



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월13일

(11) 등록번호 10-2252003

(24) 등록일자 2021년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01S 1/24 (2006.01) G01S 5/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01S 1/24 (2013.01)

G01S 5/0045 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0128434

(22) 출원일자 2019년10월16일

심사청구일자 2019년10월16일

(65) 공개번호 10-2021-0045098

(43) 공개일자 2021년04월26일

(56) 선행기술조사문헌

KR101773855 B1

KR1020100045355 A

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

서지원

인천광역시 연수구 송도과학로 85, 진리관 C320호(송도동)

손표용

인천광역시 연수구 송도과학로 85, 진리관 C327호(송도동)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 10 항

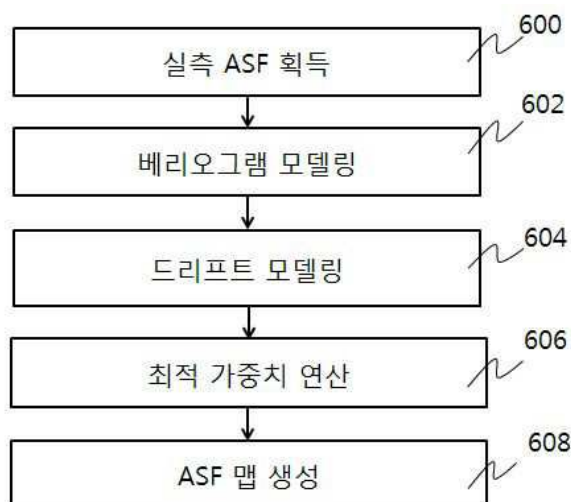
심사관 : 노영철

(54) 발명의 명칭 ASF 맵 생성 방법

(57) 요약

ASF 맵 생성 방법이 개시된다. 개시된 방법은, 미리 설정된 지점들에 대한 실측 ASF 값들을 획득하는 단계(a); 상기 획득한 실측 ASF 값들을 이용하여 베리오그램을 모델링하는 단계(b); 지수 함수를 기저 함수로 이용하는 드리프트를 모델링하는 단계(c); 및 상기 모델링된 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 소정의 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 단계(d)를 포함한다. 개시된 방법에 의하면, 유니버설 크리깅을 ASF 맵 보간에 적합하도록 변형함으로써 보다 정확하고 정밀하게 보간된 ASF 맵을 생성할 수 있는 장점이 있다.

대표도 - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2016-0105
부처명	해양수산부
과제관리(전문)기관명	한국해양과학기술진흥원
연구사업명	해양안전및해양교통시설기술개발
연구과제명	[RCMS]TDOA 기반 ASF 지도 제작을 통한 동적환경에서의 eLoran 측위성능 예측
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2018.01.01 ~ 2018.12.31
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

미리 설정된 지점들에 대한 실측 ASF 값들을 획득하는 단계(a);
 상기 획득한 실측 ASF 값들을 이용하여 베리오그램을 모델링하는 단계(b);
 지수 함수를 기저 함수로 이용하는 드리프트를 모델링하는 단계(c); 및
 상기 모델링된 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 소정의 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 단계(d)를 포함하는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 단계(c)는 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점에 대한 위치 벡터를 획득하고, 획득된 교차점에 대한 위치 벡터를 이용하여 상기 지수 함수에 대한 매개 변수를 설정하는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 매개 변수는 상기 교차점과의 거리인 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,
 상기 기저 함수를 이용하여 모델링되는 드리프트는 다음의 수학적식과 같이 설정되는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|)$$

위 수학적식에서, \mathbf{x}_{INT} 는 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점에 대한 위치 벡터이고, \mathbf{x} 는 특정 위치를 나타내는 위치 벡터이고, a_i 는 위치 및 지형에 따라 설정되는 계수임.

청구항 5

제2항에 있어서,
 상기 단계(d)는 상기 드리프트 및 상기 베리오그램을 이용하여 최적 가중치를 획득하고, 상기 최적 가중치를 상기 실측 ASF 값들에 적용하여 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 드리프트 및 베리오그램을 이용한 최적 가중치(w_k)는 다음의 수학적식과 같이 획득되는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_K \\ \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_1) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_K) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_1(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_0) \\ 1 \\ f_1(\mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_0) \end{bmatrix}$$

위 수학적식에서, $\gamma(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ 는 베리오그램의 중간편차이고, $f_n(\mathbf{x})$ 은 드리프트의 기저함수이며, λ_n 은 라그랑제 승수임.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 그리드 포인트 i, j 에서의 예측 ASF 값은 실측 ASF값인 ASF_k 로부터 상기 최적 가중치를 이용하여 다음의 수학적식과 같이 연산되는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^K w_k ASF_k$$

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 베리오그램을 모델링하는 단계는,

상기 실측 ASF 값을 이용하여 중간 편차들을 연산하는 단계; 및

다수의 후보 베리오그램 모델들 중 상기 실측 ASF값에 기초한 중간 편차들과 가장 가깝게 매칭되는 후보 베리오그램 모델을 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 9

미리 설정된 지점들에 대한 실측 ASF 값들을 획득하는 단계(a);

유니버설 크리깅을 위한 베리오그램을 모델링하는 단계(b);

유니버설 크리깅을 위한 드리프트를 모델링하는 단계(c);

상기 모델링된 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 유니버설 크리깅에 의한 최적 가중치를 연산하는 단계(d); 및

상기 최적 가중치를 상기 실측 ASF값들에 적용하여 소정의 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 단계(e)를 포함하는 것을 특징으로 하는 ASF 맵 생성 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 방법을 실행하기 위한 방법이 기록되어 있으며 디지털 데이터 처리 장치에

의해 판독 가능한 프로그램이 기록된 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 ASF 맵 생성 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 유니버설 크리깅을 이용한 eLoran ASF 맵 생성 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] eLoran 시스템은 지상의 여러 송신국이 저주파의 고출력 신호를 송출하면, 수신기는 각 신호의 전파시간(TOA)를 이용하여 위치를 계산하는 측위 시스템이다. eLoran 전파신호는 송신국에서 송출되어 수신기에서 수신되기까지 전파지연을 겪는데, 이를 크게 세가지 요소로 나눈다. 진공상태가 아닌 대기를 전파하며 발생하는 지연오차를 주요 요인(primary factor, PF), 해수면을 전파하며 발생하는 지연오차를 부가 요인(secondary factor, SF), 또한, 지표면을 전파하며 발생하는 지연오차를 ASF라고 한다. 이런 각각의 지연오차를 정확하게 보상해 주는 것이 수신기가 자신의 위치를 정확하게 계산하기 위해서는 필수적이다.

[0004] 일반적으로 ASF는 크게 공간적인 요소에 의해 발생하는 공간 ASF(spatial ASF), 시간적인 요소로 발생하는 시간 ASF(temporal ASF)로 나뉜다. 공간 ASF는 시간에 따라 변화하지 않기 때문에 한 번 실측을 통해 ASF 지도를 제작해 사용자가 이를 이용하여 보정할 수 있게 한다. 시간 ASF는 실시간으로 변화하기 때문에 근처의 보정국에서 실시간으로 측정하여 보정정보를 생성해 보상한다.

[0005] 공간 ASF는 보통 약 500m의 측위 오차를 포함하고 있기 때문에 이를 얼마나 정밀하게 보상하는지는 eLoran 시스템의 측위 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그렇기 때문에 ASF 지도를 보다 정밀하게 제작할 필요가 있다.

[0006] 일반적으로 ASF 지도는 일정 영역을 격자화하여 각 그리드 포인트에 해당하는 ASF 값이 매칭되도록 구성되어 있다. 각 그리드 포인트에서의 ASF 값은 실측 데이터를 선형보간법을 이용하여 추정한다. ASF 변화가 상대적으로 적고, 실측값이 많은 경우에는 단순한 선형보간법을 이용해서도 충분히 정확한 ASF 격자값을 예측할 수 있지만, 해안가와 같은 곳에서는 eLoran 신호 주파수의 전파특성 때문에 상대적으로 공간적 ASF 변화가 매우 크다. 그렇기 때문에 이를 더 정밀하게 보정할 수 있는 보간방법을 고민할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 유니버설 크리깅을 ASF 맵 보간에 적합하도록 변형하여 보다 정확하고 정밀하게 보간된 ASF 맵을 생성할 수 있는 방법을 제안한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 측면에 따르면, 미리 설정된 지점들에 대한 실측 ASF 값들을 획득하는 단계(a); 상기 획득한 실측 ASF 값들을 이용하여 베리오그램을 모델링하는 단계(b); 지수 함수를 기저 함수로 이용하는 드리프트를 모델링하는 단계(c); 및 상기 모델링된 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 소정의 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 단계(d)를 포함하는 ASF 맵 생성 방법이 제공된다.

[0011] 상기 단계(c)는 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점에 대한 위치 벡터를 획득하고, 획득된 교차점에 대한 위치 벡터를 이용하여 상기 지수 함수에 대한 매개 변수를 설정한다.

[0012] 상기 매개 변수는 상기 교차점과의 거리이다.

[0013] 상기 기저 함수를 이용하여 모델링되는 드리프트는 다음의 수학적식과 같이 설정된다.

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|)$$

[0014] 위 수학적식에서, \mathbf{x}_{INT} 는 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점에 대한 위치 벡터이고, \mathbf{x}

[0015]

는 특정 위치를 나타내는 위치 벡터이고, a_i 는 위치 및 지형에 따라 설정되는 계수임.

[0016] 상기 단계(d)는 상기 드리프트 및 상기 베리오그램을 이용하여 최적 가중치를 획득하고, 상기 최적 가중치를 상기 실측 ASF 값들에 적용하여 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측한다.

[0017] 상기 드리프트 및 베리오그램을 이용한 최적 가중치(w_k)는 다음의 수학적식과 같이 획득된다.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_k \\ \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_K) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_1(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_0) \\ 1 \\ f_1(\mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_0) \end{bmatrix}$$

[0020] 위 수학적식에서, $\gamma(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ 는 베리오그램의 중간편차이고, $f_n(\mathbf{x})$ 은 드리프트의 기저함수이며, λ_n 은 라그랑제 승수임.

[0021] 상기 그리드 포인트 i, j 에서의 예측 ASF 값은 실측 ASF값인 ASF_k 로부터 상기 최적 가중치를 이용하여 다음의 수학적식과 같이 연산된다.

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^K w_k ASF_k$$

[0023] 상기 베리오그램을 모델링하는 단계는, 상기 실측 ASF 값을 이용하여 중간 편차들을 연산하는 단계; 및 다수의 후보 베리오그램 모델들 중 상기 실측 ASF값에 기초한 중간 편차들과 가장 가깝게 매칭되는 후보 베리오그램 모델을 선택하는 단계를 포함한다.

[0024] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 미리 설정된 지점들에 대한 실측 ASF 값들을 획득하는 단계(a); 유니버설 크리깅을 위한 베리오그램을 모델링하는 단계(b); 유니버설 크리깅을 위한 드리프트를 모델링하는 단계(c); 상기 모델링된 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 유니버설 크리깅에 의한 최적 가중치를 연산하는 단계(d); 및 상기 최적 가중치를 상기 실측 ASF값들에 적용하여 소정의 그리드 포인트들에서의 ASF값을 예측하는 단계(e)를 포함하는 ASF 맵 생성 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 의하면, 유니버설 크리깅을 ASF 맵 보간에 적합하도록 변형함으로써 보다 정확하고 정밀하게 보간된 ASF 맵을 생성할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도1은 측정 횟수가 그리드 지점 수보다 클 때 ASF 맵 생성을 위한 직사각형 그리드를 사용한 선형 보간을 나타낸 도면.

도 2는 측정 횟수가 그리드 포인트 수보다 작은 경우 ASF 맵 생성을 위한 선형 보간을 나타낸 도면.

도 3은 역거리 가중치를 이용한 ASF 맵 생성을 나타낸 도면.

도 4는 후보 베리오그램 모델들의 지연 거리에 따른 중간 편차를 나타낸 그래프.

도 5는 TDOA 측정을 위한 사용자, 해안선 및 송신기 쌍을 기하학적으로 나타낸 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 ASF 맵 생성 방법의 전체적인 흐름을 나타낸 순서도.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 유니버설 크리깅 적용을 위한 베리오그램 모델링 과정을 나타낸 도면.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 드리프트 모델링 방법을 나타낸 순서도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다.
- [0031] 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0032] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0033] 또한 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0034] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0035] 본 발명의 방법을 상세히 설명하기에 앞서 기존에 Loran/ELORAN ASF 맵 생성에 이용되었던 보간 방법들에 대해 살펴보기로 한다.
- [0036] 기존에 ASF 맵 생성을 위해 이루어졌던 연구로 선형 보간, 역 거리 가중치법이 있다. 이러한 보간 방법 중 선형 보간과 역 거리 가중치는 ASF 맵 생성에 적용하는 것이 상대적으로 간단하다. 그러나 두 가지 방법은 적절한 모델링과 설계 작업이 필요하다.
- [0037] A. 선형 보간법
- [0038] 도1은 측정 횟수가 그리드 지점 수보다 클 때 ASF 맵 생성을 위한 직사각형 그리드를 사용한 선형 보간을 나타낸 도면이다.
- [0039] ASF 맵에는 도 1의 (a)와 같이 직사각형 격자가 있다. 선형 보간법이 ASF 맵 생성에 사용되면, 도 1에서 빨간 점으로 표시된 측정 포인트에서의 실제 ASF 값은 가까운 그리드 포인트의 ASF 값에 선형적으로 보간된다. 예를 들어, 도 1의 (b)의 k 번째 측정 지점에서 측정된 ASF 값인 ASF_k는 네 개의 이웃 그리드 포인트의 ASF 값(A_{i,j}, A_{i+1,j}, A_{i,j+1} 및 A_{i+1,j+1})에 보간된다.
- [0040] 선형 보간 알고리즘에서 ASF_k, A_{i,j}, A_{i+1,j}, A_{i,j+1}과 A_{i+1,j+1} 사이의 관계는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현된다.

수학적 식 1

$$\begin{bmatrix} \alpha_k(1-\beta_k) & \alpha_k\beta_k & (1-\alpha_k)(1-\beta_k) & (1-\alpha_k)\beta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{i,j} \\ A_{i+1,j} \\ A_{i,j+1} \\ A_{i+1,j+1} \end{bmatrix} = ASF_k$$

- [0041]
- [0042] 위 수학적식1에서, α_k와 β_k는 k 번째 측정점을 둘러싸는 그리드에 대한 도 1의 (b)에서의 거리 비율이다. IJ 그리드 포인트와 K 치수가 있는 경우 전체 격자에 대해 다음 수학적식 2에 따른 방정식을 작성할 수 있다.

수학적 식 2

$$\mathbf{C}_{K \times IJ} \begin{bmatrix} A_{1,1} \\ \vdots \\ A_{I,J} \end{bmatrix}_{IJ \times 1} = \begin{bmatrix} ASF_1 \\ \vdots \\ ASF_K \end{bmatrix}_{K \times 1}$$

- [0043]
- [0044] 위 수학적식 2에서, 행렬 C의 k 번째 행은 엔트리 A_{i,j}, A_{i+1,j}, A_{i,j+1} 및 A_{i+1,j+1}에 대해 각각 항 α_k(1 - β_k), α_kβ_k, (1 - α_k)(1 - β_k) 및 (1 - α_k)β_k이고, 나머지 엔트리는 0이다. 수학적식 2에서 K가 IJ보다 큰 경우 다음의 수학적식 3과 같이 모든 그리드 포인트에 대한 ASF 값을 최소 자승법을 통해 얻을 수 있다.

수학식 3

$$\begin{bmatrix} A_{1,1} \\ \vdots \\ A_{I,J} \end{bmatrix}_{IJ \times 1} = (\mathbf{C}^T \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^T \begin{bmatrix} ASF_1 \\ \vdots \\ ASF_K \end{bmatrix}_{K \times 1}$$

위 수학식 3을 통해 측정된 ASF 데이터 (즉, ASF_1, \dots, ASF_K)를 사용하여 그리드 ASF 값(즉, $A_{1,1}, \dots, A_{I,J}$)을 포함하는 ASF 맵을 쉽게 얻을 수 있다. 그러나 몇 가지 ASF 측정만을 기반으로 ASF 맵을 구성하고자 하므로(특히 $K < IJ$ 인 경우), 다른 선형 보간 알고리즘이 필요하다.

도 2는 측정 횟수가 그리드 포인트 수보다 작은 경우 ASF 맵 생성을 위한 선형 보간을 나타낸 도면이다.

도 2의 그리드 포인트 $A_{i,j}$ 의 ASF 값은 네 모서리의 ASF 값을 기반으로 선형 보간된 값인 수학식 4를 사용하여 구한다.

수학식 4

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} p_{i,j}(1-q_{i,j}) & p_{i,j}q_{i,j} & (1-p_{i,j})(1-q_{i,j}) & (1-p_{i,j})q_{i,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{1,1} \\ A_{m,1} \\ A_{1,n} \\ A_{m,n} \end{bmatrix}$$

이 접근법에는 $K \geq IJ$ 의 제약 조건이 없다. 네 모서리 점을 기반으로 한 이 그리드 포인트 보간법은 SBAS 전리층의 네 점 보간법 알고리즘과 유사하다

B. 역 거리 가중치

도 3은 역거리 가중치를 이용한 ASF 맵 생성을 나타낸 도면이다.

도 3을 참조하면, 다음의 수학식 5를 이용하여 그리드 ASF 값을 추정한다. 그리드 포인트에서의 ASF 값은 측정된 ASF 데이터 (즉, ASF_1, \dots, ASF_K)의 가중 선형 결합을 통해 얻어질 수 있고, 여기서 가중치는 측정점에서 그리드 점까지의 거리이다. 이 방법은 ASF 측정의 수가 격자 포인트의 수 (즉, $K < IJ$)보다 작은 경우에도 적용 가능하다.

수학식 5

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^K \left(ASF_k \times \frac{d_k^{-1}}{\sum_{k=1}^K d_k^{-1}} \right)$$

이상과 같은 선형 보간 및 역 거리 가중치를 이용한 선형 보간은 정확성 및 정밀도가 떨어지는 문제가 있다. 본 발명에서는 유니버설 크리깅 방식을 이용하여 ASF 맵을 생성하는 방법을 제안하며, 이하에서는 본 발명의 ASF 맵 생성 방법을 상세히 살펴보기로 한다.

크리깅(kriging)은 관찰할 수 없는 위치에서 최상의 선형 편향 예측을 제공하는 널리 적용되는 공간 예측 방법의 하나이다. 본 발명은 크리깅을 ASF 맵 생성에 적용하는 방법을 제안하며, 특히 유니버설 크리깅을 이용하여 실측 ASF 데이터로부터 그리드 지점에서의 ASF 값을 추정함으로써 ASF 맵을 생성하는 방법을 제안한다.

[0057] 유니버설 크리깅은 랜덤 프로세스 $Z(x)$ 를 추정하는 방식이며, 유니버설 크리깅을 ASF 맵 생성에 이용될 때, $Z(x)$ 는 특정 그리드 지점에서 예측되는 ASF값이 된다.

[0058] 유니버설 크리깅의 랜덤 프로세스 $Z(x)$ 는 다음의 수학식 6과 같이 정의된다.

수학식 6

$$Z(\mathbf{x}) = \mu(\mathbf{x}) + \varepsilon(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) + \varepsilon(\mathbf{x})$$

[0060] 위 수학식 6에서, x 는 위치 벡터이고, $\varepsilon(x)$ 는 랜덤 프로세스의 확률 성분이며, $\mu(x)$ 는 평균값을 의미한다. 확률 및 평균은 모두 위치 벡터 x 에 대한 함수이다.

[0061] 유니버설 크리깅이 ASF 맵 생성에 적용되는 경우 그리드 점에서 예측된 ASF 값($A_{i,j}$)는 다음의 수학식 7과 같이 측정된 ASF 데이터 ASF_k 의 선형 조합으로부터 얻을 수 있다.

수학식 7

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^K w_k ASF_k$$

[0063] 이때, 최적 가중치(w_k)는 다음의 수학식 8과 같이 정의될 수 있다.

수학식 8

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_K \\ \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_1) & \cdots & \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_K) & 1 & f_1(\mathbf{x}_K) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ f_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_1(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_1) & \cdots & f_N(\mathbf{x}_K) & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ \gamma(\mathbf{x}_K, \mathbf{x}_0) \\ 1 \\ f_1(\mathbf{x}_0) \\ \vdots \\ f_N(\mathbf{x}_0) \end{bmatrix}$$

[0065] 위 수학식 8에서, x_0 는 예측된 ASF 값이 $A_{i,j}$ 인 관심있는 그리드 포인트의 위치 벡터이다. x_k 는 k 번째 측정점의 위치 벡터이다. $\gamma(x_i, x_j)$ 는 위치 x_i 와 x_j 사이의 중간편차, 즉 $\gamma(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \frac{1}{2} \{z(\mathbf{x}_i) - z(\mathbf{x}_j)\}^2$ 이다. 여기서,

$z(x)$ 는 x 에서의 ASF 실측값 또는 예측값으로 정의될 수 있다.

[0066] 유니버설 크리깅에서 각 그리드 지점에서의 예측된 ASF 값은 위 수학식 7과 같이 실제 측정된 ASF 값의 선형 조합으로 정의될 수 있으며, 선형 조합을 결정하기 위한 가중치가 위 수학식 8이다. 그러나 x_0 는 관측하지 않은 위치이기 때문에 실제 측정에 기반하여 수학식 8에서 $\gamma(x_k, x_0)$, $1 \leq k \leq K$ 를 직접적으로 추정할 수 없다.

[0067] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 유니버설 크리깅에서, 중간 편차는 베리오그램을 기반으로 추정된다. 일례로, 유니버설 크리깅에서 랜덤 프로세스 $Z(x)$ 의 베리오그램은

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2} E \left[\{Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})\}^2 \right] = \frac{1}{2} E \left[\{\varepsilon(\mathbf{x}) - \varepsilon(\mathbf{x} + \mathbf{h})\}^2 \right]$$

으로 정의될 수 있다.

[0068] 베리오그램(variogram), $\gamma(h)$ 가 이용 가능하다면, 임의의 x_i 와 x_j 에 대한 $\gamma(x_i, x_j)$ 는 $\gamma(h)$ 로 추정될 수

있다. 여기서 $h = x_j - x_i$ 이다.

[0069] 한편, 랜덤 프로세스 $Z(x)$ 의 $\mu(x)$ 는 드리프트로 정의된다. 드리프트 $\mu(x)$ 는 선택되는 기저함수 $f_n(x)$ 의 선형 결합으로 표현된다.

[0070] 크리깅의 추정량은 비편향 추정량이다. 따라서, 크리깅의 추정은 편향성의 제약 하에서 추정 분산을 최소화하는 방식으로 이루어진다. 위 수학식 8의 가중치는 라그랑제 승수(Lagrange Multipliers) $\lambda_n(0 \leq n \leq N)$ 을 도입하여 이러한 제약 최적화 문제를 푼 결과이다.

[0071] 결국, 기저함수를 잘 설계하면 중간편차의 분산이 최소화될 수 있으며, 특정 위치에서의 ASF 예측값은 보다 정확해질 수 있는 것이다.

[0072] 본 발명은 유니버설 크리깅을 이용하여 ASF값을 예측할 때, 보다 정확한 예측이 가능하도록 드리프트 모델링을 위한 기저 함수 설계 방법을 제안한다. 기존의 드리프트 모델링을 위한 기저함수는 1 차 또는 2 차 다항식이 주로 기저 함수 $f_n(x)$ 로 사용되었으며, $f_0(x)$ 는 1로 설정된다(본 발명에서도 $f_0(x)$ 는 1로 설정됨).

[0073] 그러나, 본 발명자의 연구에 의할 경우, 기존에 사용되었던 1차 또는 2차 다항식은 ASF 값 예측에는 부적절하다는 점이 밝혀졌다.

[0074] 한편, 유니버설 크리깅의 격자점 x_0 에서 예측 오차의 분산은 다음의 수학식 9와 같이 정의될 수 있다.

수학식 9

$$\sigma^2 = \sum_{n=0}^N \lambda_n f_n(x_0) + \sum_{k=1}^K w_k \gamma(x_k, x_0)$$

[0075]

[0076] 여기서 λ_n 은 수학식 8에 의해 최적 가중치 w_k 와 함께 계산된다.

[0077] 이하에서는 ASF 맵 생성을 위한 유니버설 크리깅의 베리오그램 모델링 및 드리프트 모델링을 위한 기저 함수 설정 방법에 대해 보다 상세히 설명한다.

[0078] 우선, 실측을 통해 획득되는 ASF 데이터를 기반으로 중간 편차를 계산하고 지연거리 빈(corresponding lag-distance bins)에 할당한다. 예를 들어, 각 빈은 1Km 지연 거리를 가질 수 있다.

[0079] 동일한 빈 내의 실측 중간 편차를 이용하여 다수의 후보 베리오그램 모델 중 하나를 선택하는 방향으로 베리오그램 모델링이 이루어진다.

[0080] 도 4는 후보 베리오그램 모델들의 지연 거리에 따른 중간 편차를 나타낸 그래프이다.

[0081] 도 4를 참조하면, 실측 ASF 값의 중간 편차를 5가지 후보 베리오그램(순수 너겟, 선형, 구형, 지수 및 가우시안) 베리오그램과 비교했다. 이 다섯 가지 후보 베리오그램은 특정 조건을 만족시키는 승인된 판별 모형이다.

[0082] 각 후보 베리오그램(variogram)의 쉘과 범위는 실측 중간 편차와 가장 잘 매칭되도록 선택되었다. 쉘은 도 4에서 $0.01 \mu s^2$ 인 중간편차의 변이성의 상한으로 정의되며 범위는 베리오그램이 쉘에 도달하는 지연 거리로 정의된다.

[0083] 아래의 표 1은 접근법을 수행하여 얻은 다섯 가지 후보 베리오그램의 RSS 잔차를 비교한 것이다.

표 1

Model	Sill, μs^2	Range, km	RSS, μs^2
Pure nugget	0.01	-	0.0001144
Linear	0.01	4.5	0.0000439
Spherical	0.01	5.0	0.0000312
Exponential	0.01	6.0	0.0000254
Gaussian	0.01	4.3	0.0000450

[0084]

[0085] 본 발명에서는 아래의 수학식 10의 베리오그램 모델을 사용하였으며, 구체적으로 $c = 0.01 \mu s^2$ 와 $r = 2.0km$ 인 지수 모델이 가장 작은 RSS 잔차를 제공하여, 이를 적용하였다.

수학식 10

$$\gamma(h) = c \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right\}$$

[0086]

[0087] 위 수학식 10에서, h 는 지연 거리, c 는 썰, r 은 거리 매개 변수이다. 사실, 수학식 10의 지수 모델은 점근선으로 점차 접근하기 때문에 유한 범위를 가지지 않는다.

[0088] 한편, 앞서 설명한 바와 같이, 드리프트 모델링을 위한 기저 함수로는 1차 또는 2차 다항식이 주로 사용되었다. 다음의 수학식 11 및 수학식 12는 기존의 드리프트 모델링의 일례를 나타낸 것이다.

수학식 11

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

[0089]

수학식 12

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1 x_2 + a_3 x_2$$

[0090]

[0091] 드리프트 모델링에서 $\mathbf{x} = [x_1, x_2]$ 는 위치 벡터이다. SBAS 전리층 오차에 대한 유니버설 크리깅은 $\mu(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 x_{\text{east}} + a_2 x_{\text{north}}$ 로 한정되고, 여기서, $\mathbf{x} = [x_{\text{east}}, x_{\text{north}}]$ 이며, x 와 y 의 좌표가 같은 경우, x 의 좌표는 각각 동쪽

및 북쪽 방향이다

[0092] 그러나, 이러한 기저 함수에 기초한 드리프트 모델링은 ASF값 예측에는 적절하지 않았으며, 본 발명은 ASF 값 예측에 적합한 기저 함수를 제안한다.

[0093] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 지면과 전파 특성을 이용하여 드리프트 모델링을 수행한다. 특히, 본 발명에서는 해안선 근처에서의 ASF 맵 생성에 적합한 드리프트 모델링을 위한 기저함수를 제안한다.

[0094] 지면과, 특히 해안선에서의 지면과는 해안선을 횡단함에 따라 ASF가 감소하며, 본 발명의 발명자는 이러한 감소 패턴이 지수 함수와 유사하다는 점을 발견하였으며, 본 발명의 기저 함수는 지수 함수의 형태를 가진다.

[0095] 다음의 수학적 식 13은 지수 함수를 이용하는 기저 함수를 적용한 본 발명의 드리프트 모델링의 일례를 나타낸 것이다.

수학적 식 13

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) = a_0 + a_1 \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|)$$

[0096]

[0097] 위 수학적 식 13에서는 exp 지수 함수를 이용하여 드리프트를 모델링하였으며, 기존의 다항식을 이용한 드리프트 모델링과는 차별된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 지수 함수의 매개 변수로 $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|$ 를 적용하였다.

[0098] \mathbf{x}_{INT} 는 해안선과 송신기에서 사용자까지의 신호 전파 경로의 교차점의 위치 벡터이고, $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|$ 는 교차점으로부터의 거리를 나타낸다.

[0099] 이상과 같이 설계되는 베리오그램 및 드리프트를 이용하여 가중치를 수학적 식 8을 이용하여 연산하고, 연산된 가중치를 이용하여 각 그리드 포인트에서의 ASF 값을 추정하게 된다.

[0100] 해안선에서의 ASF 변동은 알려져 있으나, 그러나 기존의 해안선의 특성이 ASF 맵 생성 및 모델링에 적절히 적용되지 못하였다. 본 발명에서 제안하는 지수 함수 형태의 기저 함수를 사용하는 드리프트 모델링은 이러한 해안선 특징을 적절히 고려한 ASF 맵 생성이 가능한 장점이 있다.

[0101] 또한, 본 발명의 유니버설 크리깅을 이용한 ASF 맵 생성 방법은 ASF 측정 지점의 수가 ASF 맵의 그리드 포인트 수보다 작은 경우에도 적용 가능하다. 따라서, ASF 측정이 충분하지 않은 상태에서도 효과적인 해안 ASF 맵 생성이 가능하다.

[0102] 한편, 위 수학적 식 13의 드리프트 모델링은 TOA 측정을 이용하는 eLoran 항법에는 적용 가능하나, eLoran 송신기가 없는 환경에서는 적용되기 어렵다. 이 경우, 기존의 Loran의 위치를 고려한 드리프트 모델링이 필요하며, 이러한 드리프트 모델링은 다음의 수학적 식 14에 표현되어 있다.

수학적 식 14

$$\begin{aligned} \mu(\mathbf{x}) &= \sum_{n=0}^N a_n f_n(\mathbf{x}) \\ &= a_0 + a_1 \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT1}\|) + a_2 \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT2}\|) \end{aligned}$$

[0103]

[0104] 도 5는 TDOA 측정을 위한 사용자, 해안선 및 송신기 쌍을 기하학적으로 나타낸 도면.

[0105] eLoran 송신기가 없는 환경에서는 TDOA 기반의 드리프트가 설계되어야 하며, \mathbf{x}_{INT1} x와 \mathbf{x}_{INT2} 는 각각 도 5에서와 같이 송신기1과 송신기2에서 해안선과 신호 전파 경로의 교차점의 위치 벡터이다.

[0106] 위 수학적 식 14에서의 드리프트 모델은 사용자로부터 교차점까지의 거리(즉, $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT1}\|$ 또는 $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT2}\|$)가

증가함에 따라 감소한다.

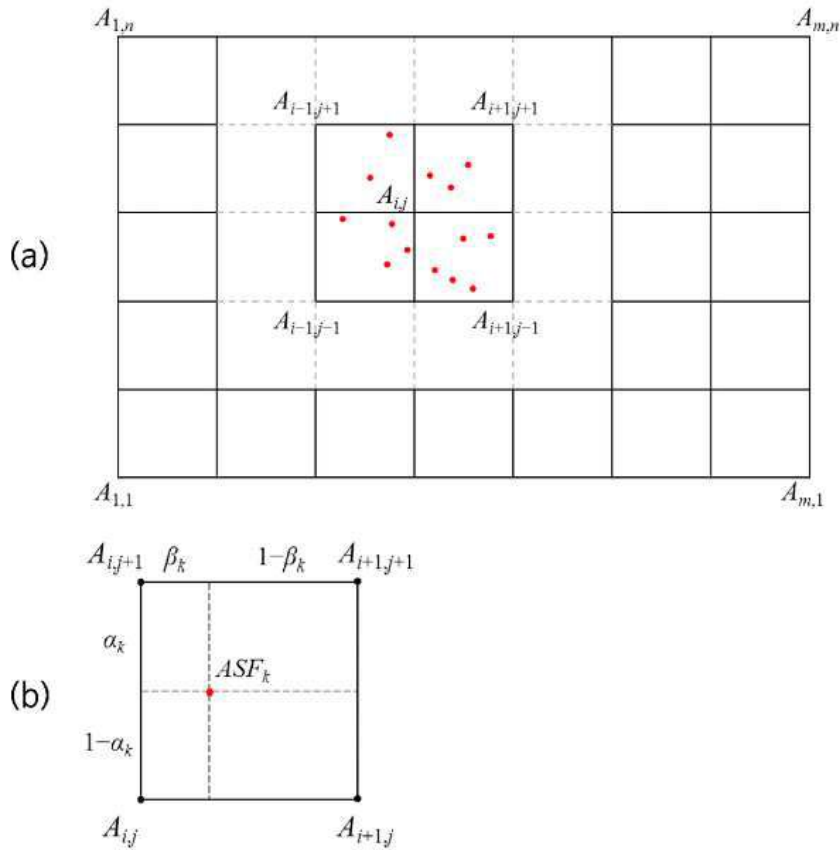
- [0107] 한편, 수학적 식 14와 수학적 식 13에서 동일한 표기법 a_n 이 사용 되었지만, 수학적 식 14의 계수의 값(a_n)은 수학적 식 13의 계수(a_n)와 다르다. 수학적 식 14는 ASF의 차이를 고려하기 때문에 a_1 과 a_2 의 부호는 반대가 되어야 한다. 계수는 일반적으로 측정 데이터에 따라 확률론적 성분 $\varepsilon(x)$ 의 분산을 최소화하도록 선택된다. 전달인자 I로부터 사용자의 위치 x까지의 전파 경로의 해상 경로 거리가 클 경우 ($\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INTi}\|$ 가 큰 경우) ASF 변동에 대한 해안선의 영향을 고려해서는 안된다. 따라서, 대응하는 계수 a_i 는 단순히 계수 선택 프로세스를 간단하게 하기 위해 0으로 설정될 수 있다. 이 경우, drift $\mu(x)$ 에 대한 $\exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INTi}\|)$ 의 기여는 작아서 $a_i = 0$ 은 문제를 일으키지 않는다.
- [0108] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 ASF 맵 생성 방법의 전체적인 흐름을 나타낸 순서도이다.
- [0109] 도 6을 참조하면, 우선 미리 설정된 지점에서의 실측 ASF를 획득한다(단계 600). 이는 선택된 위치 또는 선택된 경로에서의 공간 ASF 값을 획득하는 것이다.
- [0110] 실측 ASF가 획득되면, 베리오그램을 모델링한다(단계 602). 본 발명의 일 실시예에 따른 베리오그램 모델링은 수학적 식 10과 같이 이루어질 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0111] 베리오그램 모델링이 완료되면, 드리프트를 모델링한다(단계 604). 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명은 드리프트 모델링을 위한 기저 함수로 지수 함수를 이용하며, 지수 함수를 감소 정도를 결정하는 매개 변수로 교차점과의 거리 정보가 사용된다.
- [0112] 베리오그램 모델링 및 드리프트 모델링이 완료되면, 베리오그램 및 드리프트 모델링에 기초하여 ASF 맵 생성을 위한 가중치를 연산한다(단계 606). 가중치의 결정은 수학적 식 8과 같이 이루어질 수 있다.
- [0113] 가중치가 연산되면, 가중치를 실측 ASF 값에 적용하여 그리드 포인트들에 대한 ASF 값을 예측함으로써 ASF 맵을 생성한다(단계 608).
- [0114] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 유니버설 크리깅 적용을 위한 베리오그램 모델링 과정을 나타낸 도면이다.
- [0115] 도 7을 참조하면, 실측된 ASF값을 기반으로 중간 편차를 연산한다(단계 700).
- [0116] 단계 700에서 연산된 중간 편차를 일정 거리 간격으로 구분된 지연 거리 빈에 할당한다(단계 702).
- [0117] 지연 거리 빈 할당이 이루어지면, 지연거리 빈 내의 중간 편차를 평균하여 실측 베리오그램을 획득한다(단계 704).
- [0118] 실측 베리오그램을 다수의 이론적인 후보 베리오그램 모델과 비교하여 적합한 베리오그램 모델을 선택한다(단계 706).
- [0119] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 드리프트 모델링 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0120] 도 8을 참조하면, 우선 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점에 대한 위치 벡터를 획득한다(단계 800).
- [0121] 교차점에 대한 위치 벡터가 획득되면, 이를 이용하여 우선 기저 함수 설정을 위한 매개 변수를 설정한다(단계 802). 본 발명의 일 실시예에 따르면, 송신기와 사용자 사이의 신호 전파 경로에서 해안선과의 교차점까지의 거리 $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{INT}\|$ 를 매개 변수로 설정한다.
- [0122] 매개 변수 설정이 이루어지면, 설정된 매개 변수를 지수 함수에 적용하여 기저 함수를 결정하고, 결정된 기저 함수를 이용하여 드리프트를 모델링한다(단계 804).
- [0123] 진술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0124] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

[0125] 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

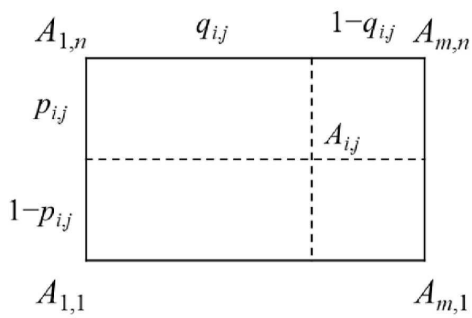
[0126] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

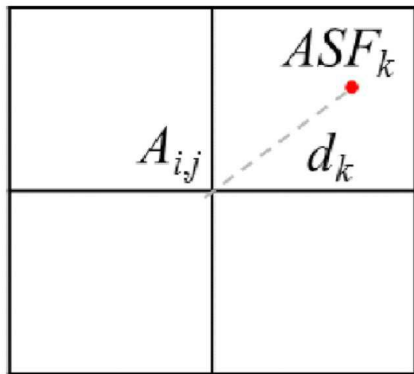
도면1



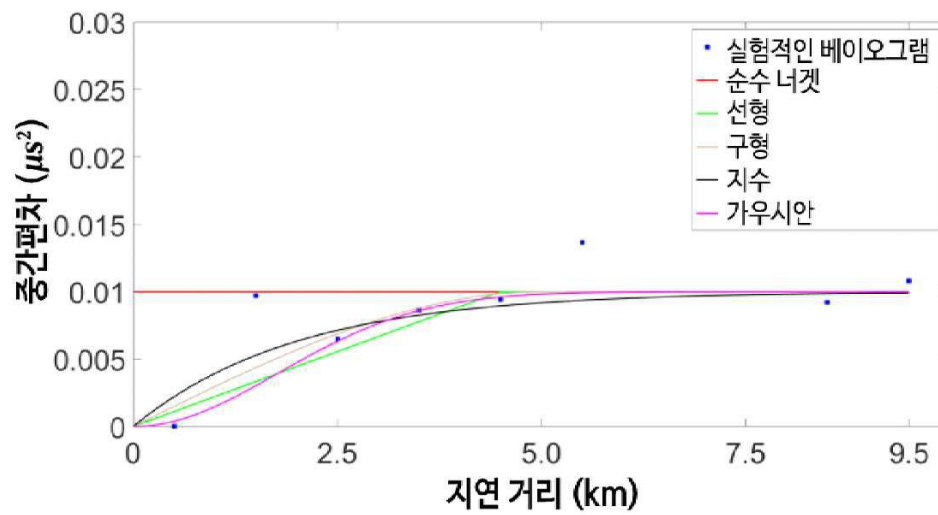
도면2



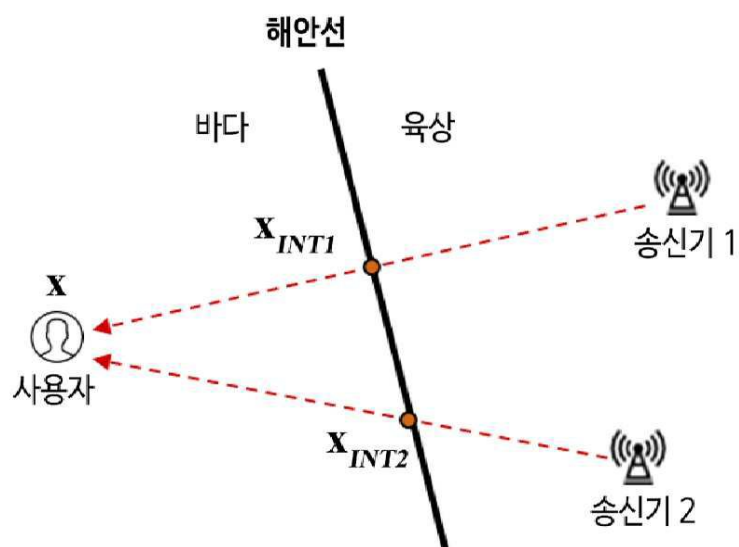
도면3



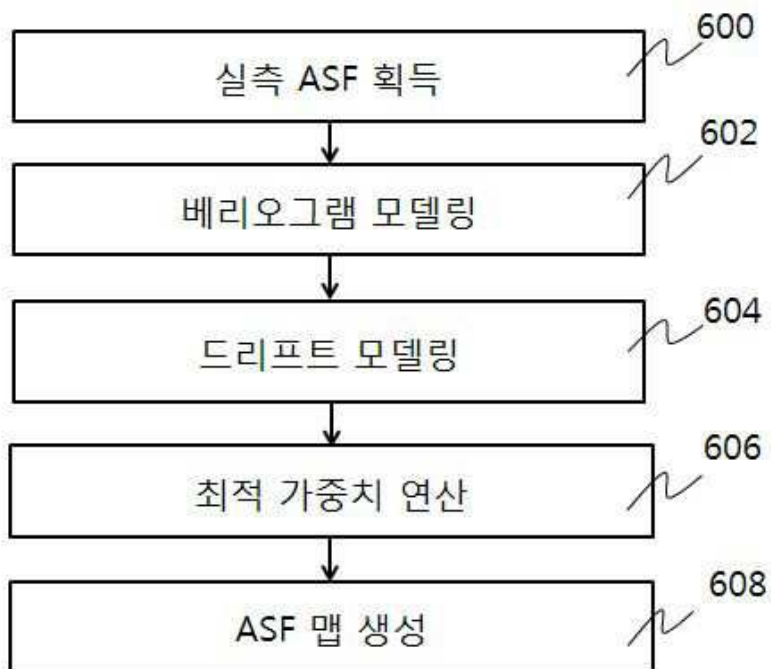
도면4



도면5



도면6



도면7



도면8

