



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0119412
(43) 공개일자 2018년11월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 3/04 (2006.01) G06F 17/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 3/04 (2013.01)
G06F 17/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0053156
(22) 출원일자 2017년04월25일
심사청구일자 2017년04월25일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
김영록
서울특별시 마포구 월드컵북로 47 길 37 102동 602호(상암동, 카이저팰리스클래식)
김대현
경기도 수원시 팔달구 창룡대로 194 주공4단지아파트 401동 909호
(74) 대리인
장원수

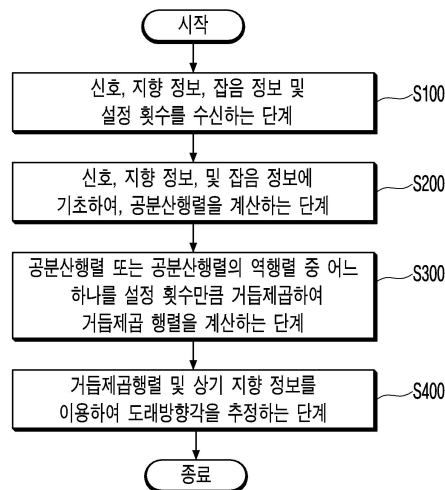
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정시스템

(57) 요약

행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 배열 안테나들로 입사된 신호, 지향 정보, 및 잡음 정보에 기초하여, 공분산행렬을 계산하는 단계, 상기 공분산행렬 또는 상기 공분산행렬의 역행렬 중 어느 하나를 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬을 계산하는 단계, 및 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017K000348

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 연구성과활용진흥원

연구사업명 공공연구성과기술사업화지원

연구과제명 밀리미터파 환경에서 P2MP 전송에 적합한 원형 안테나 어레이 시스템 개발

기 여 율 1/2

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2017.04.03 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10051134

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업핵심기술개발사업

연구과제명 Euro NCAP AEB 대응을 위한 중거리(150m 이상) 레이더 개발

기 여 율 1/2

주관기관 한컴MDS

연구기간 2016.12.01 ~ 2017.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

배열 안테나들로 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 방법에 있어서,
 상기 입사된 신호, 지향 정보, 및 잡음 정보에 기초하여, 공분산행렬을 계산하는 단계;
 상기 공분산행렬 또는 상기 공분산행렬의 역행렬 중 어느 하나를 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬을 계산하는 단계; 및
 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 단계를 포함하는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,
 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,
 상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KE,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,
 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,
 상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KE,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며,
 상기 배열 안테나들의 수는 상기 신호원의 수보다 큰, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고,
 상기 잡음 정보는 상기 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며,
 상기 설정 횟수는 상기 도래방향각을 추정하는 단계에서 이용하기 위해 미리 정해진 값인, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법.

청구항 6

배열 안테나들로 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 장치에 있어서,

상기 입사된 신호, 지향 정보, 및 잡음 정보에 기초하여, 공분산행렬 을 계산하는 공분산행렬 계산기;

상기 공분산행렬 또는 상기 공분산행렬의 역행렬 중 어느 하나를 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬을 계산하는 거듭제곱행렬 계산기; 및

상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하기 위한 출력 전력을 계산하는 도래방향각 추정기를 포함하는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,

상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,

상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KB,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,

상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,

상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치.

청구항 9

제6항에 있어서, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며,

상기 배열 안테나들의 수는 상기 신호원의 수보다 큰, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고,

상기 잡음 정보는 상기 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며,

상기 설정 횟수는 상기 출력 전력을 계산하기 위해 미리 정해진 값인, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치.

청구항 11

배열 안테나들로 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 시스템에 있어서,

외부에 존재하는 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 입사된 신호를 수신하는 배열 안테나들;

지향 정보, 잡음 정보, 및 설정 횟수를 저장하는 외부 메모리; 및

상기 입사된 신호, 상기 지향 정보, 상기 잡음 정보, 및 상기 설정 횟수를 수신하여, 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 도래방향각 추정장치를 포함하는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,

상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,

상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KE,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은,

상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고,

상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ (이 때, 상기 $\vec{a}(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켤레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수임)에 따라 결정되는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템.

청구항 14

제11항에 있어서, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며,

상기 배열 안테나들의 수는 상기 적어도 하나 이상의 신호원의 수보다 큰, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템.

청구항 15

제11항에 있어서, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고,

상기 잡음 정보는 상기 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며,

상기 설정 횟수는 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하기 위해 미리 정해진 값인, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정시스템으로서, 보다 상세하게는 행렬의 거듭제곱기법을 이용하여 효율적으로 도래방향각을 추정하는, 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 배열 안테나(array antenna)에 입사되는 신호들의 도래방향각(Direction Of Arrival; DOA)을 추정하는 기술은 학계와 기업을 불문하고 광범위하게 연구되고 있다.

[0003] 관련 기술은 이동통신분야, 국방 또는 재난안전 무선통신분야, 및 국가의 전파관리업무 등에 응용되며, 최근 스마트 안테나를 이용한 차세대 이동통신시스템 및 스마트 자동차의 자동운전시스템 등의 개발과 맞물려 효용 가치가 높다.

[0004] 한편, 종래에 연구된 공간 스펙트럼에 기반하여 배열 안테나에 입사되는 신호들의 도래방향각을 추정하는 알고리즘이 있다. Bartlett 빔형성 알고리즘, Capon 알고리즘, 및 MUSIC(MUltiple SIgnal Classification) 알고리즘 등이 대표적이다.

- [0005] 여기서, Bartlett 빔형성 알고리즘은, 배열 안테나의 입사 신호들에 대하여 푸리에 변환을 응용한 스펙트럼 분석을 적용하는 기법이고, Capon 알고리즘은, 입사 신호들 중 특정 방향에서 입사되는 신호들의 이득을 유지하면서, 간섭신호 또는 잡음에 대해 상대적으로 작은 가중치를 부여하는 기법이고, MUSIC 알고리즘은, 입사 신호들의 공분산 행렬에 대한 고유치 분해에 따른 신호 부공간과 잡음 부공간의 직교성을 이용하는 기법이다.
- [0006] 다만, 상기 알고리즘들은 추정성능 및 계산복잡도에 있어서 차이가 존재한다. 추정성능은 MUSIC 알고리즘이 가장 우수하고, 그 다음으로 Capon 알고리즘, Bartlett 빔형성 알고리즘 순이며, 계산복잡도는 Bartlett 빔형성 알고리즘이 가장 우수하고, Capon 알고리즘, MUSIC 알고리즘 순이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 배열 안테나에 입사되는 신호들의 도래방향각을 추정함에 있어서, 종래 기술과 동등 내지는 향상된 성능을 발휘함과 동시에 필요한 계산 복잡도를 감소시킬 수 있는 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법은, 배열 안테나들로 입사된 신호, 지향 정보, 및 잡음 정보에 기초하여, 공분산행렬을 계산하는 단계, 상기 공분산행렬 또는 상기 공분산행렬의 역행렬 중 어느 하나를 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬을 계산하는 단계, 및 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 단계를 포함한다.
- [0009] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KB,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ 에 따라 결정된다. 여기서, 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.
- [0010] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ 에 따라 결정된다. 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.
- [0011] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며, 상기 배열 안테나들의 수는 상기 신호원의 수보다 크다.
- [0012] 실시예에 따라, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고, 상기 잡음 정보는 상기 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며, 상기 설정 횟수는 상기 도래방향각을 추정하는 단계에서 이용하기 위해 미리 정해진 값이다.
- [0013] 본 발명의 다른 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정장치는, 배열 안테나들로 입사된 신호, 지향 정보, 및 잡음 정보에 기초하여, 공분산행렬 및 공분산행렬의 역행렬을 계산하는 공분산 역행렬 계산기, 상기 공분산행렬 또는 상기 공분산행렬의 역행렬 중 어느 하나를 설정 횟수만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬을 계산하는 거듭제곱행렬 계산기, 및 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하기 위한 출력 전력을 계산하는 도래방향각 추정기를 포함한다.
- [0014] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거듭제곱행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거듭제곱행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거

등제공하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KB,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ 에 따라 결정된다. 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.

[0015] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거동제공행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거동제공행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거동제공하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ 에 따라 결정된다. 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.

[0016] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며, 상기 배열 안테나들의 수는 상기 신호원의 수보다 크다.

[0017] 실시예에 따라, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고, 상기 잡음 정보는 상기 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며, 상기 설정 횟수는 상기 출력 전력을 계산하기 위해 미리 정해진 값이다.

[0018] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 행렬의 거동제공기법을 이용한 도래방향각 추정시스템은, 외부에 존재하는 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 입사된 신호를 수신하는 배열 안테나들, 지향 정보, 잡음 정보, 및 설정 횟수를 저장하는 외부 메모리, 및 상기 입사된 신호, 상기 지향 정보, 상기 잡음 정보, 및 상기 설정 횟수를 수신하여, 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하는 도래방향각 추정장치를 포함한다.

[0019] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거동제공행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거동제공행렬이 상기 공분산행렬을 상기 설정 횟수만큼 거동제공하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KB,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$ 에 따라 결정된다. 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.

[0020] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호의 도래방향각의 추정은, 상기 거동제공행렬 및 상기 지향 정보를 이용하여 계산된 출력 전력 관계식에 기초하여 이루어지고, 상기 거동제공행렬이 상기 공분산행렬의 역행렬을 상기 설정 횟수만큼 거동제공하여 계산된 경우, 상기 출력 전력 관계식은 $P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$ 에 따라 결정된다. 여기서, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 지향 정보에 따라 결정되는 지향 벡터이고, 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 는 상기 $\vec{a}^H(\theta)$ 의 켈레전치이고, 상기 R 은 상기 공분산행렬이고, 상기 k 는 상기 설정 횟수이다.

[0021] 실시예에 따라, 상기 입사된 신호는 협대역 신호이고, 적어도 하나 이상의 신호원으로부터 방사되며, 상기 배열 안테나들의 수는 상기 신호원의 수보다 크다.

[0022] 실시예에 따라, 상기 지향 정보는 상기 배열 안테나들의 기하학적 구조 및 상기 입사된 신호의 주파수에 의해 결정되는 정보이고, 상기 잡음 정보는 입사된 신호에 포함된 잡음에 관한 정보이며, 상기 설정 횟수는 상기 입사된 신호의 도래방향각을 추정하기 위해 미리 정해진 값이다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거동제공기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 추정시스템은, 설정 횟수가 증가함에 따라 출력 전력의 극대값들 각각이 예리하게 되어, 도래방향각의 추정 성능을 높이는 효과를 발휘한다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거동제공기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 추정시스템은, 설정 횟수가 증가함에 따라, 배열 안테나들로 입사되는 신호 성분은 증가시키고, 잡음 성분은 감소시켜, 도래방향각의 추정 성능을 높이는 효과를 발휘한다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 추정시스템은, 높은 수준의 추정 성능이 요구되는 상황에서, 동등한 성능의 종래 기술과 비교하여 계산복잡도를 감소시키는 효과를 발휘한다.

도면의 간단한 설명

[0026] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 간단한 설명이 제공된다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템의 구성블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법을 나타낸 흐름도이다.

도 3은 도 1에 도시된 도래방향각 추정장치를 보다 상세하게 나타낸 구성블록도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Bartlett 빔형성 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

도 5a는 공분산 행렬이 완벽하게 알려진 상태에서 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

도 5b는 공분산 행렬을 추정한 상태에서 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 도면에서 생략하였으며, 도면들에 있어서 구성요소의 폭, 길이, 두께 등은 편의를 위하여 과장되어 표현될 수 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조부호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0031] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 설명하도록 한다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템의 구성블록도이다.

[0033] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정시스템(1)은, 배열 안테나들(20-1~20-M; 단, M은 2 이상의 정수), 도래방향각 추정장치(Direction Of Arrival(DOA); 10)를 포함하며, 실시예에 따라 레지스터(12) 및 외부 메모리(40)를 더 포함할 수 있다.

[0034] 배열 안테나들(20-1~20-M; 단, M은 2 이상의 정수) 각각은, 외부에 존재하는 신호원(30-1~30-N; 단, N은 1 이상의 정수)으로부터 입사된 신호(s1~sN)를 수신할 수 있다.

[0035] 그리고, 배열 안테나들(20-1~20-M) 각각은, 입사된 신호(s1~sN), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)가 반영된 신호 정보(x1~xM)를 도래방향각 추정장치(10)로 전달할 수 있다. 그러나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.

[0036] 실시예에 따라, 배열 안테나들 (20-1~20-M) 각각은, 입사된 신호(s1~sN)만을 도래방향각 추정장치(10)로 전달할

수 있고, 다른 실시예에 따라, 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)와 함께 신호 정보($x_1 \sim x_M$)를 도래방향각 추정장치(10)로 전달할 수도 있다.

- [0037] 여기서, 신호원 (30-1~30-N)은 점신호원(point signal source)에 해당하고, 배열 안테나들(20-1~20-M)로부터 충분히 멀리 떨어진 위치에 존재하며, 방사(radiation)된 신호 ($s_1 \sim s_N$)는 협대역 신호(narrow-band signal)에 해당하는 것으로 가정한다. 즉, 복수의 신호들($s_1 \sim s_N$)은 평면파이다.
- [0038] 또한, 배열 안테나들(20-1~20-M)의 수(M)는 신호원 (30-1~30-N)의 수(N)보다 크다고 가정한다.
- [0039] 다만, 본 명세서에서 사용되는 이와 같은 가정들은, 본 발명과 종래 기술과의 차이를 명확하게 드러내고 그 차이를 설명하기 위해 필요한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위를 이에 한정하는 것은 아님에 유의해야 한다.
- [0040] 배열 안테나들(20-1~20-M)은 지향성을 높이기 위해 일정한 방향을 향해 일정한 거리를 두고 배치된 균일 배열 안테나(uniform array antenna)로 구성될 수 있다. 그러나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0041] 도래방향각 추정장치(10)는 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)의 도래방향각을 추정하고, 추정된 결과(PK)를 출력할 수 있다.
- [0042] 도래방향각 추정장치(10)는 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)의 도래방향각을 추정하기 위해 입사된 신호($s_1 \sim s_N$) 및/또는 신호 정보($x_1 \sim x_M$)를 수신할 수 있고, 외부 메모리(40)로부터 지향 정보(steering_info), 잡음 정보(noise_info), 및 설정 횟수(pre_num_k)를 수신하여 레지스터(12)에 저장할 수 있다.
- [0043] 도래방향각 추정장치(10)의 구체적인 구성 및 기능에 관하여는 도 3 내지 도 5를 참조하여, 보다 상세하게 후술하기로 한다.
- [0044] 실시예에 따라, 도래방향각 추정장치(10)는 배열 안테나들(20-1~20-M), 외부 메모리(40), 및 레지스터(12)의 동작을 전반적으로 제어할 수 있는 중앙 처리 장치(CPU)를 포함할 수 있고, 기타 메인 메모리(main memory), 외부 메모리 컨트롤러(external memory controller), 및 버스(bus)를 더 포함할 수 있다.
- [0045] 외부 메모리(40)는 도래방향각 추정장치(10)의 작동을 위한 지향 정보(steering_info), 잡음 정보(noise_info), 및 설정 횟수(pre_num_k)를 저장할 수 있다.
- [0046] 여기서, 지향 정보(steering_info)는 배열 안테나들(20-1~20-M)의 기하학적 구조 및 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)의 주파수에 의해 결정되는 정보이고, 잡음 정보(noise_info)는 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)에 포함된 잡음에 관한 정보이며, 설정 횟수(pre_num_k)는 도래방향각 추정장치(10)가 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)의 도래방향각을 추정하는 과정에서 이용하기 위해 미리 정해진 값으로서, 1 이상의 정수에 해당하는 값이다.
- [0047] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0048] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법은, 입사된 신호($s_1 \sim s_N$), 지향 정보(steering_info), 잡음 정보(noise_info), 및 설정 횟수(pre_num_k)를 수신하는 단계(S100)를 포함할 수 있다.
- [0049] 여기서, 입사된 신호들($s_1 \sim s_N$), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)에 의해 결정되는 신호벡터를 정의하기로 한다. 상기 신호 벡터들은 본 발명의 구성, 작용효과, 및 종래기술과의 차이점을 보다 용이하게 설명하기 위한 것이며, 아래의 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

$$\vec{x}(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t) \cdot \vec{a}(\theta_i) + \vec{n}(t)$$

[0050]

- [0051] 여기서, $\vec{x}(t)$ 는 신호벡터이고, $s_i(t)$ 는 입사된 신호($s_1 \sim s_N$) 중 θ_i 방향으로 입사되는 신호로서, 시간 영역상에서 표현된 신호일 수 있다. $\vec{a}(\theta_i)$ 는 지향 정보(steering_info)에 따라 결정되는 정규화된 지향 벡터(normalized steering vector)이며, 입사된 신호($s_1 \sim s_N$) 중 입사방향 θ_i 에 대응되는 복소벡터일 수 있다. $\vec{n}(t)$ 는 잡음 정보(noise_info)에 따라 결정되는 잡음 벡터이며, 상기 $\vec{n}(t)$ 의 각 요소의 평균은 0이고, 그 공통 분산(common

variance)은 σ^2 일 수 있다.

[0052] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법은, S100 단계 후에, 입사된 신호(s1~sN), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)에 기초하여, 공분산행렬을 계산하는 단계(S200)를 포함할 수 있다.

[0053] 여기서, 상기 공분산행렬은 그 요소(element)로서, 배열 안테나에 입사된 신호들 각각을 확률변수로 하는 공분산(covariance)을 포함할 수 있다.

[0054] 실시예에 따라, 상기 공분산행렬은 입사된 신호(s1~sN), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)에 의해 결정되는 상기 신호 벡터들에 기초하여 아래의 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.

수학식 2

[0055]
$$R = E\{\vec{x}(t) \vec{x}^H(t)\}$$

[0056] 여기서, R 은 공분산행렬이고, $\vec{x}^H(t)$ 는 $\vec{x}(t)$ 의 켈레진치(conjugate transpose(hermitian transpose))를 의미한다.

[0057] 실시예에 따라, 상기 공분산 행렬은 입사된 신호(s1~sN), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)에 기초하여, 아래의 수학식 3에 따라 계산될 수 있다.

수학식 3

[0058]
$$R = R_S + \sigma^2 \cdot I$$

[0059] 여기서, σ^2 은 잡음 정보(noise_info)에 따라 결정되는 잡음 벡터 $\vec{n}(t)$ 의 각 요소의 공통 분산(common variance)에 해당하고, R_S 는 아래의 수학식 4에 따라 계산될 수 있다.

수학식 4

[0060]
$$R_S = \sum_{i,j=1}^N \rho_{ij} \cdot \vec{a}(\theta_i) \cdot \vec{a}^H(\theta_j)$$

[0061] 여기서, ρ_{ij} 는 아래의 수학식 5에 따라 계산될 수 있다.

수학식 5

[0062]
$$\rho_{ij} = E\{s_i(t) s_j^H(t)\}$$

[0063] 여기서, $s_i(t)$ 는 입사된 신호(s1~sN) 중 θ_i 방향으로 입사되는 신호이고, $s_j(t)$ 는 입사된 신호(s1~sN) 중 θ_j 방향으로 입사되는 신호이고, $s_j^H(t)$ 는 $s_j(t)$ 의 켈레진치를 의미한다.

[0064] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법은, S200 단계 후에, 상기 공분

산행렬(R) 또는 상기 공분산행렬의 역행렬(R^{-1}) 중 어느 하나를 설정 횟수(pre_num_k)만큼 거듭제곱하여 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k})을 계산하는 단계(S300)를 포함할 수 있다.

[0065] 여기서, 설정 횟수(pre_num_k; 이하 'k'라 함)는 1 이상의 정수에 해당하고, 본 단계(S300)에 따른 상기 공분산행렬(R) 또는 상기 공분산행렬의 역행렬(R^{-1}) 중 어느 하나를 설정 횟수(k)만큼 거듭제곱하는 기술적 특징은, 본 발명과 종래 기술을 구별하는 주요 기술적 특징에 해당한다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법은, S300 단계 후에, 상기 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k}) 및 상기 지향 정보(steering_info)를 이용하여 도래방향각을 추정하는 단계(S400)를 포함할 수 있다.

[0067] 실시예에 따라, S300 단계에 따른 상기 공분산행렬(R)을 설정 횟수(k)만큼 거듭제곱한 거듭제곱행렬(R^k)이 이용될 수 있다. 이 경우 본 단계(S400)에 따른 추정된 도래방향각은 아래의 수학적 식 6에 따른 출력 전력 관계식으로부터 도출될 수 있다.

수학적 식 6

[0068]
$$P_{KB,k}(\theta) = \vec{a}^H(\theta) \cdot R^k \cdot \vec{a}(\theta)$$

[0069] 상기 수학적 식 6의 좌변항($P_{KB,k}(\theta)$)은 도래방향각을 추정하기 위한 출력 전력(output power)으로서, 종래 기술 중 Bartlett 빔형성 알고리즘의 출력 전력 관계식에 포함되는 상기 공분산행렬(R)을 거듭제곱행렬(R^k)로 대체하여 계산된 값이다.

[0070] 실시예에 따라, S300 단계에 따른 상기 공분산행렬(R)의 역행렬(R^{-1})을 설정 횟수(k)만큼 거듭제곱한 거듭제곱행렬(R^{-k})이 이용될 수 있다. 이 경우 본 단계(S400)에 따른 추정된 도래방향각은 아래의 수학적 식 7에 따른 출력 전력 관계식으로부터 도출될 수 있다.

수학적 식 7

[0071]
$$P_{KC,k}(\theta) = (\vec{a}^H(\theta) \cdot R^{-k} \cdot \vec{a}(\theta))^{-1}$$

[0072] 상기 수학적 식 7의 좌변항($P_{KC,k}(\theta)$)은 도래방향각을 추정하기 위한 출력 전력(output power)으로서, 종래 기술 중 Capon 알고리즘의 출력 전력 관계식에 포함되는 공분산 역행렬(R^{-1})을 거듭제곱행렬(R^{-k})로 대체하여 계산된 값이다.

[0073] 도 3은 도 1에 도시된 도래방향각 추정장치(10)를 보다 상세하게 나타낸 구성블록도이다.

[0074] 도 1 및 도 3을 참조하면, 도래방향각 추정장치(10)는 공분산 역행렬 계산기(Inverse Covariance Matrix Calculator; 100), 거듭제곱행렬 계산기(Power of Matrix Calculator; 120), 및 도래방향각 추정기(DOA Estimator; 140)를 포함할 수 있다.

[0075] 공분산 역행렬 계산기(100)는 배열 안테나들(20-1~20-M)로 입사된 신호(s1~sN) 및/또는 신호 정보(x1~xM)를 수신하고, 레지스터(12)로부터 지향 정보(steering_info) 및 잡음 정보(noise_info)를 수신할 수 있다. 이 경우, 신호 정보(x1~xM)는 수학적 식 1에 따른 정보일 수 있다.

- [0076] 공분산 역행렬 계산기(100)는 수신된 신호 정보($x_1 \sim x_M$)를 이용하여 공분산행렬(R)을 계산할 수 있다. 이 경우 공분산 행렬(R)은 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.
- [0077] 공분산 역행렬 계산기(100)는 수신된 배열 안테나들(20-1~20-M)로 입사된 신호($s_1 \sim s_N$), 지향 정보(steering_info), 및 잡음 정보(noise_info)를 이용하여, 공분산행렬(R)을 계산할 수 있다. 이 경우, 공분산 행렬(R)은 수학식 3에 따라 계산될 수 있다.
- [0078] 그리고, 공분산 역행렬 계산기(100)는 공분산 행렬(R)을 이용하여 공분산 역행렬(R^{-1})을 계산할 수 있다.
- [0079] 공분산행렬 계산기(100)는 상기 공분산행렬(R) 및/또는 공분산 역행렬(R^{-1})을 거듭제곱행렬 계산기(120)로 전달할 수 있다.
- [0080] 거듭제곱행렬 계산기(120)는 공분산 역행렬 계산기(100)로부터 상기 공분산행렬(R) 및/또는 공분산 역행렬(R^{-1})을 수신하고, 레지스터(12)로부터 설정 횟수(k)를 수신할 수 있다.
- [0081] 거듭제곱행렬 계산기(120)는 수신된 공분산행렬(R) 및/또는 공분산 역행렬(R^{-1})을 설정 횟수(k)만큼 거듭제곱하여, 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k})을 계산하고, 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k})을 도래방향각 추정기(140)로 전달할 수 있다.
- [0082] 도래방향각 추정기(140)는 거듭제곱행렬 계산기(120)로부터 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k})을 수신하고, 레지스터(12)로부터 지향 정보(steering_info)를 수신할 수 있다.
- [0083] 도래방향각 추정기(140)는 거듭제곱행렬(R^k, R^{-k}) 및 지향 정보(steering_info)를 이용하여 도래방향각을 추정하기 위한 출력 전력(output power; $PK(k)$)을 계산할 수 있다.
- [0084] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Bartlett 빔형성 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.
- [0085] 상기 결과는, 배열 안테나들(20-1~20-M; 단, M은 2 이상의 정수)의 수(M)가 8이고, 신호원 (30-1~30-N; 단, N은 1 이상의 정수)의 수(N)는 3이며, 배열 안테나들(20-1~20-M)로 입사된 신호($s_1 \sim s_N$)의 신호대잡음비(signal-to-noise ratio; SNR)는 -3dB인 조건 하에서 시뮬레이션한 결과이다.
- [0086] 도 1, 도 2, 및 도 4를 참조하면, Bartlett 빔형성 알고리즘에 따른 출력 전력들(Bartlett-1, Bartlett-2)과 함께 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력이 도시되어 있다.
- [0087] 출력 전력(Bartlett-1)은 상기 공분산 행렬(R)이 추정된 상태에서의 Bartlett 빔형성 알고리즘에 따른 출력 전력이고, 출력 전력(Bartlett-2)은 상기 공분산 행렬(R)이 완벽하게 알려진 상태에서의 Bartlett 빔형성 알고리즘에 따른 출력 전력이다.
- [0088] 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력은, 설정 횟수(k)를 증가시켜가면서(즉, $k=2, 4, 8, 16$) 상기 수학식 6에 따라 계산된 값이다.
- [0089] 출력 전력의 극대값(local maximum value)에 대응하는 각 방향값(angle)은 추정된 도래방향각을 나타낸다.
- [0090] 상기 수학식 6에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은, 출력 전력들(Bartlett-1, Bartlett-2)과 비교하여, 설정 횟수(k)가 증가함에 따라 각 극대값(local maximum value)이 점차 예리(sharpness)해진다. 즉, 설정 횟수(k)가 16일 때(즉, $k=16$), 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 극대값은 출력 전력(Bartlett-2)의 극대값과 유사한 정도로 예리하게 되어, 도래방향각의 추정 성능을 높일 수 있다. 또한, 상기 수학식 6에 따른 도래방향각 추정장치(10)는, 설정 횟수(k)가 증가함에 따라, 배열 안테나들(20-1~20-M)로 입사되는 신호 성분은 증

가시키고, 잡음 성분은 감소시켜, 도래방향각의 추정 성능을 높일 수 있다.

[0091] 한편, 상기 수학식 6에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 구체적인 효과는 수학적 접근에 의해서도 해석가능하다.

[0092] 구체적으로, 상기 수학식 6에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은, 고유값 분해(Eigen Value Decomposition(EVD))를 통해 하기의 수학식 8로 표현가능하다.

수학식 8

$$P_{KB,k}(\theta) = \sum_{i=1}^N \lambda_i^k |\vec{a}^H(\theta) \vec{u}_i|^2$$

[0093]

[0094] 그리고, 상기 수학식 8에 의해, 설정 횟수(k)를 증가시키면, 상기 신호 성분의 고유벡터에 상응하는 고유값들이 증가하고, 상기 잡음 성분의 고유벡터에 상응하는 고유값들은 상대적으로 감소하게 된다.

[0095] 즉, 설정 횟수(k)를 증가시키면, 상기 수학식 6에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력에 포함되는 상기 잡음 성분 대비 상기 신호 성분의 크기가 증가하게 되어, 도래방향각의 추정 성능을 높일 수 있는 것으로 해석 가능하다.

[0096] 도 5a는 상기 공분산 행렬($\mathbf{R}$)이 완벽하게 알려진 상태에서 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다. 도 5b는 상기 공분산 행렬($\mathbf{R}$)을 추정한 상태에서 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정장치의 출력 전력과 종래의 Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

[0097] 상기 결과들은, 배열 안테나들(20-1~20-M; 단, M은 2 이상의 정수)의 수(M)가 8이고, 신호원(30-1~30-N; 단, N은 1 이상의 정수)의 수(N)는 3이며, 배열 안테나들(20-1~20-M)로 입사된 신호(s1~sN)의 신호대잡음비(signal-to-noise ratio; SNR)는 -3dB인 조건 하에서 시뮬레이션한 결과들이다.

[0098] 도 1, 도 2, 및 도 5a를 참조하면, Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력과 함께 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력이 도시되어 있다.

[0099] 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력은, 설정 횟수(k)를 증가시켜가면서(즉, k=2,4,8,16) 상기 수학식 7에 따라 계산된 값이다.

[0100] 출력 전력의 극대값(local maximum value)에 대응하는 각 방향값(angle)은 추정된 도래방향각을 나타낸다.

[0101] 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은, 설정 횟수(k)가 증가함에 따라 각 극대값이 예리해진다. 즉, 설정 횟수(k)가 2일 때(즉, k=2), 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 극대값은 Capon 알고리즘에 따른 출력 전력의 극대값보다 예리하고, 설정 횟수(k)가 16일 때(즉, k=16), 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 극대값은 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력의 극대값과 유사한 정도로 예리해진다.

[0102] 다음으로, 도 1, 도 2, 및 도 5b를 참조하면, Capon 알고리즘 및 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력과 함께 본 발명의 일 실시예에 따른 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력이 도시되어 있다.

[0103] 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력은, 설정 횟수(k)를 증가시켜가면서(즉, k=2,4,8,16) 상기 수학식 7에 따라 계산된 값이다.

[0104] 출력 전력의 극대값(local maximum value)에 대응하는 각 방향값(angle)은 추정된 도래방향각을 나타낸다.

[0105] 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은, 설정 횟수(k)가 증가함에 따라 각 극대값이 예리해진다. 즉, 설정 횟수(k)가 2일 때(즉, k=2), 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 극대값은 Capon 알고리즘에 따른 출력 전력의 극대값보다 예리하고, 설정 횟수(k)가 4일 때(즉, k=4), 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 극대값은 MUSIC 알고리즘에 따른 출력 전력의 극대값보다 더욱 예리해진다.

[0106] 한편, 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력의 구체적인 효과는 수학적 접근에 의해서도

해석가능하다.

[0107] 먼저, 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은, 고유값 분해(Eigen Value Decomposition(EVD))를 통해 하기의 수학식 9로 표현가능하다.

수학식 9

[0108]

$$P_{KC,k}(\theta) = \left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{\lambda_i} \right)^k |\vec{a}^H(\theta) \vec{u}_i|^2 \right)^{-1}$$

[0109]

다음으로, 종래 기술들의 출력 전력의 관계식을 살펴보기로 한다.

[0110]

MUSIC 알고리즘의 경우, 그 추정성능은 우수하나, 상기 MUSIC 알고리즘의 수행 과정에서, 복수의 신호원들의 수를 추정하는 과정 및 고유값 분해(EVD) 과정을 거쳐야 한다는 점에서 높은 계산복잡도의 부담을 갖게 된다.

[0111]

이를 해결하기 위한 종래 기술로서, 개선된 MUSIC 알고리즘이 소개되어 있다. 상기 개선된 MUSIC 알고리즘은 상기 MUSIC 알고리즘과 비교하여, 복수의 신호원들의 수를 추정하는 과정을 거치지 않는다는 차이가 있다. 그러나, 여전히 고유값 분해(EVD) 과정을 거쳐야 한다는 부담은 존재한다.

[0112]

여기서, 상기 MUSIC 알고리즘의 출력 전력은 아래의 수학식 10에 따라 계산될 수 있고, 상기 개선된 MUSIC 알고리즘의 출력 전력은 아래의 수학식 11에 따라 계산될 수 있다.

수학식 10

[0113]

$$P_M(\theta) = \left(\sum_{i=N+1}^M |\vec{a}^H(\theta) \vec{u}_i|^2 \right)^{-1}$$

수학식 11

[0114]

$$P_{G,k}(\theta) = \left(\sum_{i=1}^M \left(\frac{\lambda_M}{\lambda_i} \right)^k |\vec{a}^H(\theta) \vec{u}_i|^2 \right)^{-1}$$

[0115]

이제, 상기 수학식 9에 따른 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력과 상기 수학식 11에 따른 상기 개선된 MUSIC 알고리즘의 출력 전력 간의 관계를 살펴본다.

[0116]

상기 수학식 9와 상기 수학식 11을 비교하면, 상기 수학식 9에 따른 도래방향각 추정 장치(10)의 출력 전력과 상기 개선된 MUSIC 알고리즘의 출력 전력은 아래의 수학식 12의 관계에 놓이게 된다.

수학식 12

[0117]

$$P_{KC,k}(\theta) = \lambda_M^k \cdot P_{G,k}(\theta)$$

[0118]

즉, 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)의 출력 전력은 상기 개선된 MUSIC 알고리즘의 출력 전력과 그 크기에 있어서만 차이(즉, λ_M^k)가 존재할 뿐이다. 이상의 결론에 의해, 상기 수학식 7에 따른 도래방향각 추정장치(10)는 추정 성능에 있어서, 상기 개선된 MUSIC 알고리즘과 동등하다.

[0119]

한편, 국방, 재난관리, 또는 도로교통분야 등은 인간의 생명과 직결된 분야로서, 해당 분야에서 요구하는 도래

방향각 추정기술은, 높은 수준의 추정성과 함께 보다 낮은 수준의 계산복잡도를 갖출 것이 요구된다.

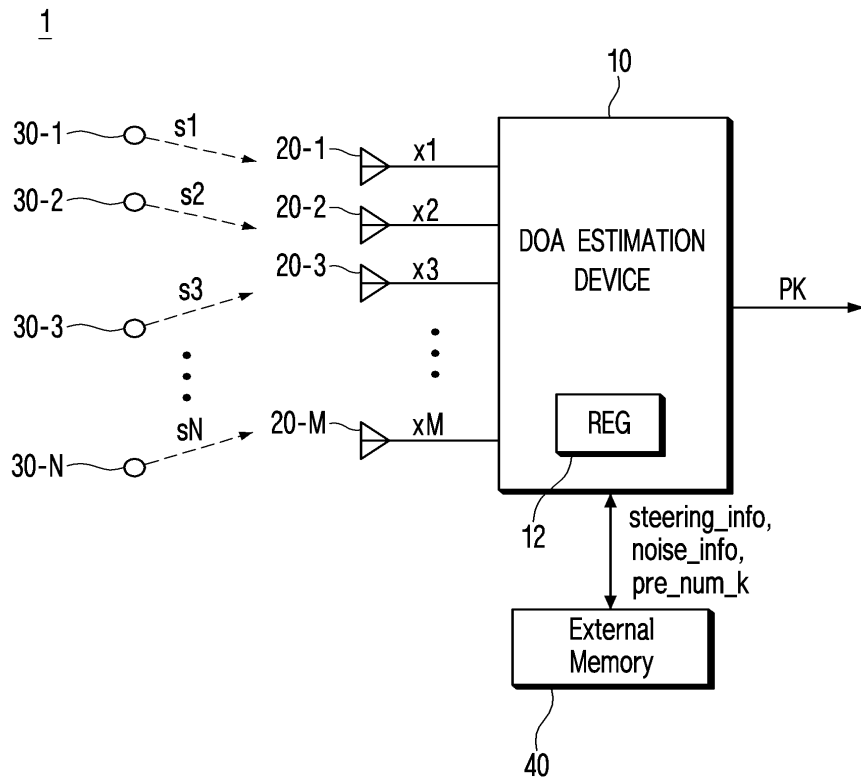
- [0120] 본 발명의 일 실시예에 따른 행렬의 거듭제곱기법을 이용한 도래방향각 추정방법, 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정장치, 및 상기 방법을 이용한 도래방향각 추정시스템은, 높은 수준의 추정 성능이 요구되는 상황에서, 동등한 성능의 종래 기술과 비교하여 계산복잡도를 감소시키는 효과를 발휘한다.
- [0121] 즉, 상술한 바와 같이, 상기 MUSIC 알고리즘 또는 상기 개선된 MUSIC 알고리즘은, 우수한 추정성능에도 불구하고, 종래의 Bartlett 빔형성 알고리즘 또는 Capon 알고리즘과 비교하여 고유값 분해(EVD) 과정을 더 거치는 차이에 의해, 높은 계산복잡도를 갖게 된다.
- [0122] 반면, 상기 수학식 6 또는 상기 수학식 7 각각의 출력 전력 관계식에 따른 도래방향각 추정방법은, 종래의 Bartlett 빔형성 알고리즘 또는 Capon 알고리즘과 비교하여, 단지 공분산행렬 또는 공분산행렬의 역행렬을 거듭제곱하는 과정을 더 거치는 차이가 있을 뿐이어서, 상기 MUSIC 알고리즘 또는 상기 개선된 MUSIC 알고리즘보다 낮은 계산복잡도를 갖게 된다.
- [0123] 여기서, 상기 공분산행렬 또는 공분산행렬의 역행렬을 거듭제곱하는 과정에서 요구되는 추가적인 곱셈연산량은, 배열 안테나($20-1 \sim 20-M$)의 수가 M 이고, 설정 횟수(k)가 2^P 일 때, 상기 공분산행렬 또는 공분산행렬의 역행렬이 에르미트 행렬(hermitian matrix)에 해당한다는 특성에 기인하여, $0.5(P-1)(M+1)M^2$ 번이 된다.
- [0124] 예컨대, 설정 횟수(k)가 8이고, 배열 안테나($20-1 \sim 20-M$)의 수(M)가 10일 때, 상기 수학식 7의 출력 전력 관계식에 따른 도래방향각 추정방법은, 종래의 Capon 알고리즘과 비교하여, 1,650번의 추가적인 복소곱셈만을 요구할 뿐이고, 이러한 연산량은, 상기 MUSIC 알고리즘 또는 상기 개선된 MUSIC 알고리즘에서 요구되는 고유값 분해(EVD)에 요구되는 연산량과 비교하여 충분히 작은 값이다.
- [0125] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다.
- [0126] 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0127] 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

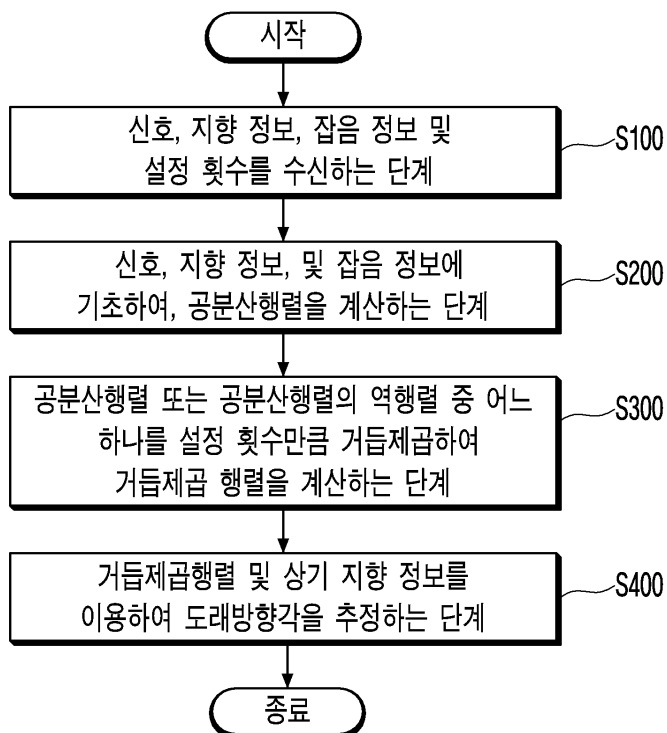
- [0128] 10: 도래방향각 추정장치
 12: 레지스터
 20-1~20-M: 복수의 안테나들
 30-1~30-N: 복수의 신호원들
 40: 외부 메모리
 100: 공분산 역행렬 계산기
 120: 거듭제곱행렬 계산기
 140: 도래방향각 추정기

도면

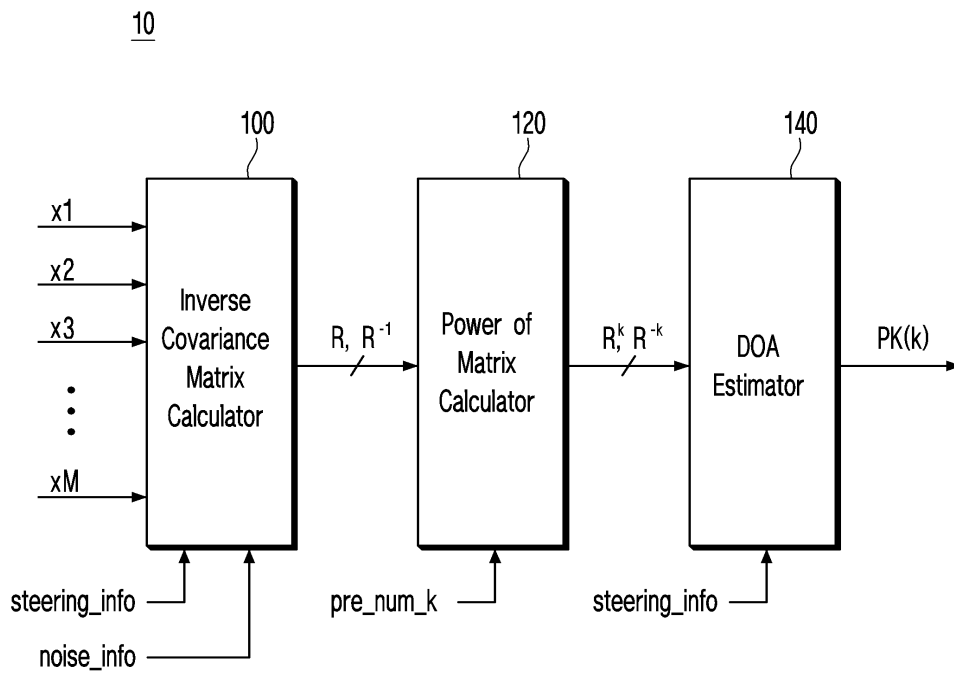
도면1



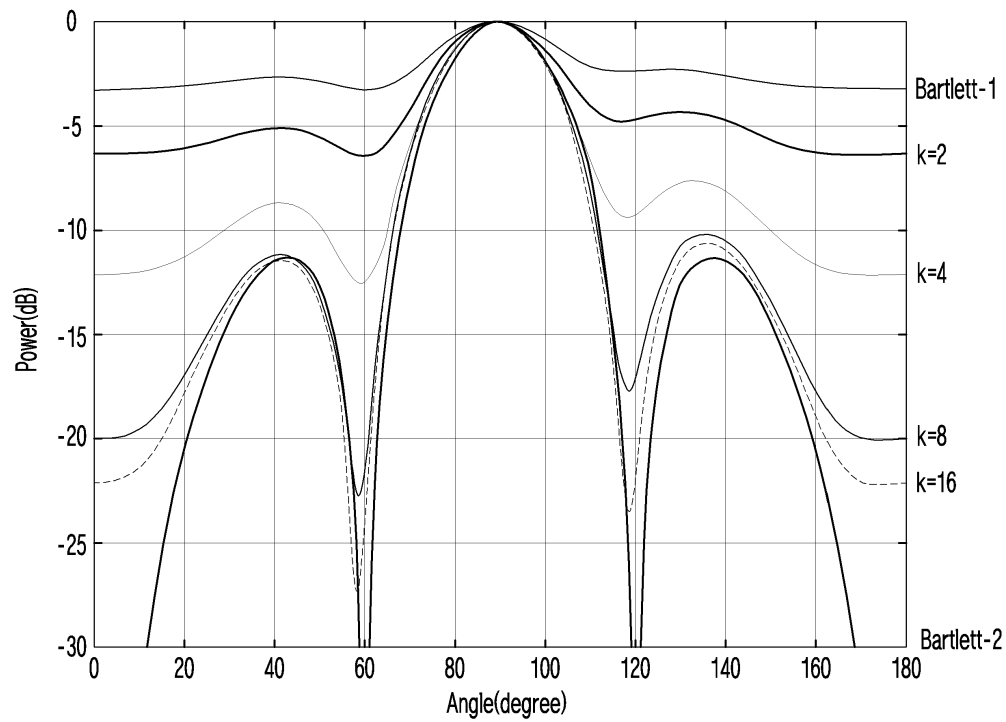
도면2



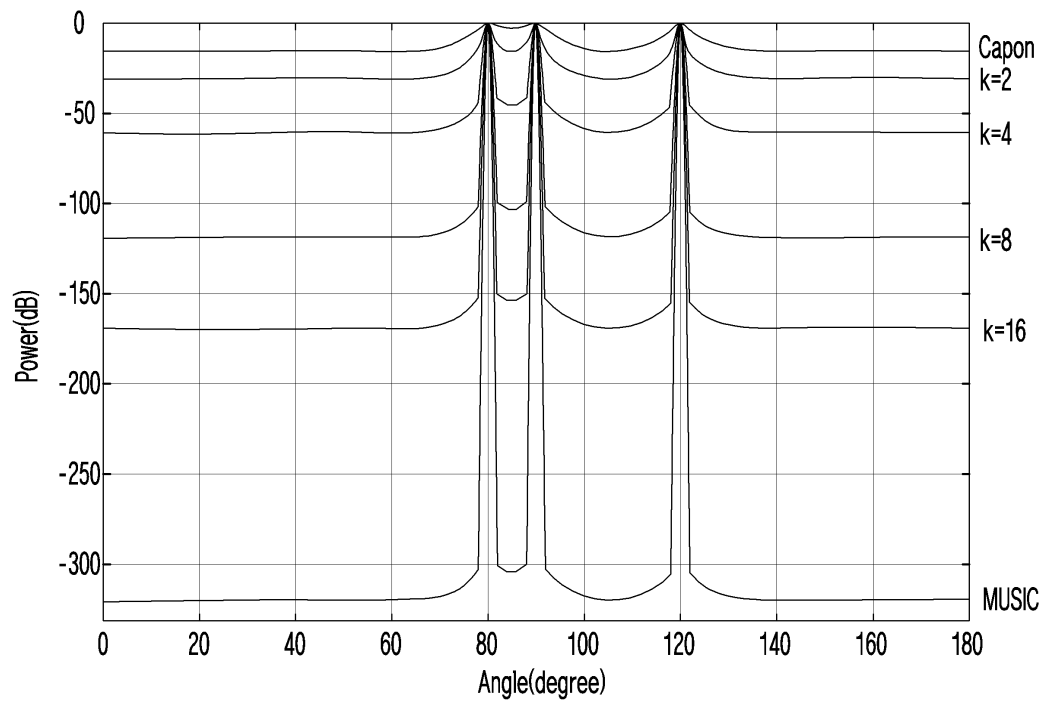
도면3



도면4



도면5a



도면5b

