(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0063000
(43) 공개일자 2008년07월03일

(51) Int. Cl.
H04B 7/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0015542
(22) 출원일자 2007년02월14일
심사청구일자 2007년02월14일
(30) 우선권주장
1020060138642 2006년12월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울 광진구 군자동 98 세종대학교
(72) 발명자
조상호
서울 광진구 군자동 98 세종대학교 충무관 907호
이준호
서울 광진구 군자동 98 세종대학교 충무관 918호
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 7 항

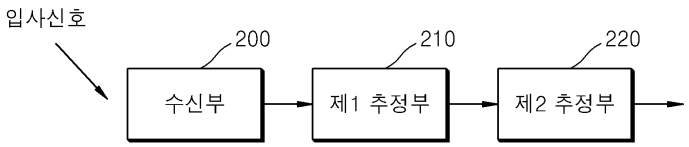
(54) 도래각 추정 장치 및 그 방법

(57) 요 약

본 발명은 도래각 추정 장치 및 그 방법을 개시한다.

입사되는 신호의 도래각을 추정하는 장치에 있어서, 입사되는 신호를 수신하는 수신부, 수신한 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하며, 그 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 제1추정부 및 제1추정부에서 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하고, 그 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 도래각 초기 추정치로 결정하는 제2추정부를 포함하여, 본 발명은 도래각 추정 알고리즘의 계산량 중 많은 부분을 차지하는 탐색 계산량을 줄임으로써 도래각 추정 알고리즘 실행 시간을 감소시키고, 기존의 방식과 달리 특정 범위에서 탐색 간격을 좁게 하여 성능을 개선시키는 효과를 제공한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

입사되는 신호의 도래각을 추정하는 장치에 있어서,

상기 입사되는 신호를 수신하는 수신부;

상기 수신한 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하며, 그 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 제1추정부; 및

상기 제1추정부에서 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하고, 그 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 도래각 초기 추정치로 결정하는 제2추정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 도래각 추정 장치.

청구항 2

입사되는 신호의 도래각을 추정하는 방법에 있어서,

(a) 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하는 단계;

(b) 상기 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 단계;

(c) 상기 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하는 단계; 및

(d) 상기 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 초기 추정치로 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (a) 단계에서의 탐색은 입사신호의 도래각을 0도부터 360도까지의 범위에서 실시되는 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 (a) 단계에서의 비용함수는 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며,

상기 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각,

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{1(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{SML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_1} V_{DML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_1} V_{WSF}(\theta_1) \end{cases}$$

$$0 \le \theta_1 < 360,\ \theta_1 = j_1 4\Delta,\ \ j_1 = 0,\cdots,\left\lfloor \frac{360}{4\Delta} \right\rfloor$$

인 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 (c) 단계의 비용함수는 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며,

상기 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각,

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{SML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{DML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)} = \arg\min_{\theta_1} V_{WSF}(\theta_1) \end{cases}$$

$$\hat{\theta}_{1(1st)} - 4\Delta \le \theta_1 \le \hat{\theta}_{1(1st)} + 4\Delta,\ \theta_1 = \hat{\theta}_{1(1st)} - 4\Delta + j_2 \frac{\Delta}{2},\ \ j_2 = 0,\cdots,16$$

인 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

청구항 6

제2항, 제4항 또는 제5항 중의 어느 항에 있어서,

상기 입사된 신호가 2개인 경우 첫 번째 신호에 대해 상기 (a) 내지 (d) 단계를 실행하여 첫 번째 신호에 대한 입사각을 추정한 후에, 두 번째 신호에 대해서도 상기 (a) 내지 (d) 단계를 실행하여 두 번째 신호에 대한 입사각을 추정하는 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 두번째 신호에 대한 상기 (a) 단계에서의 비용함수는 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며,

상기 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각,

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{2(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_2} V_{SML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{DML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{WSF}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)}, \theta_2]\right) \end{cases}$$

$$0 \le \theta_2 < 360,\ \theta_2 = k_1 4\Delta,\ k_1 = 0, \cdots, \left\lfloor \frac{360}{4\Delta} \right\rfloor$$

이며,

상기 두번째 신호에 대한 상기 (c) 단계의 비용함수는 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며,

상기 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각,

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{2(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_2} V_{SML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{DML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{WSF}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)}, \theta_2]\right) \end{cases}$$

$$\hat{\theta}_{2(1st)} - 4\Delta \le \theta_2 \le \hat{\theta}_{2(1st)} + 4\Delta,\ \theta_2 = \hat{\theta}_{2(1st)} - 4\Delta + k_2 \frac{\Delta}{2},\ k_2 = 0, \cdots, 16$$

인 것을 특징으로 하는 도래각 추정 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<8> 본 발명은 통신 분야에 대한 것으로, 더 자세히는 전송되는 신호를 분리 추정하는 도래각 추정 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

<9> 도 1은 원형배열센서를 적용한 종래의 공간 스펙트럼 추정 시스템의 개요를도시한 것이다.

<10> 전파, 음파(수중 또는 대기중), 지진파와 같은 파동의 입사방향을 추정하기 위해서 종래에는 도 1과 같이, 센서를 여러 개 배열한 배열센서부(100)와, 이 센서로부터 신호를 수신하는 신호 수신부(110), 수신된 신호에 알고리즘을 적용하여 공간 스펙트럼을 추정하는 연산처리부(120), 그리고 최종 결과를 도시하는 공간 스펙트럼 표시부(130)로 구성되는 장치를 일반적으로 사용한다. 여기에서 배열센서부(100)의 센서는 전파의 경우에는 안테나,

음파의 경우에는 마이크로폰, 수중 음파의 경우에는 하이드로폰 그리고 지진파의 경우에는 지오폰을 사용한다.

<11> 이러한 배열센서에서 수신한 신호를 이용하여 신호의 방향을 추정하는 알고리즘을 도래각 추정 알고리즘이라고 한다.

<12> 일반적인 배열 구조의 센서를 이용해서 추정을 하기 위해 ML(Maximum Likelihood) 방법을 적용할 수 있다. 이 ML 방법의 문제점은 최적화를 수행하는 계산량이 매우 많다는 것이며, 계산량 감소를 위하여 AP(Alternating Projection) 방법을 이용한다. 그러나 이와 같은 방법도 계산량을 줄이는데 있어서는 효율적인 방안을 아직 제공하지 못하고 있는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<13> 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는, 상기의 문제점들을 해결하기 위해,

<14> 본 발명은 원형배열 안테나에 입사하는 다중 경로파 도래각 추정을 위한 ML 알고리즘에 적용되는 AP 초기화 방법의 계산량 감소를 위해 반사파가 있는 다중경로파 환경에서의 도래각 추정 알고리즘을 ML 알고리즘으로 구현할 경우의 도래각 추정을 한다.

발명의 구성 및 작용

<15> 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 의한, 도래각 추정 장치는, 입사되는 신호의 도래각을 추정하는 장치에 있어서, 상기 입사되는 신호를 수신하는 수신부; 상기 수신한 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하며, 그 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 제1추정부; 및 상기 제1추정부에서 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하고, 그 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 도래각 초기 추정치로 결정하는 제2추정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<16> 상기 다른 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 의한, 도래각 추정 방법은, 입사되는 신호의 도래각을 추정하는 방법에 있어서, (a) 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하는 단계; (b) 상기 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 단계; (c) 상기 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하는 단계; 및 (d) 상기 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 초기 추정치로 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<17> 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예를 상세히 설명한다.

<18> 도 2는 본 발명에 따른 도래각 추정 장치의 구성을 블록으로 도시한 것이다.

<19> 이 장치는 입사되는 신호를 수신하는 수신부(200), 상기 수신한 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하며, 그 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 제1추정부(210) 및 제1추정부(210)에서 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하고, 그 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 초기 추정치로 결정하는 제2추정부(220)를 포함한다.

<20> 도 3은 본 발명에 따른 도래각 추정 방법의 흐름을 도시한 것이다.

<21> 입사되는 신호의 입사각을 추정하는 이 방법에서, 제1추정부(210)는 수신부(200)를 통해 수신된 신호의 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하여 공간 스펙트럼을 1차로 계산한다(300 단계). 그리고 상기 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정한다(310 단계).

<22> 제2추정부(220)는 상기 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하여 공간 스펙트럼을 2차로 계산한다(320 단계). 그리고 상기 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 초기 추정치로 최종 결정한다(330 단계).

<23> 입사되는 신호가 더 있는 경우(340 단계), 300 단계부터 다시 반복하여 더 있는 입사되는 신호의 도래각을 다시

추정한다.

<24> 이하의 설명에서 입사각과 도래각은 별도 구분할 필요가 없는 이상 실질적으로 동일한 의미로 사용된다.

<25> 일반적으로 등간격으로 배열된 M개의 안테나로 이루어진 반지름 r 인 원형배열 안테나의 위치를 나타내는 벡터는 다음과 같이 주어진다.

수학식 1

$$\mathbf{z}_m = r\cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right)\hat{\mathbf{x}} + r\sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right)\hat{\mathbf{y}} + 0\hat{\mathbf{z}}$$

<26>

<27> 방위각 Θ, 앙각 Φ의 방향에서 입사하는 신호에 대한 방향벡터는 다음과 같이 주어진다.

수학식 2

$$\kappa = \cos(\theta)\cos(\phi)\hat{\mathbf{x}} + \sin(\theta)\cos(\phi)\hat{\mathbf{y}} + \sin(\phi)\hat{\mathbf{z}}$$

<28>

<29> 따라서, 배열 안테나간의 위상차는 다음과 같이 구해진다.

수학식 3

$$\begin{aligned}
\Psi_m &= \omega \times \text{Time delay} = \omega \times \tau_m = \omega\frac{\kappa^T \mathbf{z}_m}{c} = 2\pi\frac{\kappa^T \mathbf{z}_m}{\lambda} \\
&= 2\pi\frac{r}{\lambda}\left[\cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right)\cos(\theta)\cos(\phi) + \sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right)\sin(\theta)\cos(\phi)\right] \\
&= 2\pi\frac{r}{\lambda}\left[\cos\left(\theta - \frac{2\pi m}{M}\right)\cos(\phi)\right] \quad m = 1,\cdots,M \\
&= 2\pi\frac{r}{\lambda}\left[\cos\left(\theta - \frac{2\pi m}{M}\right)\right] \quad \phi = 0 \quad m = 1,\cdots,M
\end{aligned}$$

<30>

<31> 위상차를 이용하여 원형 안테나의 어레이매니폴드를 구하면 다음과 같이 주어진다.

수학식 4

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

<32>

<33> 도래각의 개수를 d, 배열을 구성하는 안테나 개수를 M으로 나타낼 때, 배열 안테나에 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{x}(t)=\begin{bmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_M(t) \end{bmatrix}=\sum_{i=1}^{d}\begin{bmatrix} a_1(\theta_i) \\ \vdots \\ a_M(\theta_i) \end{bmatrix}s_i(t)+\begin{bmatrix} n_1(t) \\ \vdots \\ n_M(t) \end{bmatrix}$$
$$=\left[\mathbf{a}(\theta_1) \quad \cdots \quad \mathbf{a}(\theta_d)\right]\left[s_1(t) \quad \cdots \quad s_d(t)\right]^T+\mathbf{n}(t)$$
$$=\mathbf{A}(\theta)\mathbf{s}(t)+\mathbf{n}(t)$$

<34>

<35> Snapshot의 개수가 N이라고 가정하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\left.\begin{array}{l} t=t_1 \rightarrow \mathbf{x}(t_1)=\mathbf{A}(\theta_0)\mathbf{s}(t_1)+\mathbf{n}(t_1) \\ \vdots \\ t=t_N \rightarrow \mathbf{x}(t_N)=\mathbf{A}(\theta_0)\mathbf{s}(t_N)+\mathbf{n}(t_N) \end{array}\right\} \rightarrow \mathbf{X}_N=\mathbf{A}(\theta_0)\mathbf{S}_N+\mathbf{N}_N$$

<36>

<37> 신호 s(ti) 와 잡음 n(ti)를 독립적(independent), 평균 0 (zero mean),

<38> 복소정규분포를 갖는 랜덤 과정 (complex Gaussion random process)으로 가정하면 다음이 성립한다.

수학식 7

$$E\left\{\mathbf{s}(t_i)\mathbf{s}^H(t_j)\right\}=\mathbf{S}\delta_{ij} \quad E\left\{\mathbf{n}(t_i)\mathbf{n}^H(t_j)\right\}=\sigma^2\mathbf{I}\delta_{ij}$$
$$E\left\{\mathbf{s}(t_i)\mathbf{s}^T(t_j)\right\}=\mathbf{0} \quad E\left\{\mathbf{n}(t_i)\mathbf{n}^T(t_j)\right\}$$

<39>

<40> 배열 공분산(array covariance)은 다음과 같이 주어진다.

수학식 8

$$\mathbf{R}=E\left\{\mathbf{x}(t_i)\mathbf{x}^H(t_i)\right\}=\mathbf{A}(\theta_0)\mathbf{S}_N\mathbf{A}^H(\theta_0)+\sigma^2\mathbf{I}$$

<41>

<42> ML (Maximum Likelihood) 추정법은 Likelihood를 정의한 후, likelihood 함수를 최대화하는 미지의 인자의 값을 인자에 대한 추정치로 취한다. 관측되는 데이터의 가능성을 가장 높게 하는 인자를 선택하는 방법이다. 신호를 Gaussian random process로 모델하는 Stochastic ML(SML)과 신호를 미지의 정해진(deterministic) 양으로 모델하는 Deterministic ML(DML) 방법이 있다.

<43> SML 방법에서 신호는 정규분포를 가진 정적인(stationary), stochastic 과정으로 가정하며, 2차 모멘트 특성은 다음과 같다.

수학식 9

$$E\left\{\mathbf{x}(t_i)\mathbf{x}^H(t_j)\right\} = \mathbf{R}\delta_{ij} = \left[\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{S}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{A}^H(\boldsymbol{\theta}) + \sigma^2\mathbf{I}\right]\delta_{ij}$$
$$E\left\{\mathbf{x}(t_i)\mathbf{x}^T(t_j)\right\} = \mathbf{0}$$

<44>

<45> 이 때, 한 번의 관측 x(ti)에 대한 likelihood 함수는 다음과 같이 주어진다.

수학식 10

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

<46>

<47> Snapshot 사이의 관측이 독립적이고 동일하게 분포한다고 가정하면 전체 관측에 대한 likelihood 함수는 다음과 같다.

수학식 11

$$p\left[\mathbf{x}(t_1),\cdots,\mathbf{x}(t_N)\,|\,\boldsymbol{\theta},\mathbf{S},\sigma^2\right] = \prod_{i=1}^{N}\frac{1}{\pi^M|\mathbf{R}|}e^{-\mathbf{x}^H(t_i)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{x}(t_i)}$$

<48>

<49> 따라서, $\boldsymbol{\theta},\mathbf{S},\sigma^2$ 에 대한 SML 방법에 의한 추정치는 다음 식으로부터 구해진다.

수학식 12

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

<50>

$$-\log\left[p\left(\boldsymbol{\theta},\mathbf{S},\sigma^2\right)\right]$$

<51> 위의 식에서 는 다음과 같이 주어진다.

수학식 13

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

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

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

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

<52>

<53> 따라서, $\boldsymbol{\theta},\mathbf{S},\sigma^2$ 에 대한 SML 추정치는 다음 식으로부터 구해진다.

수학식 14

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

<54>

<55> 위의 식으로부터 유도과정을 거쳐, SML 방법을 이용한 Θ 에 대한 최종 추정치는 다음 식으로부터 주어진다.

수학식 15

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

<56>

<57> DML 방법은 송신신호원을 미지의 결정적 신호로 모델링한다. 따라서, 송신신호원의 2차 모멘트는 다음과 같이 주어진다.

수학식 16

$$E\left\{\mathbf{x}\left(t_i\right)\right\}=\mathbf{A}\left(\boldsymbol{\theta}\right)\mathbf{s}\left(t_i\right)$$

$$E\left\{\left(\mathbf{x}\left(t_i\right)-E\left\{\mathbf{x}\left(t_i\right)\right\}\right)\left(\mathbf{x}\left(t_j\right)-E\left\{\mathbf{x}\left(t_j\right)\right\}\right)^H\right\}=\sigma^2\mathbf{I}\delta_{ij}$$

$$E\left\{\left(\mathbf{x}\left(t_i\right)-E\left\{\mathbf{x}\left(t_i\right)\right\}\right)\left(\mathbf{x}\left(t_j\right)-E\left\{\mathbf{x}\left(t_j\right)\right\}\right)^T\right\}=0$$

<58>

<59> 전체 snapshot 관측에 대한 likelihood 함수는 다음과 같다.

수학식 17

$$P\left[\mathbf{x}(t_1),\cdots,\mathbf{x}(t_N)\middle|\boldsymbol{\theta},\mathbf{S}_N,\sigma^2\right]=\prod_{i=1}^{N}\frac{1}{\left|\pi\sigma^2\mathbf{I}\right|}e^{-\sigma^{-2}\left[\mathbf{x}(t_i)-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s}(t_i)\right]^H\left[\mathbf{x}(t_i)-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{s}(t_i)\right]}$$

$$-\log\left[p\left(\boldsymbol{\theta},\mathbf{S}_N,\sigma^2\right)\right]=NM\log\left(\pi\sigma^2\right)+\sigma^{-2}\mathrm{Tr}\left\{\left[\mathbf{X}_N-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{S}_N\right]^H\left[\mathbf{X}_N-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{S}_N\right]\right\}$$

$$=NM\log\left(\pi\sigma^2\right)+\sigma^{-2}\mathrm{Tr}\left\|\mathbf{X}_N-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{S}_N\right\|_F^2$$

<60>

<61> 따라서, $\boldsymbol{\theta},\mathbf{S},\sigma^2$ 에 대한 DML 추정치는 다음 식으로부터 구해진다.

수학식 18

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

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

<62>

<63> 위의 식을 정리하면 DML 방법을 이용한 Θ 에 대한 최종 추정치는 다음과 같이 주어진다.

수학식 19

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}=\arg\min_{\boldsymbol{\theta}}V_{\mathrm{DML}}\left(\boldsymbol{\theta}\right),\qquad V_{\mathrm{DML}}\left(\boldsymbol{\theta}\right)=\mathrm{Tr}\left\{\mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}^{\perp}\hat{\mathbf{R}}\right\}$$

<64>

<65> 공분산 행렬에 대한 eigen-decomposition 은 다음과 같이 주어진다.

수학식 20

$$\mathbf{R}=\sum_{i=1}^{M}\lambda_i\mathbf{e}_i\mathbf{e}_i^H=\mathbf{E}_s\boldsymbol{\Lambda}_s\mathbf{E}_s^H+\sigma^2\mathbf{E}_n\mathbf{E}_n^H$$

<66>

<67> 여기서, $\boldsymbol{\Lambda}_s$ 은 고유치로 구성된 행렬, $\mathbf{E}_s$ 은 신호고유벡터로 구성된 행렬, $\mathbf{E}_n$ 은 잡음고유벡터로 구성된 행렬을 나타낸다. 신호고유벡터로 구성된 행렬의 열공간(column space)는 실제 신호의 신호고유벡터 입사각에 해당하는 어레이매니폴드로 구성된 행렬의 열공간에 포함된다.

수학식 21

$$\mathrm{Range}\{\mathbf{E}_s\}\subseteq\mathrm{Range}\{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_0)\}$$

<68>

<69> 위의 식으로부터, $\mathbf{E}_s=\mathbf{A}\left(\boldsymbol{\theta}_0\right)\mathbf{T}$ 를 만족하는 행렬 T가 존재한다. 따라서, $\mathbf{T}$, θ 에 대한

WSF(Weighted Subspace Fitting) 추정치는 다음으로부터 구해진다.

수학식 22

$$[\hat{\theta},\hat{\mathrm{T}}]=\arg\min_{\theta,\mathrm{T}}\left\|\hat{\mathrm{E}}_S-\mathrm{A}(\theta)\mathrm{T}\right\|_W^2 \qquad \|\mathrm{A}\|_W^2\equiv\mathrm{Tr}\left\{\mathrm{AWA}^H\right\}$$

<70>

<71> 여기서, W 행렬은 지정해야 할 가중치 행렬이다. 위의 식을 정리하면, WSF 방법을 이용한 Θ에 대한 최종 추정치는 다음과 같이 주어진다.

수학식 23

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}=\arg\min_{\boldsymbol{\theta}}V_{\mathrm{WSF}}(\boldsymbol{\theta})$$

$$V_{\mathrm{WSF}}(\boldsymbol{\theta})=\left\|\hat{\mathbf{E}}_S-\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{A}^{\dagger}(\boldsymbol{\theta})\hat{\mathbf{E}}_S\right\|_W^2=\left\|\left\{\mathbf{I}-\mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}\right\}\hat{\mathbf{E}}_S\right\|_W^2$$

$$=\mathrm{Tr}\left\{\mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}^{\perp}\hat{\mathbf{E}}_S\mathbf{W}\hat{\mathbf{E}}_S^{H}\mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}^{\perp}\right\}=\mathrm{Tr}\left\{\mathbf{P}_{\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}^{\perp}\hat{\mathbf{E}}_S\mathbf{W}\hat{\mathbf{E}}_S^{H}\right\}$$

<72>

<73> 신호가 2 개 입사할 경우 $\boldsymbol{\theta}=[\theta_1,\theta_2]$이고, 그에 따른 어레이매니폴드는 $\mathbf{A}(\theta_1,\theta_2)=[\mathbf{a}(\theta_1),\mathbf{a}(\theta_2)]$ 이다.

<74> 입사 신호가 2개인 경우에 대한 기존의 통상적인 AP 초기화 방법은 다음과 같다. 사용되는 알고리즘에 따라 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중 하나가 비용함수로 이용된다. 첫 번째 입사신호의 도래각을 0도부터 360도까지 일정한 탐색간격($\triangle$ = 빔폭/4)으로 변화하며 비용함수를 구한다. 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 첫 번째 입사신호에 대한 초기 추정치로 결정한다. 이 과정을 식으로 표현하면 다음과 같다.

수학식 24

$$\begin{cases}\hat{\theta}_1^{(\mathrm{SML})}=\arg\min_{\theta_1}V_{\mathrm{SML}}(\theta_1)\\ \hat{\theta}_1^{(\mathrm{DML})}=\arg\min_{\theta_1}V_{\mathrm{DML}}(\theta_1)\\ \hat{\theta}_1^{(\mathrm{WSF})}=\arg\min_{\theta_1}V_{\mathrm{WSF}}(\theta_1)\end{cases}$$

$$0\le\theta_1<360,\quad \theta_1=j\Delta,\quad j=0,\cdots,\left\lfloor\frac{360}{\Delta}\right\rfloor$$

<75>

<76> 첫 번째 입사신호의 초기 추정값으로 첫 도래각을 고정한 후, 두 번째 입사신호의 도래각을 0도부터 360도까지 일정한 탐색간격($\triangle$ = 빔폭/4)으로 변화하며 비용함수를 구한다. 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 두 번째 입사신호에 대한 초기 추정값으로 결정한다. 이 과정을 식으로 표현하면 다음과 같다.

수학식 25

$$\begin{cases} \hat{\theta}_2^{(\mathrm{SML})} = \arg\min_{\theta_2} V_{\mathrm{SML}}\left([\hat{\theta}_1^{(\mathrm{SML})}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_2^{(\mathrm{DML})} = \arg\min_{\theta_2} V_{\mathrm{DML}}\left([\hat{\theta}_1^{(\mathrm{DML})}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_2^{(\mathrm{WSF})} = \arg\min_{\theta_2} V_{\mathrm{WSF}}\left([\hat{\theta}_1^{(\mathrm{WSF})}, \theta_2]\right) \end{cases}$$

$$0 \le \theta_2 < 360,\ \theta_2 = k\Delta,\quad k = 0, \cdots, \left\lfloor \frac{360}{\Delta} \right\rfloor$$

<77>

<78> 기존의 AP 초기화 방법에서는 이런 과정을 통하여 두 개의 입사신호 도래각에 대한 초기 추정치 $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$ 를 구한다.

<79> 본 발명에 따른 밑에서의 예는 입사 신호가 2개인 경우에 대한 것이며, 본 발명에 따라 입사 신호가 2개인 경우에 대한 개선된 AP 초기화 방법은 다음과 같다.

<80> 첫 번째 입사신호의 도래각을 0도부터 360도까지 일단계 탐색 간격(4 $\triangle$ =빔폭)으로 변화시키며, 도 4와 같이 각 지점에 해당하는 비용함수를 구하고, 그 중 가장 작은 값을 찾는다. 그리고 나서, 그 값에 해당하는 θ_1 을 일단계 추정값으로 결정하고, 이와 같이 결정된 추정값을 기준으로 빔폭 이내의 범위를 이단계 탐색범위로 결정한다.

<81> 도 4에서의 비용함수는 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며, 상기 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 26

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{1(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{SML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_1} V_{DML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_1} V_{WSF}(\theta_1) \end{cases}$$

$$0 \le \theta_1 < 360,\ \theta_1 = j_1 4\Delta,\ \ j_1 = 0,\cdots,\left\lfloor \frac{360}{4\Delta} \right\rfloor$$

<82>

<83> 앞에서 구한 이단계 탐색 범위에서 탐색 간격을 이단계 탐색 간격 (Δ /2=빔폭/8)으로 변화하며 도 5와 같이 각 지점에 해당하는 비용함수를 구하고, 그 중 가장 작은 값을 찾는다. 그리고 나서, 그 값에 해당하는 θ_1 을 이단계 추정값으로 결정한다. 이 추정값을 첫 번째 입사신호에 대한 초기추정치로 결정한다.

<84> 도 5에서의 비용함수도 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며, 그 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 27

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{SML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)} = \arg\min_{\theta_1} V_{DML}(\theta_1) \\ \hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)} = \arg\min_{\theta_1} V_{WSF}(\theta_1) \end{cases}$$

$$\hat{\theta}_{1(1st)} - 4\Delta \le \theta_1 \le \hat{\theta}_{1(1st)} + 4\Delta,\ \theta_1 = \hat{\theta}_{1(1st)} - 4\Delta + j_2 \frac{\Delta}{2},\ \ j_2 = 0,\cdots,16$$

<85>

<86> 첫 번째 입사신호의 초기 추정치로 첫 번째 도래각을 고정한 후, 두 번째 입사신호의 도래각을 0도부터 360도까지 일단계 탐색 간격 빔폭으로 변화하며 도 6과 같이 각 지점에 해당하는 비용함수를 구하고, 그 중 가장 작은 값을 찾는다. 그리고 나서, 그에 해당하는 θ_2 를 일단계 추정값으로 결정하고, 이 값을 기준으로 빔폭 이내의 범위를 이단계 탐색범위로 결정한다.

<87> 도 6에서의 비용함수도 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며, 그 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 28

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{2(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_2} V_{SML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{DML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{WSF}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)}, \theta_2]\right) \end{cases}$$

$$0 \le \theta_2 < 360,\ \theta_2 = k_1 4\Delta,\ k_1 = 0, \cdots, \left\lfloor \frac{360}{4\Delta} \right\rfloor$$

<88>

<89> 앞에서 구한 이단계 탐색 범위에서 탐색간격을 이단계 탐색 간격 (△/2=빔폭/8)으로 변화하며 도 7과 같이 각 지점에 해당하는 비용함수를 구하고, 그 중 가장 작은 값을 찾는다. 그리고 나서, 그 값에 해당하는 θ_2 를 이 단계 추정값으로 결정한다. 이 추정된 값을 두 번째 입사신호에 대한 초기추정치로 결정한다.

<90> 도 7에서의 비용함수도 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수 중의 어느 하나를 사용할 수 있으며, 그 SML 비용함수, DML 비용함수, WSF 비용함수는 각각 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 29

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{2(1st)}^{(SML)} = \arg\min_{\theta_2} V_{SML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(SML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(DML,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{DML}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(DML)}, \theta_2]\right) \\ \hat{\theta}_{2(1st)}^{(WSF,1)} = \arg\min_{\theta_2} V_{WSF}\left([\hat{\theta}_{1(2nd)}^{(WSF)}, \theta_2]\right) \end{cases}$$

$$\hat{\theta}_{2(1st)} - 4\Delta \le \theta_2 \le \hat{\theta}_{2(1st)} + 4\Delta,\ \theta_2 = \hat{\theta}_{2(1st)} - 4\Delta + k_2 \frac{\Delta}{2},\ k_2 = 0, \cdots, 16$$

<91>

<92> 본 발명에 따라 개선된 AP 초기화 방법에서는 이런 과정을 통하여 두 개의 입사신호 도래각에 대한 초기 추정치 $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$ 를 구하게 된다.

<93> 본 발명은 원형배열 안테나를 이용한 다중경로파 신호의 입사 도래각 추정 알고리즘을 개선한 것이며, 이를 통해 계산량을 줄일 수 있는 방안을 제공한 것이다.

<94> 원형 배열안테나에 다중경로파가 입사할 경우 ML 알고리즘을 이용해야 한다. ML 알고리즘은 본질적으로 다변수 최적화 문제이며, 초기값을 반드시 구해야 하는데, 본 발명은 이와 같은 초기값을 구하는 효과적인 방안을 제공한 것이다.

<95> 상기의 설명에 개시된 것과 같이 본 발명은 각각의 입사신호에 대해서 이단계로 이루어진다. 일단계는 탐색 간격을 빔폭과 같게 적용하여 초기값을 구하고, 이단계는 일단계에서 구한 초기값 중심으로 빔폭이내의 범위에서

빔폭이 8배의 탐색 간격과 같게 적용하여 최종 초기값을 정한다.

<96> 상기의 설명들과 같이 본 발명에 의하면, 기존의 탐색 간격 선택법보다 계산량을 감소시킬 수 있는 효과를 제공한다.

<97> 상기의 설명과 같이 본 발명을 통해 탐색간격을 늘려서 계산되는 양을 줄이게 되어, 입사신호에 대한 입사각 또는 도래각을 계산하는 시간을 대폭 줄일 수 있다는 것을 알 수 있으며, 탐색 간격을 줄였지만 계산의 정밀도는 떨어지지 않도록 새로운 계산식을 제시하여 결과적으로 종래의 경우에 비해 계산량을 줄어들게 하는 효과를 제공할 수 있는 것을 알 수 있다.

<98> 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 본 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 상기의 설명에 포함된 예들은 본 발명에 대한 이해를 위해 도입된 것이며, 이 예들은 본 발명의 사상과 범위를 한정하지 않는다. 상기의 예들 외에도 본 발명에 따른 다양한 실시 태양이 가능하다는 것은, 본 발명이 속한 기술 분야에 통상의 지식을 가진 사람에게는 자명할 것이다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

<99> 또한 본 발명에 따른 상기의 각 단계는 일반적인 프로그래밍 기법을 이용하여 소프트웨어적으로 또는 하드웨어적으로 다양하게 구현할 수 있다는 것은 이 분야에 통상의 기술을 가진 자라면 용이하게 알 수 있는 것이다.

<100> 그리고 본 발명의 일부 단계들은, 또한, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, CD-RW, 자기 테이프, 플로피디스크, HDD, 광 디스크, 광자기 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 저장되고 실행될 수 있다.

발명의 효과

<101> 입사되는 신호의 입사각을 추정하는 장치에 있어서, 입사되는 신호를 수신하는 수신부, 수신한 입사신호의 도래각을 빔폭의 탐색 간격으로 비용함수를 구하며, 그 비용함수 중에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 일단계 도래각 추정값으로 결정하는 제1추정부 및 제1추정부에서 결정된 일단계 도래각 추정값을 중심으로 빔폭이 탐색 간격의 8배와 같도록 탐색 간격을 조정하여 비용함수를 구하고, 그 구해진 비용함수에서 최적의 비용함수를 나타내는 도래각을 선택하여 이단계 추정값으로 결정하여 상기 입사되는 신호의 초기 추정치로 결정하는 제2추정부를 포함하여, 본 발명은 도래각 추정 알고리즘의 계산량 중 많은 부분을 차지하는 탐색 계산량을 줄임으로써 도래각 추정 알고리즘 실행 시간을 감소시키고, 기존의 방식과 달리 특정 범위에서 탐색 간격을 좁게 하여 성능을 개선시키는 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 종래의 공간 스펙트럼 추정 시스템의 개요를 도시한 것이다.

<2> 도 2는 본 발명에 따른 도래각 추정 장치의 구성을 블록으로 도시한 것이다.

<3> 도 3은 본 발명에 따른 도래각 추정 방법의 흐름을 도시한 것이다.

<4> 도 4는 첫 번째 신호의 도래각 1에 대한 1단계 탐색을 도시한 것이며,

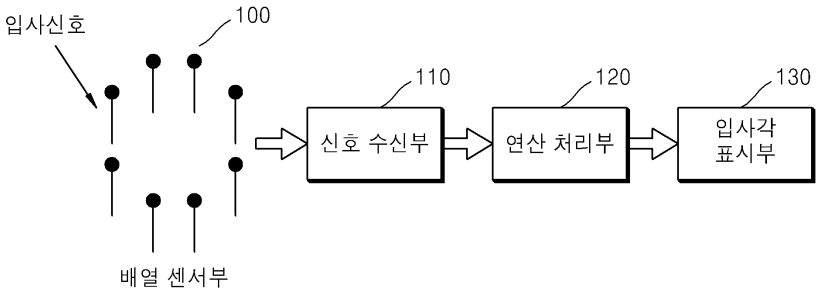
<5> 도 5는 첫 번째 신호의 도래각 1에 대한 2단계 탐색을 도시한 것이며,

<6> 도 6은 두 번째 신호의 도래각 2에 대한 1단계 탐색을 도시한 것이며,

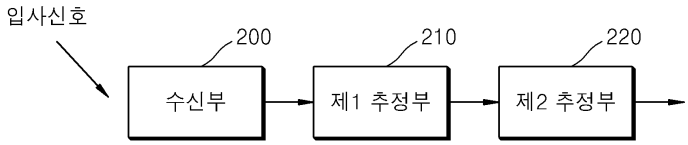
<7> 도 7은 두 번째 신호의 도래각 2에 대한 2단계 탐색을 도시한 것이다.

도면

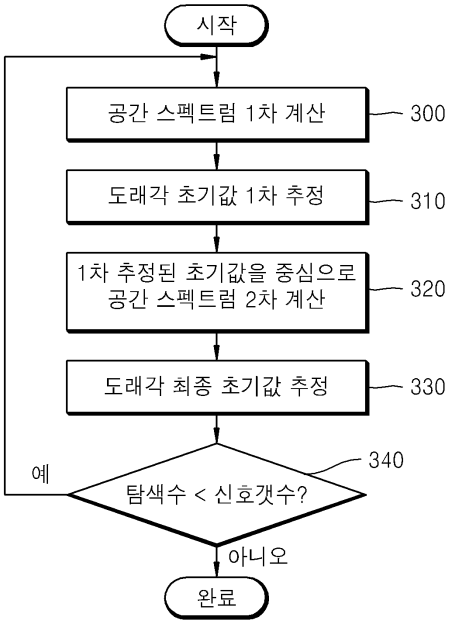
도면1



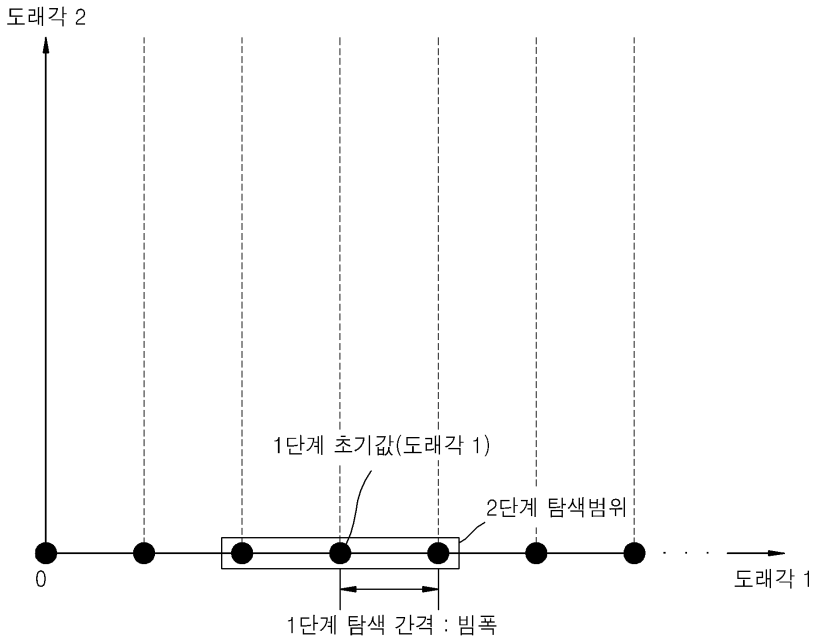
도면2



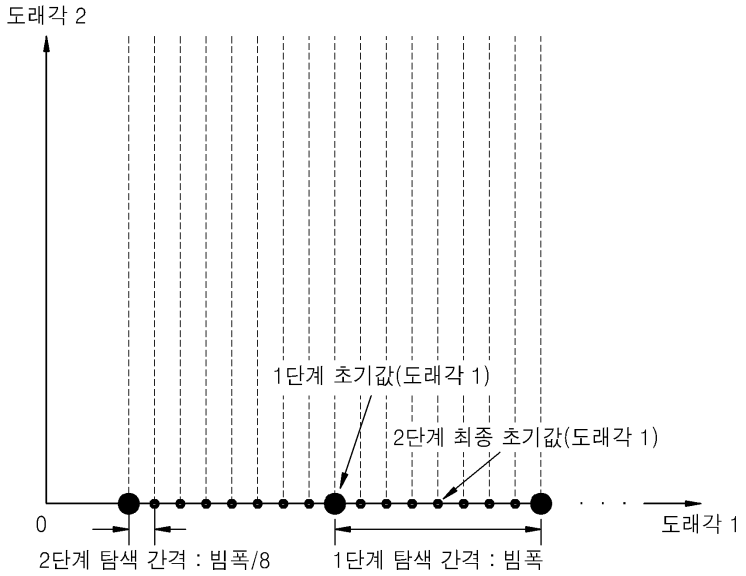
도면3



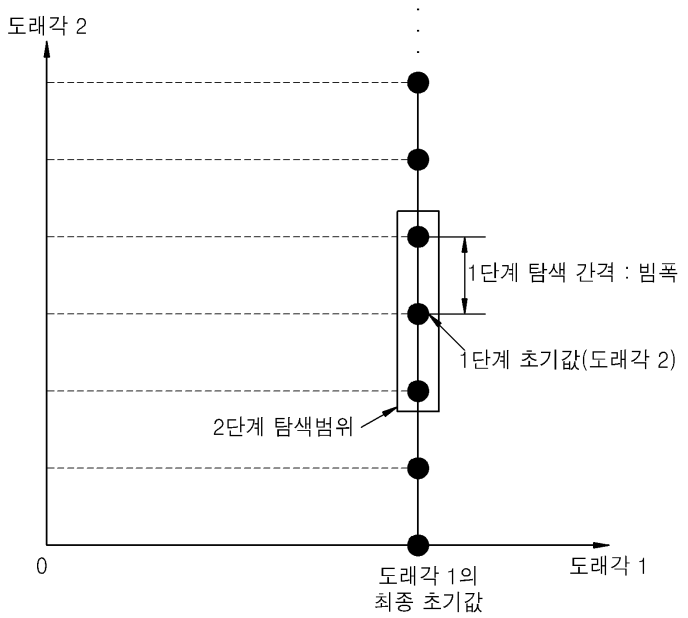
도면4


도래각 2
1단계 초기값(도래각 1)
2단계 탐색범위
0
도래각 1
1단계 탐색 간격 : 빔폭

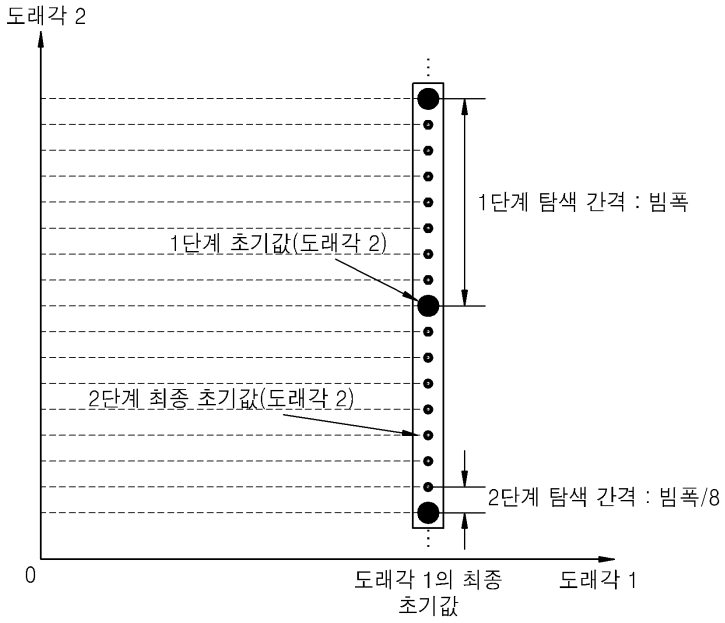
도면5


도래각 2
1단계 초기값(도래각 1)
2단계 최종 초기값(도래각 1)
0
도래각 1
2단계 탐색 간격 : 빔폭/8
1단계 탐색 간격 : 빔폭

도면6


도래각 2
1단계 탐색 간격 : 빔폭
1단계 초기값(도래각 2)
2단계 탐색범위
0
도래각 1의
최종 초기값
도래각 1

도면7


도래각 2
1단계 탐색 간격 : 빔폭
1단계 초기값(도래각 2)
2단계 최종 초기값(도래각 2)
2단계 탐색 간격 : 빔폭/8
0
도래각 1의 최종
초기값
도래각 1