



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0033571
(43) 공개일자 2020년03월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 3/04 (2006.01) G01S 13/93 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01S 3/04 (2013.01)
G01S 13/931 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0113008
(22) 출원일자 2018년09월20일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
신동승
대구광역시 달성군 현풍면 테크노북로4길 11, 108동 404호 (대구테크노폴리스남해오네뜨1차)
고찬빈
서울특별시 강동구 고덕로97길 20, 1004동 302호 (강일동, 강일리버파크10단지아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인지명

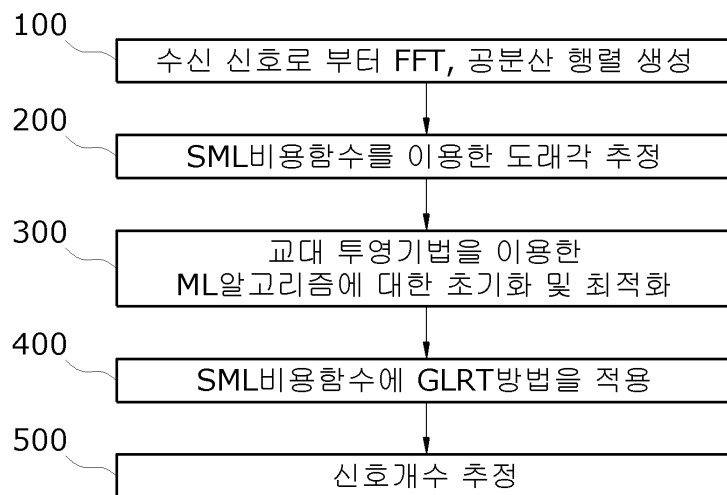
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 SML 비용함수 및 가설검증을 고려한 신호개수 추정 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 차량용 레이더 시스템에서 도래각(DoA) 추정에 선행되는 SML 비용함수 및 가설검증을 고려하여 신호개수를 추정하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 본 발명의 방법에 따르면 다음과 같은 과정이 실행된다. 먼저, 수신 신호의 공분산행렬에 SML 비용함수를 이용하여 초기 도래각 추정치를 결정한다. 초기의 신호개수는 1개로 설정한다. 결정된 초기 도래각 추정치를 이용해서 SML 비용함수에 GLRT 방법을 적용하여서 신호개수를 추정한다. 추정치가 특정 문턱값(threshold)보다 클 경우, 신호개수를 하나 추가한 후 교대투영 기법을 이용해서 도래각 추정을 계속적으로 수행하고, 문턱값보다 크지 않을 경우에는 신호개수 추정을 종료한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이준호

서울특별시 영등포구 여의대방로59길 46(신길동)

정소희

대구광역시 달성군 현풍면 테크노북로2길 10, 107
동 1707호 (대구테크노폴리스엘에이치천년나무1단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 17AD1210

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국전자통신연구원

연구사업명 대구시보조금사업

연구과제명 상황인지 스마트카 퓨전 플랫폼 개발 및 지역 부품업체 지원사업

기여율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2017.04.01 ~ 2018.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

수신신호의 공분산행렬에 SML 비용함수를 이용하여 초기 도래각 추정치를 결정하는 단계,

결정된 초기 도래각 추정치를 이용해서 SML 비용함수에 GLRT 방법을 적용하여서 신호개수를 추정하되, 추정치가 문턱값보다 클 경우, 신호개수를 하나 추가한 후 교대투영 기법을 이용해서 도래각 추정을 계속적으로 수행하고, 문턱값보다 크지 않을 경우에는 신호개수 추정을 종료하는 단계를 포함하는, SML 비용함수 및 가설검증을 고려한 신호개수 추정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 차량용 레이더 시스템에서 도래각(DoA) 추정에 진행되는 SML(Stochastic Maximum Likelihood) 비용함수 및 가설검증을 고려하여 신호개수를 추정하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 차량용 레이더 시스템은 표적을 감지하기 위해서, 송출파형 송출 후 수신된 신호를 처리함으로써 표적의 거리, 속도, 각도를 검출한다. 특히, 표적(target)의 각도를 검출하기 위한 방법 중 하나인, 신호의 부공간을 이용하는 방법(MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT 등)은 표적(신호) 개수의 정보를 필요로 한다.

[0003] 기존의 신호개수를 추정하는 방법에는 수신신호를 샘플링하여 Hermitian곱을 통해 생성된 공분산행렬의 고유값을 이용하는 AIC 법, MDL 법, 직관적 방법 등이 있다. AIC, MDL 법의 신호개수 추정 알고리즘은 고유값의 합과 곱의 비를 이용해 신호개수를 추정한다. 그러나 이들 방법은 직접파와 반사파가 모두 존재할 경우 신호개수를 잘 추정하지 못한다. 직관적 방법은 고유값의 비를 통해 최대가 되는 index를 신호의 개수로 추정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 계산량 측면에서는 매우 효율적이지만 공분산행렬의 고유값이 너무 작을 경우에는 신호개수를 잘못 추정하는 경우가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 기존에 알려진 신호개수 추정 알고리즘인 직관적 방법은 고유값이 너무 작거나 고유값 비의 정보를 정확하게 모를 경우, 신호개수를 잘 추정하지 못한다. AIC, MDL 방법은 직접파의 신호개수는 잘 추정하지만 직접파와 반사파가 모두 포함된 신호의 경우에는 신호개수를 잘 추정하지 못한다.

[0005] 이에, 공분산행렬의 고유값에 의한 기존의 알고리즘들의 신뢰도가 낮은 문제를 보완하기 위해서 SML 비용함수 및 가설검증을 이용한 신호개수 추정 기법을 이용해 신뢰성을 높이고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 전술한 종래의 알고리즘보다 정확도 측면에서 효율적인 방법이 본 발명에 따른, SML(Stochastic Maximum Likelihood) 비용함수(cost function) 및 가설검증(hypothesis test)을 고려한 신호개수 추정 알고리즘이다. 기존의 방법들과 같이 본 발명에서도 수신신호의 공분산행렬을 이용하지만, 이에 덧붙여 SML 비용함수를 고려하여 신호의 도래각(DoA) 추정 과정을 진행하고 추정된 도래각으로부터 GLRT 방법을 적용하여서 신호개수를 추정한다. 본 발명에서는 SML 비용함수를 이용해서 신호개수를 업데이트하는 과정이 개시된다.

[0007] 본 발명의 과정을 요약하면 다음과 같다. 우선, 수신신호의 공분산행렬에 SML 비용함수를 이용하여 초기 도래각 추정치를 결정한다. 초기의 신호개수는 1개로 설정한다. 결정된 초기 도래각 추정치를 이용해서 SML 비용함수에 GLRT 방법을 적용하여서 신호개수를 추정한다. 추정치가 특정 문턱값(threshold)보다 클 경우, 신호개수를 하나 추가한 후 교대투영 기법을 이용해서 도래각 추정을 계속적으로 수행한다. 문턱값보다 크지 않을 경우에는 신호

개수 추정을 종료한다.

- [0008] 본 발명의 과정을 좀 더 구체적으로 소개하면 다음과 같다.
- [0009] 수신신호로부터 FFT를 실행하여 공분산행렬을 생성한다. 공분산 행렬 생성 과정을 살펴보면, 먼저 시간 데이터 (time data)인 수신신호, 즉, 비트신호(beat signal)를 제로패딩(zero padding)한 후에 고속푸리에변환(FFT)을 수행하고 양의 주파수영역을 취하여 Peak Bin을 추출하고 Bin 개수를 선택한다. 이 과정을 통해서 주파수 공분산행렬을 생성한다.
- [0010] 다음에 위와 같이 생성된 수신신호의 공분산 행렬을 SML 비용함수에 적용해서 도래각을 추정한다. ULA 안테나를 사용하는 경우에 평면파로 입사하는 수신신호들은 각각의 성분 안테나에 대해 같은 도래각(DoA) 정보를 가지고 있으며, 도래각 추정을 위한 SML 비용함수를 정의하기 위해서는 어레이벡터(array vector)가 정의되어야 한다. 그러나 신호로부터 각각의 센서까지의 거리가 다르기 때문에 시간지연(time-delay)이 발생한다. 이를 고려하여야 한다.
- [0011] 이어서, 교대 투영기법을 이용하여 ML 알고리즘을 초기화하고 최적화한다. 이 단계는 다음과 같은 세부단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 1) 첫 입사신호의 도래각을 일정한 탐색 간격으로 변화하여 SML 비용함수 구하기
- [0013] 2) 첫 입사신호의 초기 추정값으로 첫 도래각을 고정하기
- [0014] 3) 두 번째 입사신호의 도래각을 일정한 탐색간격으로 변화시켜 SML 비용함수 구하기
- [0015] 끝으로, 도래각 추정치를 이용해서 SML 비용함수를 구하고 GLRT(Generalized Likelihood Ratio Test)를 적용하여 최종적으로 신호의 개수를 추정한다. 신호 개수 추정을 위해서 귀무가설(Null hypothesis) 검증법을 사용할 수 있다. 귀무가설의 검증을 위해 카이제곱분포(chi-square distribution)에 기반하여 문턱값을 설정하여, 추정치가 특정 문턱값(threshold)보다 클 경우, 신호개수를 하나 추가한 후 교대투영 기법을 이용해서 도래각 추정을 계속적으로 수행하고, 문턱값보다 크지 않을 경우에는 신호개수 추정을 종료한다.
- [0016] 이상의 본 발명의 개시사항은 차후에 도면과 함께 구체적인 실시예를 설명함으로써 더욱 명확해질 것이다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명의 경우에는 기존의 알고리즘과는 달리 신호개수를 추정하는 신뢰성이 매우 높다. 수신신호를 N-point FFT한 후에 피크가 발생하는 bin과 이 Peak bin의 양 옆bin(Side bin)으로 공분산행렬을 생성하였다. 표적 거리 (target range)를 고려하여서, 표적의 개수만큼 각각 공분산 행렬을 생성 후, 각각 신호개수를 추정하고 각각의 공분산행렬에 대한 신호추정 개수를 더해서 최종 신호개수를 구하였다.
- [0018] 아래 표 1은 5개 bin에 대한 신호개수 추정 결과이다. Peak bin 1개와 Side bin 4개, 총 5개의 bin을 이용하여 공분산행렬을 생성했다. SML 비용함수 및 가설검증을 고려하여 -10dB, 0dB, 10dB의 SNR(신호대잡음비)에 대한 각각의 신호개수 추정 결과를 얻었다. 거리가 6m, 입사각이 -10deg인 입사신호가 1개인 시나리오와, 거리가 6m, 15m 입사각이 -10deg, 20deg인 입사신호가 2개인 시나리오와, 거리가 6m, 15m, 24m 입사각이 -10deg, 0deg, 20deg인 입사신호가 3개인 시나리오 각각에 대한 신호개수 추정 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1

SML비용함수 및 가설검증을 고려한 신호개수 추정 결과(bin 5개)

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	97	99	95

Target Range : 6m/ Target Angle -10deg

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	88	98	92

Target Range : 6m, 15m/ Target Angle -10deg, 20deg

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	78	94	87

Target Range : 6m, 15m, 24m/ Target Angle -10deg, 0deg, 20deg.

[0019]

[0020]

표 2는 7개의 bin에 대한 신호개수 추정 결과이다. Peak bin과 Side bin 6개, 총 7개의 bin으로 신호개수를 추정하였다. 나머지는 표 1의 시나리오와 같은 상황에서 신호개수 추정 결과를 얻었다.

표 2

SML비용함수 및 가설검증을 고려한 신호개수 추정 결과(bin 7개)

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	98	98	100

Target Range : 6m/ Target Angle -10deg

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	89	100	86

Target Range : 6m, 15m/ Target Angle -10deg, 20deg

	-10dB	0dB	10dB
SML신호추정 성공 횟수	73	99	87

Target Range : 6m, 15m, 24m/ Target Angle -10deg, 0deg, 20deg.

[0021]

도면의 간단한 설명

[0022]

- 도 1은 본 발명의 구성 블록도
- 도 2는 도 1의 공분산행렬의 생성단계(100) 구성도
- 도 3은 ULA 안테나의 구조도
- 도 4는 도 1의 신호개수 추정 단계(400 및 500)의 실행 과정도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023]

본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 기술되어 있는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 기재에 의해 정의된다.

[0024]

한편, 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용한 "포함한다

(comprises)" 또는 "포함하는(comprising)"이라는 용어는 언급된 구성요소, 단계, 또는 동작 이외의 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 또는 동작의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 의미이다.

[0025] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조 부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가급적 동일한 부호를 부여하고 또한 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 구성 블록도로서, 본 발명에 따른 SML 비용함수 및 가설검증을 고려한 신호개수 추정 알고리즘의 구성 블록도이다. 각 단계 순서대로 설명한다.

[0029] 100: 수신신호로부터 FFT를 실행하여 공분산행렬을 생성

[0030] 도 2는 이 공분산행렬의 생성단계(100)를 나타내고, 수학식 1은 수신신호의 시평균을 이용한 공분산행렬을 나타낸다. 도 2에서 공분산 행렬 생성 과정을 살펴보면, 먼저 시간 데이터(time data)인 수신신호, 즉, 비트신호(beat signal)(110)를 제로패딩(zero padding)한다(120). 제로패딩은 출력 사이즈를 키우고 입력 맵의 픽셀들을 좀 더 많이 스캔하기 위해서 입력 맵 주위에 값이 0 인 픽셀을 채우는 과정이다. 그 후에 고속푸리에변환(FFT)을 수행하고(130) 양의 주파수영역을 취하여(140) Peak Bin을 추출하고 Bin 개수를 선택한다(150). 이 과정을 통해서 주파수 공분산행렬(수학식 1 참조)을 생성한다(160).

수학식 1

[0031]
$$\mathbf{R}_{xx} = E[\mathbf{x}(f)\mathbf{x}^H(f)]$$

[0033] 200: 단계 100에서 도 2와 같이 생성된 수신신호의 공분산 행렬을 SML 비용함수에 적용해서 도래각을 추정.

[0034] 도 3은 ULA(Uniform Linear Array) 안테나를 나타낸다. ULA 안테나는 배열을 구성하는 모든 안테나를 같은 크기의 전류로 여기하고 센서간에 등간격을 유지한다. ULA 안테나의 경우 평면파로 입사하는 신호들(S1, S2, S3)은 각각의 안테나에 대해 같은 도래각(DoA) 정보(θ)를 가지고 있다. 도래각 추정을 위한 SML 비용함수를 정의하기 위해서는 어레이벡터(array vector)가 정의되어야 한다. 그러나 신호로부터 각각의 센서까지의 거리가 다르기 때문에 시간지연(time-delay)이 발생한다. 이를 반영하여서 ULA 안테나에서의 어레이벡터는 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0035]
$$\Psi_m = \omega \times \text{Time delay} = \omega \frac{(m-1)\Delta}{c}$$

$$\mathbf{a}(\theta) = \begin{bmatrix} a_1(\theta) \\ \vdots \\ a_M(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \exp(j\Psi_1(\theta)) \\ \vdots \\ \exp(j\Psi_M(\theta)) \end{bmatrix}$$

[0036] 수학식 3은 SML 비용함수를 유도하기 위한 안테나 센서응답을 나타낸다.

수학식 3

$$\mathbf{x}(f) = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{s}(f) + \mathbf{n}(f)$$

[0037]

[0038] 샘플링된 안테나 센서응답값을 고속푸리에 변환하면 수학식 4와 같이 안테나 센서 응답을 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(f) &= \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{s}(f) + \mathbf{n}(f) \quad f = f_1, \dots, f_N \\ \left. \begin{aligned} f = f_1 &\rightarrow \mathbf{x}(f_1) = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{s}(f_1) + \mathbf{n}(f_1) \\ &\vdots \\ f = f_N &\rightarrow \mathbf{x}(f_N) = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{s}(f_N) + \mathbf{n}(f_N) \end{aligned} \right\} \rightarrow \mathbf{X}_N = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{S}_N + \mathbf{N}_N \quad \left\{ \begin{aligned} \mathbf{X}_N &= [\mathbf{x}(f_1) \ \dots \ \mathbf{x}(f_N)] \\ \mathbf{S}_N &= [\mathbf{s}(f_1) \ \dots \ \mathbf{s}(f_N)] \\ \mathbf{N}_N &= [\mathbf{n}(f_1) \ \dots \ \mathbf{n}(f_N)] \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

[0039]

[0040] 여기서 $\mathbf{s}(f_i)$ 는 신호를 나타내고 $\mathbf{n}(f_i)$ 는 잡음을 나타낸다. 그리고 N 은 선택된 FFT bin의 개수를 나타낸다. 평균을 0으로 가지고, 복소수값으로 구성되었으며, 가우시안 random process로 표현된다.

[0041] 첫번째 도레각에서의 공분산행렬은 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{x}(f_i)\mathbf{x}^H(f_i)\} = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\mathbf{S}_N\mathbf{A}^H(\boldsymbol{\theta}_0) + \sigma^2\mathbf{I}$$

[0042]

[0043] 공분산 행렬을 이용하여서 한 번의 관측 $\mathbf{x}(f_i)$ 에 대한 Likelihood 함수를 구하면 다음 수학식 6과 같다.

수학식 6

$$p_i(\mathbf{x}) = \frac{1}{\pi^M |\mathbf{R}|} e^{-\mathbf{x}^H(f_i)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{x}(f_i)}$$

[0044]

[0045] $\mathbf{x}(f_i)$ 가 독립적이고 동일하게 분포한다(iid: independent and identically distributed)고 가정하면 전체 관측에 대한 Likelihood 함수는 수학식 7과 같다. 수학식 7에서 M 은 안테나 센서의 개수이다.

수학식 7

$$p[\mathbf{x}(f_1), \dots, \mathbf{x}(f_N) | \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2] = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\pi^M |\mathbf{R}|} e^{-\mathbf{x}^H(f_i)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{x}(f_i)}$$

[0046]

[0047] $\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2$ 에 대한 SML 방법에 의한 추정치 (1)은 수학식 8로부터 구해진다.

수학식 8

$$[\hat{\boldsymbol{\theta}}, \hat{\mathbf{S}}, \hat{\sigma}^2] \triangleq \arg \max_{\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2} p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)$$

$$= \arg \max_{\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2} \log [p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)] = \arg \min_{\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2} (-\log [p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)])$$

[0048]

수학식 8에서 $-\log [p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)]$ 는 다음 수학식 9와 같이 주어진다.

[0049]

수학식 9

$$-\log [p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)] = -\sum_{i=1}^N \log \left[\frac{1}{\pi^M |\mathbf{R}|} e^{-\mathbf{x}^H(f_i) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{x}(f_i)} \right]$$

$$= MN \log \pi + N \log |\mathbf{R}| + \sum_{i=1}^N \mathbf{x}^H(f_i) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{x}(f_i)$$

$$= N \left(M \log \pi + \log |\mathbf{R}| + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}^H(f_i) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{x}(f_i) \right)$$

$$\equiv N (M \log \pi + l(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2))$$

[0050]

또한, 수학식 7의 $\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2$ 에 대한 SML 방법에 의한 추정치 (2)는 수학식 10으로 주어진다.

[0051]

수학식 10

$$[\hat{\boldsymbol{\theta}}, \hat{\mathbf{S}}, \hat{\sigma}^2] = \arg \min_{\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2} (-\log [p(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)]) = \arg \min_{\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2} \ell(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}, \sigma^2)$$

[0052]

수학식 10에서 $\hat{\mathbf{S}}(\boldsymbol{\theta})$ 는 추정된 신호 공분산행렬, $\hat{\sigma}^2(\boldsymbol{\theta})$ 는 추정된 잡음파워를 나타내는데 각각 수학식 11, 12와 같다.

[0053]

수학식 11

$$\hat{\mathbf{S}}(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{A}^\dagger \left([\hat{\mathbf{R}} - \hat{\sigma}^2(\boldsymbol{\theta}) \mathbf{I}] \boldsymbol{\theta} \right) (\mathbf{A}^\dagger)^H$$

[0054]

수학식 12

$$\hat{\sigma}^2(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{M-d} \text{Tr} \{ \mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}^\perp \hat{\mathbf{R}} \}$$

[0055]

한편, 수학식 11에서 \mathbf{A}^\dagger 는 \mathbf{A} 의 Pseudo Inverse를 의미한다. 수학식 12에서 $\mathbf{P}_{\mathbf{A}}^\perp$ 는 \mathbf{A}^H 의 영공간(null space)으로의 직교 투영행렬이다. 최종적으로 본 단계 200에서 SML 적용시의 도래각의 최종 추정치는 수학식 13과 같다.

[0056]

수학식 13

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} V_{\text{SML}}(\theta), \quad V_{\text{SML}}(\theta) = \log \left| \mathbf{A}(\theta) \hat{\mathbf{S}}(\theta) \mathbf{A}^H(\theta) + \hat{\sigma}^2(\theta) \mathbf{I} \right|$$

[0057]

[0059]

300: 교대 투영기법을 이용한 ML알고리즘에 대한 초기화 및 최적화

[0060]

이 단계는 다음과 같은 세부단계를 포함한다.

[0061]

1) 첫 입사신호의 도래각을 일정한 탐색 간격으로 변화하여 SML 비용함수 구하기

[0062]

2) 첫 입사신호의 초기 추정값으로 첫 도래각을 고정하기

[0063]

3) 두 번째 입사신호의 도래각을 일정한 탐색간격으로 변화시켜 SML 비용함수 구하기

[0064]

수학식 14는 최초 신호의 도래각 추정치 및 두 번째 신호의 도래각 추정치를 나타낸다.

수학식 14

Original AP Initialization Method with SML Cost Function

$$\begin{cases} \hat{\theta}_1^{(\text{SML},0)} = \arg \min_{\theta_1} \log \left| \mathbf{a}(\theta_1) \hat{\mathbf{S}}(\theta_1) [\mathbf{a}(\theta_1)]^H + \hat{\sigma}^2(\theta_1) \mathbf{I} \right| \\ \hat{\theta}_2^{(\text{SML},0)} = \arg \min_{\theta_2} \log \left| \mathbf{a}(\hat{\theta}_1^{(\text{SML},0)}) \hat{\mathbf{S}}(\hat{\theta}_1^{(\text{SML},0)}, \theta_2) [\mathbf{a}(\hat{\theta}_1^{(\text{SML},0)}) \mathbf{a}(\theta_2)]^H + \hat{\sigma}^2(\hat{\theta}_1^{(\text{SML},0)}, \theta_2) \mathbf{I} \right| \end{cases}$$

[0065]

[0067]

400: 도래각 추정치를 이용해서 SML 비용함수를 구하고 GLRT(Generalized Likelihood Ratio Test)를 적용.

[0068]

500: 신호의 개수를 추정.

[0069]

도 4는 도래각 추정치를 이용하여 신호개수를 추정하는 단계 400 및 500의 실행 과정을 나타낸다. 이하에서 사용된 변수 표기는 아래와 같다.

\hat{d} = 신호 추정치

γ = chi-square 분포에 따른 threshold 값

$M^2 - d^2 - pd - 1$ = 자유도

d = 신호의 개수

M = 안테나 개수

$p = 1$ (입사 신호의 방위각 추정값)

N = snapshot개수

[0070]

[0071]

410: $\hat{d} = 0$ 으로 설정한다.

[0072]

420: $\hat{d} = \hat{d}$ 라는 귀무가설(Null hypothesis) H_0 을 세운다. 즉, $H_0: d = \hat{d}$

[0073]

430: 위 귀무가설의 검증을 위해 $M^2 - d^2 - pd - 1$ 의 자유도(degree of freedom)를 갖는 카이제곱분포(chi-square distribution)의 꼬리부분(tail area)에 기반하여 문턱값 γ 를 설정한다.

[0074]

440: 상기 H_0 하에서 수학식 13의 $V_{\text{SML}}(\theta)$ 를 계산한다.

[0075] 450: 만일 $2N(V_{SML}(\hat{\theta}) - \log|\hat{R}|)$ 이 문턱값 γ 보다 크면, 추정 신호개수를 $\hat{d} = \hat{d} + 1$ 로 설정하여 다시 귀무가설 $H_0: \hat{d} = \hat{d}$ 로 돌아간다.

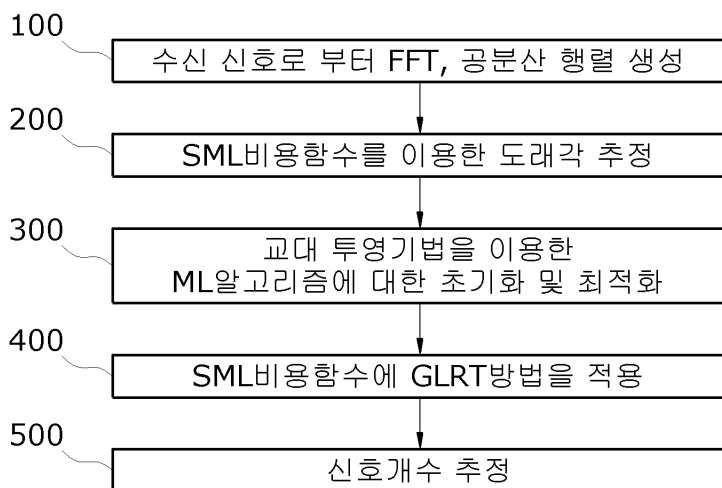
[0076] 460: 상기 단계에서 $2N(V_{SML}(\hat{\theta}) - \log|\hat{R}|)$ 이 문턱값 γ 보다 크지 않으면, 귀무가설 H_0 을 수용하고 절차를 종료한다.

[0078] 이상 본 발명의 방법적 실시예에서 설명한 구성요소들은, DSP(digital signal processor), 프로세서, 컨트롤러, ASIC(application-specific IC), 프로그래머블 로직소자(FPGA 등), 기타 전자소자 중의 적어도 하나 그리고 이들의 조합이 포함되는 하드웨어 요소로써 실현가능하다. 또한 본 발명의 방법적 실시예에서 설명한 기능(function) 또는 과정(process)은 소프트웨어로써 실현가능한데, 이 소프트웨어는 기록매체에 저장가능하다. 그리고 본 발명의 상기 방법적 실시예에서 설명한 구성요소, 기능, 과정은 하드웨어와 소프트웨어를 결합하여 실현가능하다.

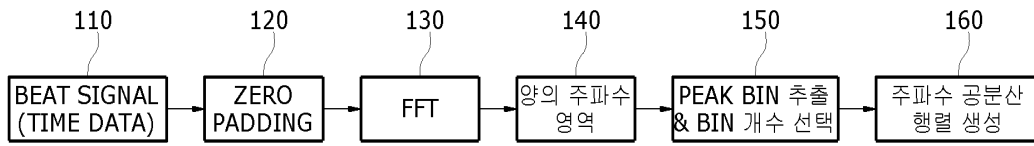
[0080] 이상, 본 발명의 바람직한 실시예를 통하여 본 발명의 구성을 상세히 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 본 명세서에 개시된 내용과는 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 제한적이지 않은 것으로 이해해야만 한다. 본 발명의 보호범위는 상기 상세한 설명보다는 후술한 특허청구범위에 의하여 정해지며, 특허청구의 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태는 본 발명의 기술적 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

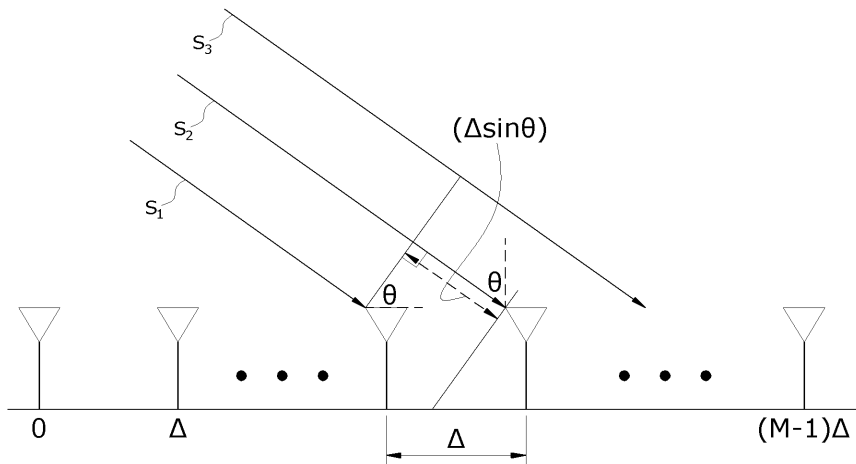
도면1



도면2



도면3



도면4

