



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월25일
(11) 등록번호 10-1332753
(24) 등록일자 2013년11월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 19/35 (2010.01) G01S 19/01 (2010.01)
(21) 출원번호 10-2012-0150659
(22) 출원일자 2012년12월21일
심사청구일자 2012년12월21일
(56) 선행기술조사문헌
US20090224978 A1
US20080077644 A1
KR1020020067731 A

(73) 특허권자
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
충북대학교 산학협력단
충청북도 청주시 흥덕구 내수동로 52 (개신동)
(72) 발명자
박찬식
충청북도 청주시 상당구 용암동 건영아파트 101동 502호
이상정
대전광역시 서구 만년동 1-2 강변아파트 112동 706호
(74) 대리인
강세창, 원성수, 박종경

전체 청구항 수 : 총 3 항

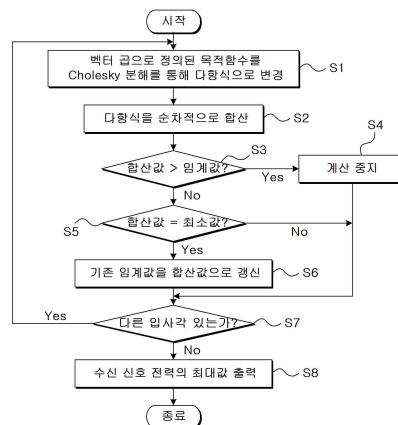
심사관 : 변영석

(54) 발명의 명칭 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법

(57) 요약

본 발명은 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법에 관한 것으로서, 벡터의 곱으로 정의된 목적함수를 출레스키(Cholesky) 분해를 통해 다항식으로 변형하고, 다항식의 각 항을 순차적으로 더한 합산값을 임계값과 비교하여, 합산값이 임계값보다 크면 계산을 중지하고, 다음 목적함수를 처리하고, 합산값이 임계값보다 작으면 임계값을 새로운 임계값으로 갱신하도록 함으로써, 합산값이 임계값보다 큰 경우에는 남아있는 연산을 생략하여 연산량을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라, 합산값이 임계값보다 작은 경우에는 이를 새로운 임계값으로 교체하여 연산량을 더 줄일 수 있으므로, MUSIC 알고리즘에서의 검색 속도를 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012-0327

부처명 교육과학기술부

연구사업명 재난예방 및 국민 안전 제고를 위한 위성기반 위치 추적 기술 연구

연구과제명 항공기 정밀 이착륙을 위한 전파위협원 위치결정 시스템 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국항공우주연구원

연구기간 2010.01.01 ~ 2015.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

배열 안테나 수신 신호의 공분산 행렬을 고유값 분해(eigenvalue decomposition)를 통해 신호와 잡음의 부공간으로 구분한 후, 수신 신호가 최대 전력을 갖는 방향을 추정하는 다중신호 분류(Multiple Signal Classification) 기법의 목적함수를 홀레스키(Cholesky) 분해를 통해 다항식으로 변형하는 단계;

상기 다항식의 각 항을 순차적으로 더한 합산값을 임계값과 비교하는 단계;

상기 합산값이 상기 임계값보다 크면 계산을 중지하고, 배열 안테나의 다른 방향에 대한 목적함수를 처리하는 과정을 반복하는 단계; 및

상기 목적함수 중에서 수신 신호 전력의 최대값을 출력하는 단계를 포함하는 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 합산값이 임계값보다 작으면, 상기 합산값이 상기 수신 신호 전력의 최소값일 경우에 상기 합산값을 새로운 임계값으로 갱신하는 단계를 더 포함하는 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다항식은 배열되는 첫 번째 항에서 최소값을 갖도록 배열되는 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중신호 분류(MUSIC) 기법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 신호가 입사되는 방향을 추정하는 MUSIC 알고리즘에서의 검색 속도를 향상시킬 수 있는 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] GPS는 대표적인 위성항법시스템으로 현재 전 세계 여러 나라에서 측위, 측량, 시각동기, 무기체계 등 중요한 국가 인프라에 적용하여 사용하고 있다. 그러나 GPS 신호는 신호 수신 전력이 낮아 재밍신호에 취약한 단점이 있으므로, 이에 따라 적절한 재밍대응방안을 고려해야만 한다. 재밍대응방안에는 배열 안테나를 이용하여 위성 신호의 입사방향에 빔을 형성하여 위성항법 신호를 강화하는 빔포밍(beamforming) 기법, 원하지 않는 간섭 신호의 입사방향에 널(null)을 형성하는 널링(nulling) 기법, 재밍신호원의 위치를 찾아내는 제머위치결정(jammer localization) 기법이 있다. 이들 기법은 모두 신호가 입사되는 방향(DOA, direction of arrival)을 찾아내는 것이 필수적이며, 이를 위한 대표적인 알고리즘으로 MUSIC(MUltiple SIgnal Classification) 알고리즘[1][2]이 있다.

[0003] 고전적인 입사방향 추정 기법에는 Barlett 빔포밍 알고리즘[3], Capon 빔포밍 알고리즘[4], 선형 예측 알고리즘[5]이 있다. 이후 Schmidt에 의해 고전적인 방식을 벗어난 초분해능(super-resolution) 알고리즘인 MUSIC 알고리즘이 개발되었다. MUSIC 알고리즘은 고전적인 입사방향 추정 기법에 비해 높은 정확성을 가지며 임의의 배열에도 적용 가능하다는 장점을 가진다. 그러나 MUSIC 알고리즘은 모든 후보각에 대하여 검색을 수행하기 때문에 입사각 추정을 위한 검색 속도가 느리다는 단점이 있다. 이에 따라 MUSIC 알고리즘의 목적함수의 근을 직접적으

로 이용하여 작은 연산량 및 빠른 검색 속도를 가진 root-MUSIC 알고리즘[6]이 소개되었다. 하지만 root-MUSIC 알고리즘의 경우에는 ULA(Uniform Linear Array)에만 적용이 가능하고 다수의 재머에 대한 추정 성능이 떨어진다는 단점을 가진다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0004]

(비특허문헌 0001) [1] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", IEEE Trans. AP, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, Mar 1986.

(비특허문헌 0002) [2] Peter Stoica, Randolph L. Moses, Introduction to Spectral Analysis, Prentice Hall, pp. 155-163, 1997.

(비특허문헌 0003) [3] T. Lee, "Efficient wideband source localization using beamforming invariance technique", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 42, no. 6, pp. 1376-1387, June 1994.

(비특허문헌 0004) [4] J. Capon, "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis", Proceeding of the IEEE, vol. 57, no. 8, pp. 1408-1418, Aug 1969.

(비특허문헌 0005) [5] D. H. Johnson, "The application of spectral estimation method to bearing estimation problem", Proceeding of the IEEE, vol. 70, no. 9, pp. 1018-1028, Sept 1982.

(비특허문헌 0006) [6] Arthur J. Barabell, "Improving the resolution performance of eigenstructure-based direction-finding algorithms", ICASSP '83, vol. 8, pp. 336-339, Apr 1983.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005]

따라서, 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 본 발명의 목적은 MUSIC의 목적함수를 Cholesky 분해를 이용하여 제곱 항들의 합 형태로 나타내고, 목적함수 계산 도중 일부의 합이 이미 기존의 최소값보다 크면 계산을 중단함으로써 검색속도를 향상시키는 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0006]

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법은, 벡터의 곱으로 정의된 목적함수를 출레스키(Cholesky) 분해를 통해 다항식으로 변형하는 단계; 상기 다항식의 각 항을 순차적으로 더한 합산값을 임계값과 비교하는 단계; 상기 합산값이 상기 임계값보다 크면 계산을 중지하고, 다음 목적함수를 처리하는 단계; 및 상기 목적함수 중에서 수신 신호 전력의 최대값을 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0007]

또한, 상기 합산값이 임계값보다 작으면, 상기 합산값이 상기 수신 신호 전력의 최소값일 경우에 상기 합산값을 새로운 임계값으로 갱신하는 단계를 더 포함한다.

[0008]

그리고, 상기 다항식은 배열되는 첫 번째 항에서 최소값을 갖도록 배열된다.

발명의 효과

[0009]

상술한 바와 같이, 본 발명에 의한 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법에 따르면, 다항식을 순차적으로 더한 값이 임계값보다 큰 경우에 남아있는 연산을 생략하여 연산량을 감소시킬 수 있고, 다항식을 모두 더한 값이 임계값보다 작은 경우에 이를 새로운 임계값으로 교체하여 연산량을 더 줄일 수 있으므로, MUSIC 알고리즘에서

의 검색 속도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 다중신호 분류 기법을 나타낸 흐름도이다.

도 2는 MUSIC 알고리즘 입사각 검색 과정을 나타낸 개념도이다.

도 3은 방위각 변화에 따른 수행시간 비교를 나타낸 그래프이다.

도 4는 제안한 기법의 연산 감소량을 나타낸 도면이다.

도 5는 방위각에 따른 입사각 추정 성능 비교를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명의 연산량 감소를 위한 다중신호 분류 기법에 대하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

먼저, MUSIC 알고리즘에 대해 설명한다.

MUSIC 알고리즘은 배열 안테나 수신 신호의 공분산 행렬을 고유값 분해(eigenvalue decomposition)를 통해 신호와 잡음의 부공간으로 구분한 후, 수신 신호가 최대 전력을 갖는 방향을 추정하는 신호 방향 탐지 알고리즘이다. 신호원의 개수가 M 개, 배열 안테나의 소자 개수가 L 개인 환경에서 배열안테나로 수신된 신호는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(\theta_{1,1}, \phi_{1,1}) & a(\theta_{1,2}, \phi_{1,2}) & \cdots & a(\theta_{1,M}, \phi_{1,M}) \\ a(\theta_{2,1}, \phi_{2,1}) & a(\theta_{2,2}, \phi_{2,2}) & & \\ \vdots & & \ddots & \\ a(\theta_{L,1}, \phi_{L,1}) & & & a(\theta_{L,M}, \phi_{L,M}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_M(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_L \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \mathbf{X} = \mathbf{A} \mathbf{S} + \mathbf{W} \quad \text{--- (1)}$$

여기서 $s_m(t)$ 는 각 신호원에서 송출된 신호, $a(\theta_{l,m}, \phi_{l,m})$ 는 송신된 신호가 배열안테나에 입사할 때 갖는 방향 성분, $\theta_{l,m}$ 와 $\phi_{l,m}$ 은 m 번째 신호원에서 송출된 신호가 l 번째 배열 안테나 소자에 수신될 때의 방위각과 양각, w_l 은 각 배열 안테나 소자의 잡음, $x_l(t)$ 는 앞서 설명한 요소를 모두 포함하는 각 소자 안테나로 수신된 신호를 의미한다($l=1,2,\cdots,L$, $m=1,2,\cdots,M$). 또한, 수신된 신호는 $\mathbf{X}$, 신호의 방향 성분은 $\mathbf{A}$, 송신된 신호는 $\mathbf{S}$, 잡음은 $\mathbf{W}$ 의 행렬로 나타낸다. 수신 신호 $\mathbf{X}$ 의 공분산 행렬은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{C} &= E[\mathbf{X} \mathbf{X}^H] = E[\mathbf{A} \mathbf{S} \mathbf{S}^H \mathbf{A}^H] + E[\mathbf{W} \mathbf{W}^H] \\ &= \mathbf{A} E[\mathbf{S} \mathbf{S}^H] \mathbf{A}^H + E[\mathbf{W} \mathbf{W}^H] \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

[0017] 여기서 $E[\cdot]$ 는 행렬의 기대값이다. 식 (2)에서 $\mathbf{P} = E[\mathbf{S} \mathbf{S}^H]$ 로 두고, $\mathbf{C}$ 의 고유값을 이용하여 잡음의 공분산을 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H + \lambda_n \mathbf{C}_0 \quad \text{--- (3)}$$

[0019] 여기서 λ_n 는 잡음의 고유값, $\mathbf{C}_0$ 는 잡음과 관련된 변수이다. $\mathbf{P}$ 는 $[M \times M]$ 의 크기를 가지며, 송신 신호가 모두 독립인 경우에는 M 의 rank를 갖는다. 마찬가지로 $\mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H$ 역시 M 의 rank를 갖게 되지만, $[L \times L]$ 의 크기를 가지므로 특이성(singular)을 갖는다. 따라서 $\mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H$ 는 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$|\mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H| = |\mathbf{C} - \lambda_n \mathbf{C}_0| = |(\lambda - \lambda_n) \mathbf{C}_0| \quad \text{--- (4)}$$

[0021] 여기서 $|\cdot|$ 는 행렬식(determinant) 연산이고 λ 는 $\mathbf{C}$ 의 고유값의 대각 행렬이다. $\mathbf{A}$ 가 full-rank이고 $\mathbf{P}$ 가 양의 한정(positive definite)인 경우 $\mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H$ 는 비음의 한정(nonnegative definite) 특성을 갖는다. 잡음의 고유값 λ_n 이 $\mathbf{C}$ 의 고유값 $\lambda_m (m=1, 2, \dots, M)$ 보다 작아야 $\mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H$ 의 모든 고유값이 양수가 되어 비음의 한정 조건을 만족한다. 그러므로 식 (3)은 식 (5)로 다시 쓸 수 있다.

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \mathbf{P} \mathbf{A}^H + \lambda_{\min} \mathbf{C}_0, \quad \lambda_{\min} \geq 0 \quad \text{--- (5)}$$

[0023] 위와 같은 고유값 분해를 통해 신호의 부공간(signal subspace)과 잡음의 부공간(noise subspace)을 분리할 수 있으며 이들은 서로 직교하는 특성을 가진다. 이제 임의의 벡터 $\mathbf{Y}$ 를 정의하여 잡음의 부공간에 사영(projection)시켜 신호의 부공간과의 거리를 구하면 식 (6)과 같다.

$$\|\mathbf{Y}_n\|^2 = \mathbf{Y}_n^H \mathbf{Y}_n = (\mathbf{E}_n^H \mathbf{Y})(\mathbf{E}_n^H \mathbf{Y})^H = \mathbf{Y}^H \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{Y} \quad \text{--- (6)}$$

[0025] 여기서, $\mathbf{Y}_n$ 은 잡음의 부공간에 사영된 벡터, $\mathbf{E}_n$ 는 잡음의 고유 벡터이다. $\mathbf{Y}$ 와 신호의 부공간 사이의 거리 $\|\mathbf{Y}_n\|^2$ 는 수신 신호의 전력과 반비례한다. 따라서, $\mathbf{Y}$ 에 포함된 신호의 방향 성분을 $\mathbf{a}(\theta, \phi)$ 로 정의하면 수신 신호의 전력을 식 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$P(\theta, \phi) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta, \phi) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{a}(\theta, \phi)} \quad \text{--- (7)}$$

[0027] 위 식은 $\mathbf{Y}$ 가 신호의 부공간과 가장 근접할 때 최대값을 가진다. 따라서, MUSIC 알고리즘은 $\mathbf{Y}$ 의 모든 방

항 성분에 대해 수신 신호 전력 $P(\theta, \phi)$ 을 계산하고 가장 큰 값을 갖는 방향을 통해 신호의 입사각을 추정한다. 모든 입사각에 대한 검색을 수행하기 때문에 MUSIC 알고리즘의 연산 속도는 입사각의 분해능에 영향을 받는다. 분해능이 높아 검색 범위가 커지면 연산 속도는 느려지지만 입사각을 보다 세밀하게 추정할 수 있고, 분해능이 낮아 검색 범위가 작아지면 연산 속도는 빠르지만 입사각을 세밀하게 추정할 수 없고, 인접한 2개의 신호원을 구분하지 못할 수 있다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 다중신호 분류 기법을 나타낸 흐름도이다.

[0029] 도 1을 참조하면, 본 발명의 다중신호 분류(Multiple Signal Classification) 기법에 있어, MUSIC 알고리즘에서 연산 속도 개선을 위하여 벡터 곱으로 정의된 목적함수를 촐레스키(Cholesky) 분해를 통해 다항식으로 변형하고

(S1), 이를 바탕으로 순차적으로 목적함수를 계산한다. Cholesky 분해를 통해 $\mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H$ 를 Cholesky 인자 $\mathbf{G}$ 로 표현하면 식 (8)과 같다.

[0030]
$$\mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H = \mathbf{G} \mathbf{G}^H \quad \text{--- (8)}$$

[0031] 여기서 $\mathbf{G}$ 는 상삼각 행렬, $\mathbf{G}^H$ 는 하삼각 행렬이므로 위 방정식은 전방치환(forward substitution)과

후방치환(backward substitution)을 번갈아 행하여 풀 수 있다. Cholesky 인자 $\mathbf{G}$ 를 이용한 수신 신호 전력은 식 (9)와 같다.

[0032]
$$P_{Cholesky}(\theta, \phi) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta, \phi) \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{a}(\theta, \phi)} \quad \text{--- (9)}$$

[0033] 식 (9)의 분모를 다항식으로 표현하여 정리하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} & \mathbf{a}^H(\theta, \phi) \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{a}(\theta, \phi) \\ &= \begin{bmatrix} a_1^* & a_2^* & \cdots & a_M^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ g_{12} & g_{22} & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ g_{1M} & g_{2M} & & g_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11}^* & g_{12}^* & \cdots & g_{1M}^* \\ 0 & g_{22}^* & & g_{2M}^* \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & & g_{MM}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix} \\ &= (a_1^* g_{11} + a_2^* g_{12} + \cdots + a_M^* g_{1M})^2 + \cdots + (a_{M-1}^* g_{M-1M-1} + a_M^* g_{M-1M})^2 + (a_M^* g_{MM})^2 \\ &= b_1^2 + \cdots + b_{M-1}^2 + b_M^2 \quad \text{--- (10)} \end{aligned}$$

[0034] 위와 같이 정리된 다항식 제곱의 합은 신호 입사각에 해당하는 방위각, 앙각에서 최소값을 갖는다. Cholesky 분해를 이용한 MUSIC 알고리즘도 모든 입사각에 대한 검색을 수행해야 한다는 점에서 기존의 MUSIC 알고리즘과 동일하다. 하지만, Cholesky 분해를 통해 수신 신호 전력을 다항식으로 표현했기 때문에 신호 전력을 계산하기 위해서는 각 항을 차례로 더해야 한다(S2). 이 때, 각 항을 모두 더한 값은 수신 신호 전력의 역수이므로 식 (10)가 최소값이 되는 입사각에서 신호 전력은 최대가 된다. 따라서 각 항을 더할 때마다 임의의 임계값과 비교하여(S3) 모든 항을 더하기 전에 임계값보다 크면 계산을 중지하고(S4) 다른 입사각에 대한 계산으로 넘어가게 하

여 불필요한 연산을 줄일 수 있다. 만약 모든 항을 더한 값이 임계값보다 작은 경우에는 기존의 임계값을 모든 항을 더한 값으로 교체한다(S5 ~ S6). 이후, 다른 목적함수가 존재하는가 판단하여(S7), 다른 목적함수가 존재하면 단계 S1으로 리턴하고, 다른 목적 함수가 없으면 수신 신호 전력의 최대값을 결과값으로서 출력한다(S8). Cholesky 분해를 이용한 MUSIC 알고리즘의 의사코드를 [표 1]에 나타냈다.

표 1

```

Gather measurements  $\mathbf{X}$ 

Compute  $\mathbf{E}_n$ 

Compute  $\mathbf{G}$  using Cholesky decomposition
 $V_{Th} = \infty$ 
for( $\theta = 0 : \Delta\theta : 360$ )
    for( $\phi = 0 : \Delta\phi : 90$ )
         $P_{inv} = 0$ 
        for( $m = 1 : 1 : M$ )
             $P_{inv} = P_{inv} + b_m^2$ 
            if  $P_{inv} \geq V_{Th}$ ; break; end if
        end
        if  $P_{inv} < V_{Th}$ ;  $V_{Th} = P_{inv}$ ; end if
    end
end
end

```

여기에서 b_m^2 은 식 (10)의 m 번째 다항식 계수($m = 1, 2, \dots, M$)을 의미한다. 그리고 V_{Th} 는 임계값, P_{inv} 는 b_m^2 를 순차적으로 더하여 완성되는 값으로 모든 b_m^2 를 더하면 식 (9)의 역수와 같다. $\Delta\theta$ 와 $\Delta\phi$ 는 각각 방위각 검색 분해능, 양각 검색 분해능이다.

실시예

1. 시뮬레이션 환경

제안하는 기법의 성능은 소프트웨어 기반의 시뮬레이션을 통해 기존의 MUSIC 알고리즘과 비교, 분석하여 검증하였다. 제머의 입사각 변화에 따른 연산 속도 및 추정 성능을 분석하였으며, 각 입사각에서 100회 수행한 결과의

평균치를 이용하였다. 자세한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

1-1. 수신기 관련 파라미터

GPS L1 대역인 1575.42MHz에 대한 재밍 신호를 고려하였으며, 수신기의 중간 주파수는 4.58MHz, 샘플링 주파수는 8MHz로 설정하였다. 안테나는 Rectangular 형태의 4소자 배열 안테나로 안테나 간 간격은 약 9.52cm ($\lambda/2$)로 설정하였으며, 소자 안테나 간 위상 차이는 Plane wave로 가정하였다. 수신기 관련 파라미터 설정을 [표 2]에 나타냈다.

표 2

수신기 관련 파라미터		
RF		1575.42MHz (GPS L1)
중간 주파수		4.58MHz
샘플링 주파수		8MHz
배열 안테나	형태	Rectangular
	소자 개수	4개
	소자 간격	9.52 cm ($\lambda/2$)

1-2. 재머 관련 파라미터

재밍 신호는 주파수가 1575.42MHz이고 JNR이 0dB인 CW 신호 1개를 인가하였다. 재머의 위치는 양각은 45° 로 고정한 채 방위각을 0° 에서 315° 로 45° 간격으로 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다. 재머 관련 파라미터 설정을 표 3에 나타냈다.

표 3

재머 관련 파라미터		
개수		1개
종류		CW
JNR		0 dB
위치	방위각	0° ~315° (45° 간격)
	양각	45°

1-3. MUSIC 알고리즘 관련 파라미터

2차원의 입사각을 추정할 때, MUSIC 알고리즘에서는 도면과 같이 방위각과 양각을 변화시키면서 이에 따른 전력을 계산하여 최대 전력을 갖는 입사각을 검색한다.

도 2는 MUSIC 알고리즘 입사각 검색 과정을 나타낸 개념도이다.

도 2를 참조하면, 방위각과 양각은 각각 0° 에서 360° 까지, 0° 에서 90° 까지 0.5° 간격으로 순차적으로 변화시켜 검색을 수행한다. 이 때, 0.5° 는 MUSIC 알고리즘의 검색 분해능으로서 MUSIC 알고리즘의 연산 속도와 입사각 추정 성능에 영향을 미친다. 검색 분해능을 높게 한 경우에는 세밀한 입사각 추정이 가능하지만, 검색 범위가 증가하여 연산속도가 감소하게 된다.

2. 시뮬레이션 결과분석

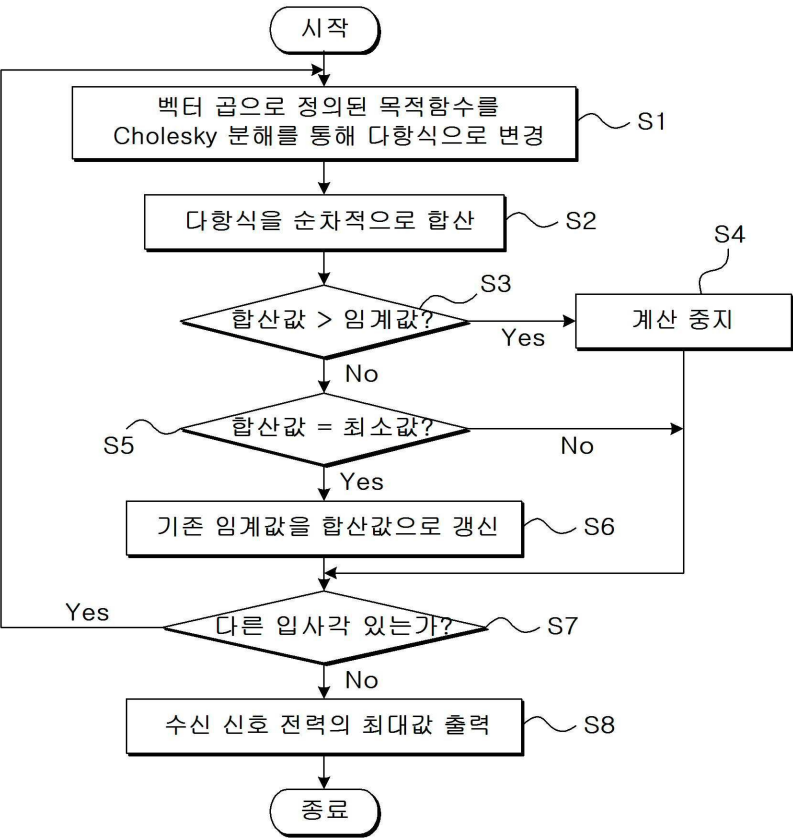
2-1. 연산 속도

- [0053] 제머의 방위각 변화에 따른 기존 MUSIC 알고리즘과 제안한 기법의 연산 시간을 도 3에 나타내었다. 도 3에서 고려한 여덟 개의 제머 위치는 표 3에서 설명한 바와 같이 방위각을 0° 에서 315° 로 45° 간격으로 변화시킨 위치이다. 제안한 기법에서 각 입사각에 대한 검색 과정을 수행할 때, 계산한 전력의 역수가 임계값보다 큰 경우에 불필요한 연산을 생략하므로 제안한 기법의 연산 속도는 가능한 한 검색 초기 단계에서 임계값을 작은 값으로 갱신할수록 빨라진다. 이에 따라, 설계한 MUSIC 알고리즘의 입사각 검색은 0° 에서부터 순차적으로 증가시키며 검색하기 때문에 제머의 입사각이 0° 에 가까울수록 연산 속도 향상 효과가 클 것이라는 예상과 일치함을 볼 수 있다. 가정한 환경 내에서 최악의 경우인 방위각 315° 에서도 제안한 기법이 성능향상을 나타냄을 확인할 수 있다.
- [0054] 도 3은 방위각 변화에 따른 수행시간 비교를 나타낸 그래프이다.
- [0055] 도 3을 참조하면, 기존 MUSIC 알고리즘의 연산 시간은 제머의 방위각 변화에도 일정한 값을 유지하는 반면, 제안한 기법의 수행 시간은 제머의 방위각이 증가함에 따라 연산 시간도 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 방위각의 변화에 따라 연산 시간이 증가하더라도, 제안한 기법의 연산 시간은 기존 MUSIC 알고리즘보다 작아 연산 속도 향상 효과가 있다는 것을 확인할 수 있다. 4개의 소자를 고려한 시뮬레이션 환경에서 식 (10)은 $b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2$ 와 같이 표현되므로 각 입사각에서 전력을 계산할 때 생략할 수 있는 덧셈 연산의 최대 개수는 3개이다. 도 4에 제머의 방위각이 90° , 135° , 180° , 225° 인 경우, 생략되는 덧셈 연산의 개수를 나타내었다.
- [0056] 도 4에는 생략되는 덧셈 연산의 개수에 따라 네 가지 색상을 이용하여 표시하였다. 명도가 낮은 색일수록 생략된 덧셈 연산의 개수가 많다는 것을 의미한다. 흰색으로 표시한 영역은 0개의 덧셈 연산을 생략하였으므로 연산량 감소가 없다는 것을 의미하며 흰색과 검은색 사이의 색상은 명도가 낮아짐에 따라 각각 1개, 2개의 덧셈 연산을 생략했음을 나타낸다. 검은색으로 표시한 영역은 3개의 덧셈 연산을 생략하였으므로 연산량 감소량이 최대 치임을 나타낸다. 따라서 검은색으로 표시한 영역이 넓을수록 연산량 감소효과가 크다. 또한 도 4의 (a), (b), (d)를 보면 검은색으로 표시된 영역이 점차 좁게 나타나 방위각 증가에 따라 연산량 감소효과가 감소한다는 사실을 다시 확인할 수 있다. (c)의 경우에는 검색 초기단계부터 상대적으로 높은 전력을 갖는 구간이 존재하여 낮은 방위각을 갖는 (a)나 (b) 보다도 빠른 연산 속도를 나타냈다.
- [0057] 2-2. 입사각 추정 성능
- [0058] 제머의 입사각에 따른 두 알고리즘의 추정 성능을 RMSE(Root Mean Squares Error)로 도 5에 나타냈다. 두 알고리즘의 입사각 RMSE는 동일한 값을 가진다. 이로부터 기존 MUSIC 알고리즘의 입사각 추정 성능과 제안한 기법의 입사각 추정 성능은 동일하다는 사실을 알 수 있다.
- [0059] 3. 결론
- [0060] 본 발명에서는 Cholesky 분해를 이용하여 연산량을 감소시켜 검색 속도를 향상시킬 수 있는 새로운 MUSIC 알고리즘을 제안하고 그 성능을 기존 MUSIC 알고리즘의 성능과 비교하여 검증하였다. 제안한 기법은 기존 MUSIC 알고리즘에서 전력 계산을 위한 목적함수의 벡터 연산을 Cholesky 분해를 통해 다항식 연산으로 변경하고 이들 다항식을 순차적으로 더하여 임계값과 비교한다. 다항식을 순차적으로 더한 값이 임계값보다 큰 경우에는 남아있는 연산을 생략할 수 있으므로 연산량을 감소시킬 수 있다. 다항식을 모두 더해도 임계값보다 작은 경우에는 이를 새로운 임계값으로 교체하여 연산량을 더 줄일 수 있다.
- [0061] 제안한 기법의 성능을 기존의 MUSIC 알고리즘과 비교하여, 제안한 기법과 기존 MUSIC 알고리즘의 입사각 추정 성능은 동일하지만, 1.15배의 연산 속도 향상을 얻을 수 있었다. 제안한 기법은 적은 연산량으로 기존의 MUSIC 알고리즘과 동일한 성능을 얻을 수 있는 효율적인 기법이다. 또한 기존 MUSIC 알고리즘의 연산 속도를 개선한 root-MUSIC 알고리즘의 경우에는 적용할 수 있는 배열 안테나의 형태가 ULA로 제한되었으나, 제안한 기법은 배열 안테나의 형태에 관계없이 적용이 가능하다. 따라서 제안한 기법을 이용하면 기존의 MUSIC에 비하여 저가의 하드웨어로 시스템을 구현할 수 있다.

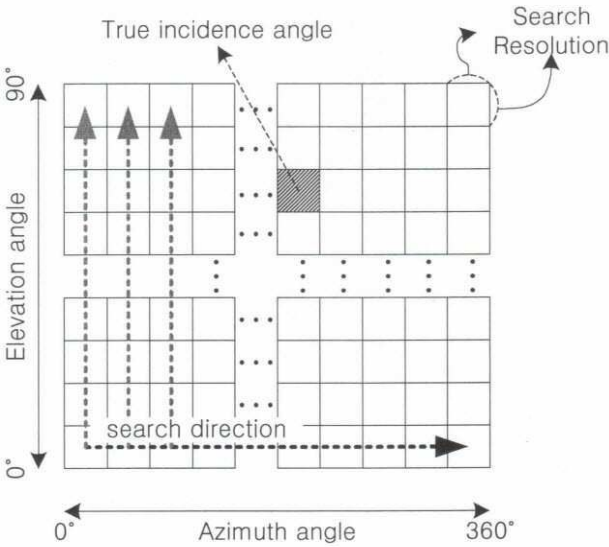
[0062] 이상에서 몇 가지 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 반드시 이러한 실시예로 국한되는 것이 아니고 본 발명의 기술사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변형 실시될 수 있다.

도면

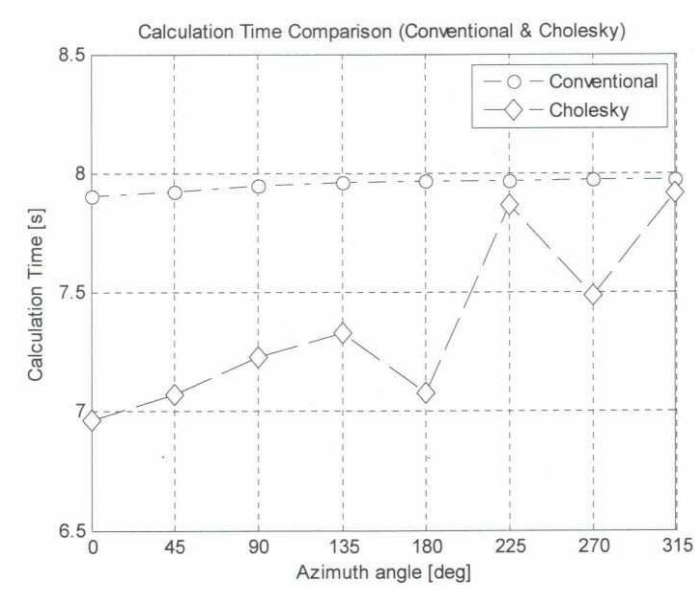
도면1



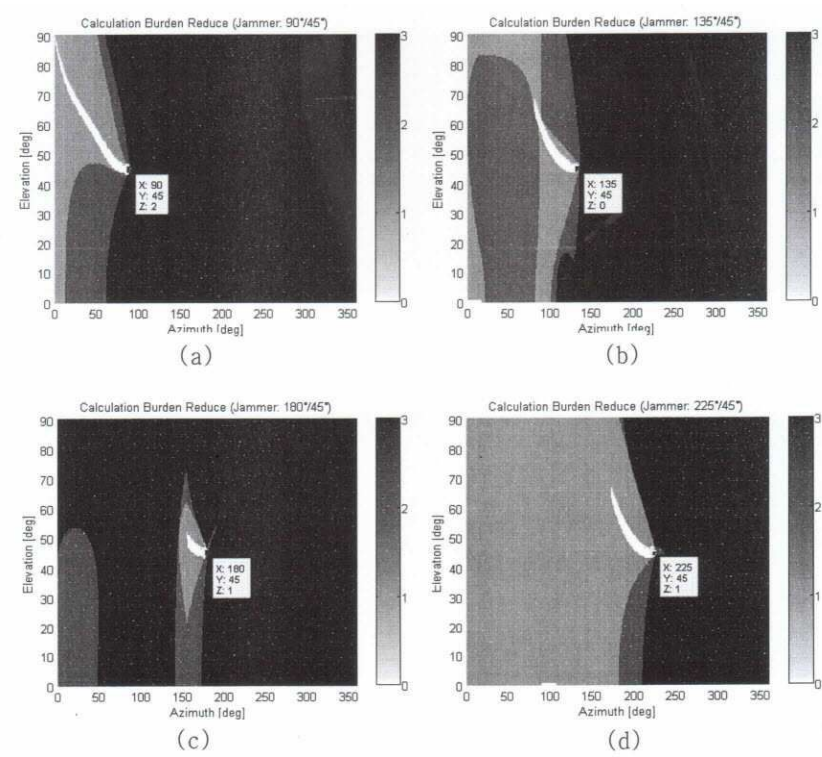
도면2



도면3



도면4



도면5

