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬을 획득하는 노이즈 고유 벡터 추출부 및 다수의 부배열 안테나 각각에서 입사 신호의 도래각에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터를 계산하고, 조향 벡터와 노이즈 고유 벡터 행렬 사이의 직교성에 기반하여 도래각을 추정하는 도래각 추정부를 포함하여 코히어런트 입사 신호의 도래각을 정확하게 추정할 수 있는 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	IITP-2017-2019-0-01015
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기술진흥센터(NIPA산하)
연구사업명	정보통신기술인력양성사업
연구과제명	[IT명품인재양성사업] 정부출연금 (4단계3차년도)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31
공지예외적용	: 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

다수의 안테나 소자가 불규칙적인 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각각 기지정된 개수의 안테나 소자를 포함하는 다수의 부배열 안테나를 설정하는 부배열 설정부;

상기 다수의 부배열 안테나 각각의 수신 신호에 대한 평균 공분산 행렬을 계산하는 공분산 행렬 계산부;

상기 평균 공분산 행렬을 고유값 분해하여 고유 벡터 행렬을 획득하는 고유값 분해부;

상기 고유 벡터 행렬에서 기지정된 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬을 획득하는 노이즈 고유 벡터 추출부; 및

상기 다수의 부배열 안테나 각각에서 입사 신호의 도래각에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터를 계산하고, 상기 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬 사이의 직교성에 기반하여 도래각을 추정하는 도래각 추정부를 포함하는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 부배열 설정부는

상기 비정렬 배열 안테나의 다수의 안테나 소자를 기지정된 개수 단위로 슬라이딩하면서 서로 중첩되는 형태로 공간적 평활화하여 다수의 부배열 안테나를 설정하는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 공분산 행렬 계산부는

다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬을 입사신호 벡터와 입사 신호 벡터의 에르미트 행렬의 곱의 평균으로 계산하고, 다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬의 평균을 계산하여 상기 평균 공분산 행렬을 획득하는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 도래각 추정부는

신호를 방사하는 소스별 입사 신호에 대한 각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta_m)$ )의 에르미트 행렬  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 을 수학식

$$\mathbf{a}_p^H(\theta_m) = [F(\delta_p, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_p(\theta_m)] \quad \cdots \quad F(\delta_{p+L-1}, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_{p+L-1}(\theta_m)]]$$

(여기서  $F(\delta_p, \theta_m) = \mathbf{G}_p(\theta_m) \cdot \hat{\mathbf{E}}_m^*$  이고,  $\mathbf{G}_p(\theta_m)$  은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 도래각( $\theta_m$ )에 대한 p번째 안테나 소자(Antenna p)의 편파 및 이득이 반영된 복소 방사 함수(complex radiation function)를 나타내며,  $\hat{\mathbf{E}}_m$  은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 단위 전기장 벡터를 나타낸다. 그리고  $\Delta\tau_p(\theta_m)$ 는 비정렬 배열 안테나의 p번째 안테나 소자에 m번째 소스로부터 수신된 입사 신호의 위상차를 나타낸다.)

에 따라 계산하는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 5

제4 항에 있어서, 상기 도래각 추정부는

계산된 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬을 기반으로 미리 정의된 공간 스펙트럼 함수에 각도를 가변하면서 대입하여 공간 스펙트럼을 생성하고, 생성된 공간 스펙트럼에서 피크값을 검출하여

피크값에 대응하는 각도를 도래각으로 추정하는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 6

제5 항에 있어서, 상기 공간 스펙트럼 함수는 수학적식

$$Q(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}_p^H(\theta) \tilde{\mathbf{U}}_\eta \tilde{\mathbf{U}}_\eta^H \mathbf{a}_p(\theta)}$$

(여기서  $\mathbf{a}_p(\theta)$ 와  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 는 각각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 이의 에르미트 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ 와  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H$ 는 각 노이즈 고유 벡터 행렬과 이의 에르미트 행렬이다.)

으로 정의되는 도래각 추정 장치.

#### 청구항 7

제1 항에 있어서, 상기 입사 신호는 코히어런트 신호인 도래각 추정 장치.

#### 청구항 8

다수의 안테나 소자가 불규칙적인 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각각 기지정된 개수의 안테나 소자를 포함하는 다수의 부배열 안테나를 설정하는 단계;

상기 다수의 부배열 안테나 각각의 수신 신호에 대한 평균 공분산 행렬을 계산하는 단계;

상기 평균 공분산 행렬을 고유값 분해하여 고유 벡터 행렬을 획득하는 단계;

상기 고유 벡터 행렬에서 기지정된 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬을 획득하는 단계;

상기 다수의 부배열 안테나 각각에서 입사 신호의 도래각에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터를 계산하는 단계; 및

상기 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬 사이의 직교성에 기반하여 도래각을 추정하는 단계를 포함하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 9

제8 항에 있어서, 상기 다수의 부배열 안테나를 설정하는 단계는

상기 비정렬 배열 안테나의 다수의 안테나 소자를 기지정된 개수 단위로 슬라이딩하면서 서로 중첩되는 형태로 공간적 평활화하여 다수의 부배열 안테나를 설정하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 10

제8 항에 있어서, 상기 평균 공분산 행렬을 계산하는 단계는

다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬을 입사신호 벡터와 입사 신호 벡터의 에르미트 행렬의 곱의 평균으로 계산하는 단계; 및

다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬의 평균을 계산하여 상기 평균 공분산 행렬을 획득하는 단계를 포함하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 11

제8 항에 있어서, 상기 조향 벡터를 계산하는 단계는

신호를 방사하는 소스별 입사 신호에 대한 각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta_m)$ )의 에르미트 행렬  $\mathbf{a}_p^H(\theta$

$\mathbf{a}_p(\theta_m)$ 을 수학식

$$\mathbf{a}_p^H(\theta_m) = [F(\delta_p, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_p(\theta_m)] \cdots F(\delta_{p+L-1}, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_{p+L-1}(\theta_m)]]$$

(여기서  $F(\delta_p, \theta_m) = \mathbf{G}_p(\theta_m) \cdot \hat{\mathbf{E}}_m^*$  이고,  $\mathbf{G}_p(\theta_m)$  은  $m$ 번째 소스로부터의 입사 신호의 도래각( $\theta_m$ )에 대한  $p$ 번째 안테나 소자(Antenna  $p$ )의 편파 및 이득이 반영된 복소 방사 함수(complex radiation function)를 나타내며,  $\hat{\mathbf{E}}_m$  은  $m$ 번째 소스로부터의 입사 신호의 단위 전기장 벡터를 나타낸다. 그리고  $\Delta\tau_p(\theta_m)$ 는 비정렬 배열 안테나의  $p$ 번째 안테나 소자에  $m$ 번째 소스로부터 수신된 입사 신호의 위상차를 나타낸다.)

에 따라 계산하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 12

제11 항에 있어서, 상기 도래각을 추정하는 단계는

계산된 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬을 기반으로 공간 스펙트럼을 생성하는 단계;

생성된 공간 스펙트럼에서 피크값을 검출하는 단계; 및

피크값에 대응하는 각도를 도래각으로 추정하는 단계를 포함하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 13

제12 항에 있어서, 상기 공간 스펙트럼을 생성하는 단계는

수학식

$$Q(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}_p^H(\theta) \tilde{\mathbf{U}}_\eta \tilde{\mathbf{U}}_\eta^H \mathbf{a}_p(\theta)}$$

(여기서  $\mathbf{a}_p(\theta)$ 와  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 는 각각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 이의 에르미트 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ 와  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H$ 는 각각 노이즈 고유 벡터 행렬과 이의 에르미트 행렬이다.)

으로 정의된 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )에 각도( $\theta$ )를 가변하면서 대입하여 상기 공간 스펙트럼을 생성하는 도래각 추정 방법.

#### 청구항 14

제8 항에 있어서, 상기 입사 신호는

코히어런트 신호인 도래각 추정 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법에 관한 것으로, 비정렬된 배열안테나의 코히어런트 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로 배열 안테나는 다수의 안테나가 동일한 지향 방향으로 정렬되어 있다. 배열 안테나는 빔 조향 및 공간 자원의 활용을 위해 사용되는데, 드론 및 로봇과 같은 소형 장치의 경우, 부피 및 면적 등의 제약으로 인해 배열 안테나를 지지하는 지지체가 평판 구조가 아닌 경우가 빈번하고, 이로 인해 배열을 형성하는 각 안테나의 지향각이 서로 다른 경우가 있다.

[0003] 기존의 도래각 추정 방법은 안테나의 지향각이 동일한 경우를 가정하였으나, 이와 같이 안테나의 지향각이 다양

한 상태에서는 기존의 도래각 추정 방법을 적용할 수 없는 문제가 있었다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-12745540000호 (2013.06.07 등록)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 다수의 안테나 소자가 서로 다른 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열안테나에서 코히어런트 입사 신호의 도래각을 추정할 수 있는 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 각 안테나 소자의 정렬 방향, 각 소자의 이득 패턴 및 안테나 신호 편파를 고려함으로써, 비정렬 배열 안테나에서의 보다 정확한 도래각 추정이 가능한 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 입사 신호 도래각 추정 장치는 다수의 안테나 소자가 불규칙적인 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각각 기지정된 개수의 안테나 소자를 포함하는 다수의 부배열 안테나를 설정하는 부배열 설정부; 상기 다수의 부배열 안테나 각각의 수신 신호에 대한 평균 공분산 행렬을 계산하는 공분산 행렬 계산부; 상기 평균 공분산 행렬을 고유값 분해하여 고유 벡터 행렬을 획득하는 고유값 분해부; 상기 고유 벡터 행렬에서 기지정된 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬을 획득하는 노이즈 고유 벡터 추출부; 및 상기 다수의 부배열 안테나 각각에서 입사 신호의 도래각에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터를 계산하고, 상기 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬 사이의 직교성에 기반하여 도래각을 추정하는 도래각 추정부를 포함한다.

[0008] 상기 부배열 설정부는 상기 비정렬 배열 안테나의 다수의 안테나 소자를 기지정된 개수 단위로 슬라이딩하면서 서로 중첩되는 형태로 공간적 평활화하여 다수의 부배열 안테나를 설정할 수 있다.

[0009] 상기 공분산 행렬 계산부는 다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬을 입사신호 벡터와 입사 신호 벡터의 에르미트 행렬의 곱의 평균으로 계산하고, 다수의 부배열 안테나 각각에 대한 입사 신호의 공분산 행렬의 평균을 계산하여 상기 평균 공분산 행렬을 획득할 수 있다.

[0010] 상기 도래각 추정부는 신호를 방사하는 소스별 입사 신호에 대한 각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta_m)$ )의 에르미트 행렬  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 을 수학식

$$\mathbf{a}_p^H(\theta_m) = [F(\delta_p, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_p(\theta_m)] \quad \cdots \quad F(\delta_{p+L-1}, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_{p+L-1}(\theta_m)]]$$

[0012] (여기서  $F(\delta_p, \theta_m) = \mathbf{G}_p(\theta_m) \cdot \hat{\mathbf{E}}_m^*$  이고,  $\mathbf{G}_p(\theta_m)$  은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 도래각( $\theta_m$ )에 대한 p번째 안테나 소자(Antenna p)의 편파 및 이득이 반영된 복소 방사 함수(complex radiation function)를 나타내며,  $\hat{\mathbf{E}}_m$  은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 단위 전기장 벡터를 나타낸다. 그리고  $\Delta\tau_p(\theta_m)$ 는 비정렬 배열 안테나의 p번째 안테나 소자에 m번째 소스로부터 수신된 입사 신호의 위상차를 나타낸다.)에 따라 계산할 수 있다.

[0013] 상기 도래각 추정부는 계산된 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬을 기반으로 미리 정의된 공간 스펙트럼 함수에 각도를 가변하면서 대입하여 공간 스펙트럼을 생성하고, 생성된 공간 스펙트럼에서 피크값을 검출하여 피크값에 대응하는 각도를 도래각으로 추정할 수 있다.

[0014] 상기 공간 스펙트럼 함수는 수학식

$$Q(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}_p^H(\theta) \tilde{\mathbf{U}}_\eta \tilde{\mathbf{U}}_\eta^H \mathbf{a}_p(\theta)}$$

[0015]

[0016] (여기서  $\mathbf{a}_p(\theta)$ 와  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 는 각각 부배열 안테나에 대한 조향 벡터와 이의 에르미트 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ 와  $\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H$ 는 각각 노이즈 고유 벡터 행렬과 이의 에르미트 행렬이다.)으로 정의될 수 있다.

[0017]

[0018] 상기 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 입사 신호 도래각 추정 방법은 다수의 안테나 소자가 불규칙적인 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각각 기지정된 개수의 안테나 소자를 포함하는 다수의 부배열 안테나를 설정하는 단계; 상기 다수의 부배열 안테나 각각의 수신 신호에 대한 평균 공분산 행렬을 계산하는 단계; 상기 평균 공분산 행렬을 고유값 분해하여 고유 벡터 행렬을 획득하는 단계; 상기 고유 벡터 행렬에서 기지정된 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬을 획득하는 단계; 상기 다수의 부배열 안테나 각각에서 입사 신호의 도래각에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터를 계산하는 단계; 및 상기 조향 벡터와 상기 노이즈 고유 벡터 행렬 사이의 직교성에 기반하여 도래각을 추정하는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

[0019]

따라서, 본 발명의 실시예에 따른 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법은 각 안테나 소자가 각기 다른 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각 안테나 소자의 정렬 방향, 각 안테나 소자의 이득 패턴 및 안테나 신호 편파를 고려하여 코히어런트 입사 신호의 도래각을 정확하게 추정할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0020]

도 1은 비정렬 배열 안테나와 비정렬 배열 안테나에 입사되는 신호의 도래각을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 2는 비정렬 배열 안테나를 포함하는 수신기의 개략적 구조를 나타낸다.  
 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 도래각 추정 장치의 개략적 구조를 나타낸다.  
 도 4는 비정렬 배열 안테나의 다수의 안테나 소자를 기지정된 개수의 부배열안테나로 분류하는 개념을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 도래각 추정 방법을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021]

본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0022]

이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0023]

명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0024]

도 1은 비정렬 배열 안테나와 비정렬 배열 안테나에 입사되는 신호의 도래각을 설명하기 위한 도면이다.

[0025]

도 1에서는 일 예로 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)가 불규칙적으로 배치된 비정렬 배열 안테나를 도시하였다.

[0026]

다수의 안테나 소자가 규칙적으로 배열된 정렬 배열 안테나의 경우, 동일한 소스에서 입사된 신호의 도래각

(Direction of Arrival)은 모든 안테나 소자에서 동일하므로, 입사 신호의 도래각을 추정하기 용이하다. 그러나 도 1과 같이 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)가 정렬되지 않고 불규칙적으로 배치되는 경우, 각 안테나 소자의 지향 방향이 불규칙적이므로, 동일한 소스에서 신호가 입사되더라도 각 안테나 소자에 입사되는 신호의 도래각은 서로 상이하게 된다. 따라서 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N) 각각에 대한 개별 도래각을 추정하지 않고 도 1에 도시된 바와 같이, z 축을 기준으로 도래각을 추정할 수 있으며, N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N) 각각에 대한 개별 도래각은 z 축을 기준으로 추정된 도래각에 하는 z 축과 각 안테나 소자의 정렬각을 고려하여 추정할 수 있다.

[0027] 도 1에서는  $\Theta_m$  은 M개의 소스 중  $m(1 \leq m \leq M)$ 번째 소스에서 전송된 입사 신호의 도래각을 의미하며,  $\hat{e}_m$  은 m번째 소스 전송된 입사 신호의 도래각에 대한 단위 방향 벡터를 나타내며,  $\delta_n$  는 N 개의 안테나 소자 중  $n(1 \leq n \leq N)$ 번째 안테나가 z 축과 이루는 정렬각을 나타낸다. 그리고  $P_n$  은 좌표계의 원점(0)에 대한 n번째 안테나 소자의 위치 벡터를 나타낸다.

[0028] 도 2는 비정렬 배열 안테나를 포함하는 수신기의 개략적 구조를 나타낸다.

[0029] 도 2를 참조하면, 수신기는 신호 수신부(100), 신호 변환부(200), 신호 저장부(300) 및 신호 처리부(400)를 포함할 수 있다.

[0030] 신호 수신부(100)는 도 1에 도시된 바와 같이 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)가 불규칙적으로 배치된 비정렬 배열 안테나를 구비하여 입사 신호를 수신한다. 신호 변환부(200)는 신호 수신부(100)로부터 입사 신호를 인가받아 RF-체인 등을 이용하여 기지정된 방식으로 디지털 신호로 변환한다. 그리고 신호 저장부(300)는 변환된 디지털 신호를 저장하며, 신호 처리부(400)는 디지털 신호로 변환된 입사 신호로부터 전송된 데이터를 복원한다.

[0031] 여기서 신호 처리부(400)가 다수의 안테나 소자가 불규칙적으로 배치된 비정렬 배열 안테나로 입사된 입사 신호의 도래각을 추정할 수 있다면, 추정된 도래각을 기반으로 비정렬 배열 안테나의 빔 조향 방향 등을 제어할 수 있다. 즉 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

[0032] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 도래각 추정 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 4는 비정렬 배열 안테나의 다수의 안테나 소자를 기지정된 개수의 부배열 안테나로 분류하는 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0033] 도 3의 도래각 추정 장치는 도 2의 신호 처리부(400)에 포함되어 구성될 수 있으며, 부배열 설정부(410), 공분산 행렬 계산부(420), 고유값 분해부(430), 노이즈 고유 벡터 추출부(440) 및 도래각 추정부(450)를 포함할 수 있다.

[0034] 부배열 설정부(410)는 미리 저장된 비정렬 배열 안테나의 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N) 각각의 배치 위치에 따른 위치 벡터( $P_n$ )와 정렬각( $\delta_n$ )에 대한 정보를 기반으로 도 4에 도시된 바와 같이, N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)를 L개 단위로 슬라이딩하면서 서로 중첩되는 형태로 공간적 평활화(spatial-smoothing)하여 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)를 설정할 수 있다. 즉 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)는 L개의 안테나 소자로 구성된다.

[0035] N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)를 구비하는 배열 안테나에서 L개 단위로 중첩하여 안테나 소자를 선택하여 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)를 설정하므로, 전체 안테나 소자 개수와 부배열 안테나 개수 사이의 관계는  $P = N - L + 1$  이 된다. 그리고 효과적인 도래각 추정을 수행할 수 있도록 입사 신호를 전송하는 전체 소스의 개수(M)와 전체 안테나 소자 개수(N), 부배열 안테나 개수(P) 및 부배열 안테나에 포함되는 안테나 소자 개수(L) 사이의 관계는 각각  $P \geq M$ ,  $L \geq M + 1$ ,  $N \geq 2M$ 을 만족하는 것으로 가정한다.

[0036] 공분산 행렬 계산부(420)는 부배열 설정부(410)에 의해 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)가 설정되면, 수신 신호(X)에서 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P) 각각의 수신 신호( $x_1 \sim x_P$ )의 공분산 행렬( $R_1 \sim R_P$ )을 계산하고, 계산된 공분산 행렬( $R_1 \sim R_P$ )의 평균을 계산하여 평균 공분산 행렬( $\tilde{R}$ )을 획득한다.

[0037] 공분산 행렬 계산부(420)는 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P) 각각에 대한 수신 신호의 공분산 행렬( $R_1 \sim R_P$ )을 수학적 식 1에 따라 계산할 수 있다.



## 수학식 1

$$\mathbf{R}_p = E\{\mathbf{x}_p[k]\mathbf{x}_p^H[k]\}$$

여기서  $\mathbf{x}_p[k]$  는  $p$  번째 부배열 안테나의  $k$ 번째 입사 신호 벡터를 나타내고,  $\mathbf{x}_p^H[k]$  는  $\mathbf{x}_p[k]$ 의 에르미트 행렬(Hermitian matrix)을 나타내며,  $E\{\}$ 는 평균 연산자를 나타낸다.

수학식 1에 따라  $P$ 개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray  $P$ ) 각각의 수신 신호에 대한 공분산 행렬( $\mathbf{R}_1 \sim \mathbf{R}_P$ )이 계산되면, 수학식 2와 같이 계산된  $P$  개의 공분산 행렬( $\mathbf{R}_1 \sim \mathbf{R}_P$ )의 평균을 계산하여 평균 공분산 행렬( $\tilde{\mathbf{R}}$ )을 획득한다.

## 수학식 2

$$\tilde{\mathbf{R}} = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \mathbf{R}_p$$

고유값 분해부(430)는 공분산 행렬 계산부(420)에서 획득된 평균 공분산 행렬( $\tilde{\mathbf{R}}$ )에 대해 수학식 3과 같이 고유값 분해를 수행한다.

## 수학식 3

$$\tilde{\mathbf{R}} = \tilde{\mathbf{U}}\tilde{\mathbf{\Lambda}}\tilde{\mathbf{U}}^H$$

여기서  $\tilde{\mathbf{U}}$ 는 평균 공분산 행렬( $\tilde{\mathbf{R}}$ )의 고유 벡터들을 열 벡터로 갖는 고유벡터 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{U}}^H$ 는 고유벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}$ )의 에르미트 행렬이며,  $\tilde{\mathbf{\Lambda}}$ 는 고유값들을 주대각선 원소로 갖는 고유값 행렬이다.

노이즈 고유 벡터 추출부(440)는 평균 공분산 행렬( $\tilde{\mathbf{R}}$ )의 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}$ ) 중 노이즈에 해당하는 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )을 추출한다.

노이즈보다 강한 신호 세기를 가진 총  $M$ 개의 신호가 배열 안테나에 입사하는 상황에서 평균 공분산 행렬( $\tilde{\mathbf{R}}$ )에 대한 고유값 분해를 수행하면, 전체 고유값들 중에서  $M$ 개의 고유값들은, 신호가 존재하지 않고 노이즈만 존재할 때의 고유값들이 존재했던 문턱값(threshod)을 초과한다. 즉 전체 고유값들 중에서 신호에 대한  $M$ 개의 고유값을 제외한 나머지 노이즈에 대한 고유값은 문턱값 이하로 나타난다. 따라서 노이즈 고유 벡터 추출부(440)는 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}$ )에서 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )을 획득할 수 있다.

도래각 추정부(450)는 노이즈 고유 벡터 추출부(440)에서 추출된 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )을 기반으로  $P$ 개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray  $P$ ) 각각의 입사 신호에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta)$ )를 획득하고, 획득된 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta)$ )와 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )을 이용하여 도래각( $\theta$ )을 추정한다.

[0048] 고유값 분해의 개념에 따라 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}$ )의 모든 고유 벡터는 서로 직교한다. 따라서 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )은 비정렬 배열 안테나의 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P) 각각의 입사 신호에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta)$ )와 직교한다. 그러므로 각 부배열 안테나의 입사 신호에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p$ )와 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ ) 사이 관계는 수학적 식 4로 표현될 수 있다.

#### 수학적 식 4

$$\mathbf{a}_p^H(\theta_m)\tilde{\mathbf{U}}_\eta = \mathbf{0}$$

[0049] 여기서  $\mathbf{a}_p^H(\theta_m)$ 은 p번째 부배열 안테나(Subarray p)에서의 m번째 소스에서 입사 신호에 대한 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta_m)$ )의 에르미트 행렬로 수학적 식 5에 따라 계산될 수 있다.

#### 수학적 식 5

$$\mathbf{a}_p^H(\theta_m) = [F(\delta_p, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_p(\theta_m)] \quad \cdots \quad F(\delta_{p+L-1}, \theta_m) \exp[j\Delta\tau_{p+L-1}(\theta_m)]]$$

[0052] 여기서  $F(\delta_p, \theta_m) = \mathbf{G}_p(\theta_m) \cdot \hat{\mathbf{E}}_m^*$ 이고,  $\mathbf{G}_p(\theta_m)$ 은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 도래각( $\theta_m$ )에 대한 p번째 안테나 소자(Antenna p)의 편파 및 이득이 반영된 복소 방사 함수(complex radiation function)를 나타내며,  $\hat{\mathbf{E}}_m$ 은 m번째 소스로부터의 입사 신호의 단위 전기장 벡터를 나타낸다. 그리고  $\Delta\tau_p(\theta_m)$ 는 p번째 안테나 소자(Antenna p)에 m번째 소스로부터 수신된 입사 신호의 원점(0)에 대한 위상차를 나타낸다.

[0053] 도래각 추정부(450)는 코히어런트 입사 신호에 대한 비정렬 배열 안테나의 도래각( $\theta$ )을 추정하기 위해 수학적 식 6의 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )를 정의하고, 수학적 식 6으로 정의된 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )에서 피크를 나타내는 각도를 검출하여 도래각( $\theta$ )으로 추정한다.

#### 수학적 식 6

$$Q(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}_p^H(\theta)\tilde{\mathbf{U}}_\eta\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H\mathbf{a}_p(\theta)}$$

[0055] 수학적 식 6의 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )에서 입사 신호의 도래각( $\theta$ )이 대입되는 경우, p번째 부배열 안테나(Subarray p)의 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta)$ )의 에르미트 행렬( $\mathbf{a}_p^H(\theta)$ )과 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )의 곱( $\mathbf{a}_p^H(\theta)\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )은 수학적 식 4에서 설명한 바와 같이 0이 되어야 하고, 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta$ )의 에르미트 행렬( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H$ )과 조향 벡터( $\mathbf{a}_p(\theta)$ )의 곱( $\tilde{\mathbf{U}}_\eta^H\mathbf{a}_p(\theta)$ ) 또한 0이 되어야 한다.

[0056] 즉 올바른 입사 신호의 도래각( $\theta$ )이 대입되는 경우, 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )는 무한대의 값을 갖게 되어 피크 형태로 나타나게 된다. 그러므로 도래각 추정부(450)는 수학적 식 6에서 피크를 나타내는 각도를 검출하여 도래각( $\theta$ )으로 추정할 수 있다.

[0057] 상기한 도래각 추정 장치의 각 구성 요소는 하드웨어 모듈로 구현될 수 있으나 소프트웨어 모듈로 구현될 수도 있다.

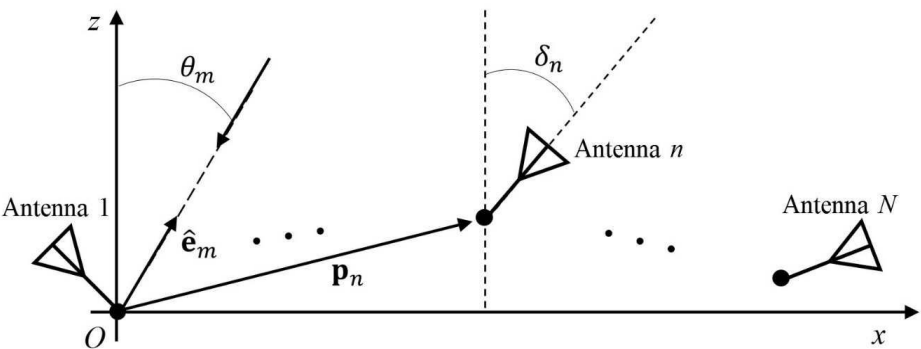
- [0058] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 도래각 추정 방법을 나타낸다.
- [0059] 도 1 내지 도 4를 참조하여 도 5의 도래각 추정 방법을 설명하면, 먼저 미리 저장된 비정렬 배열 안테나의 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N) 각각의 배치 위치에 따른 위치 벡터( $P_n$ )와 정렬각( $\delta_n$ )에 대한 정보를 기반으로 P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)를 설정한다(S10). 이때, P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)는 N개의 안테나 소자(Antenna 1 ~ Antenna N)를 L개 단위로 슬라이딩하면서 서로 중첩되는 형태로 설정될 수 있다.
- [0060] P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P)가 설정되면, P개의 부배열 안테나(Subarray 1 ~ Subarray P) 각각의 입사 신호( $x_1 \sim x_P$ )의 공분산 행렬( $R_1 \sim R_P$ )을 계산하고, 계산된 공분산 행렬( $R_1 \sim R_P$ )의 평균을 계산하여 평균 공분산 행렬( $\tilde{R}$ )을 획득한다(S20).
- [0061] 평균 공분산 행렬( $\tilde{R}$ )이 획득되면, 평균 공분산 행렬( $\tilde{R}$ )에 대해 고유값 분해를 수행하여 고유 벡터 행렬( $\tilde{U}$ )을 획득한다(S30). 그리고 고유 벡터 행렬( $\tilde{U}$ )에서 문턱값 이하의 값을 갖는 고유값에 대응하는 고유 벡터를 추출하여 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{U}_\eta$ )을 획득한다(S40).
- [0062] 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{U}_\eta$ )이 획득되면, 각 부배열 안테나에서 입사 신호의 도래각( $\theta$ )에 따른 편파 및 이득이 반영된 조향 벡터( $a_p(\theta)$ )와 노이즈 고유 벡터 행렬( $\tilde{U}_\eta$ ) 사이의 직교성에 기반하여 미리 정의된 공간 스펙트럼 함수( $Q(\theta)$ )에 도래각( $\theta$ )을 가변하면서 대입하여 공간 스펙트럼을 생성한다(S50).
- [0063] 그리고 생성된 공간 스펙트럼의 피크를 검출하고, 검출된 피크에 대응하는 도래각( $\theta$ )을 확인하여 코히어런트 입사 신호의 도래각( $\theta$ )으로 추정한다(S60).
- [0064] 결과적으로 본 실시예에 따른 입사 신호 도래각 추정 장치 및 방법은 각 안테나 소자가 각기 다른 방향으로 배치되어 있는 비정렬 배열 안테나에서 각 안테나 소자의 정렬 방향, 각 안테나 소자의 이득 패턴 및 안테나 신호 편파를 고려하여 코히어런트 입사 신호의 도래각을 정확하게 추정할 수 있다.
- [0065] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0066] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0067] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## 부호의 설명

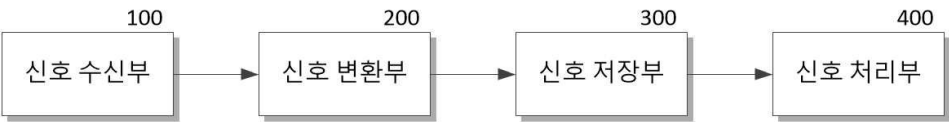
- [0068]
- |              |                    |
|--------------|--------------------|
| 100: 신호 수신부  | 200: 신호 변환부        |
| 300: 신호 저장부  | 400: 신호 처리부        |
| 410: 부배열 설정부 | 420: 공분산 행렬 계산부    |
| 430: 고유값 분해부 | 440: 노이즈 고유 벡터 추출부 |
| 450: 도래각 추정부 |                    |

도면

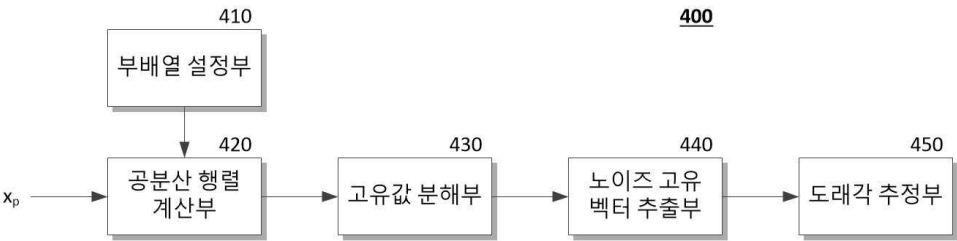
도면1



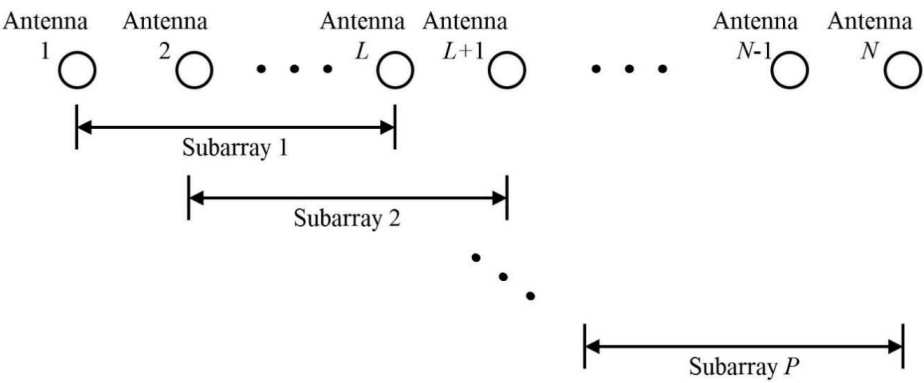
도면2



도면3



도면4



도면5

