



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0039391
(43) 공개일자 2012년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 17/38 (2006.01) G01C 21/20 (2006.01)
G01C 21/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0101077
(22) 출원일자 2010년10월15일
심사청구일자 2010년10월15일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
최기영
인천광역시 연수구 원인제로 124, 한양1차 아파트 106동 1101호 (동춘동)
이혜탄
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 항공우주공학과 (용현동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김국진

전체 청구항 수 : 총 6 항

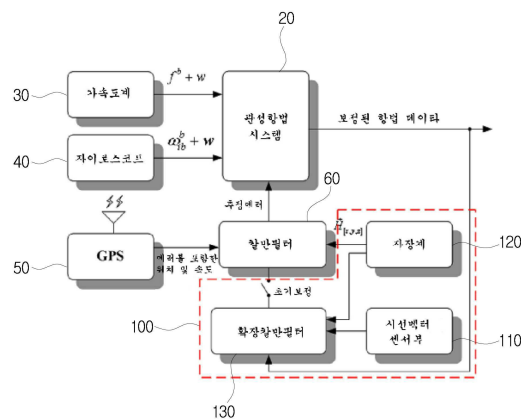
(54) 발명의 명칭 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템

(57) 요약

본 발명은 시선벡터를 이용한 자장계 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 알고 있는 시선벡터 값과, 시선벡터의 측정치를 이용하여 방위각을 추정하고, 추정된 방위각을 이용하여 자장계를 보정할 수 있도록 함과 동시에 이러한 자장계의 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있도록 하는 시선벡터를 이용한 자장계 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것이다.

본 발명은 항법 시스템에서의 자장계 오차 보정방법에 있어서, 자기 센서 자체에서 발생하는 오차를 보정하기 위한 센서 오차 보정단계와, 시선벡터를 이용하여 동체의 방위각을 추정하는 방위각 추정단계와, 상기 방위각 추정단계에서 추정된 방위각을 이용하여 자기장을 측정하는 자기장 측정단계 및 상기 방위각 추정단계 및 자기장 측정단계에서 얻어지는 데이터들을 이용하여 확장 칼만필터를 통해 자장계의 오차를 보정하는 자장계 오차 보정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

장세아

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 항공우주
공학과 (용현동)

유창경

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 항공우주
공학과 (용현동)

특허청구의 범위

청구항 1

항법 시스템에서의 자장계 오차 보정방법에 있어서,
자기 센서 자체에서 발생하는 오차를 보정하기 위한 센서 오차 보정단계와,
시선벡터를 이용하여 동체의 방위각을 추정하는 방위각 추정단계와,
상기 방위각 추정단계에서 추정된 방위각을 이용하여 자기장을 측정하는 자기장 측정단계 및
상기 방위각 추정단계 및 자기장 측정단계에서 얻어지는 데이터들을 이용하여 확장 칼만필터를 통해 자장계의 오차를 보정하는 자장계 오차 보정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 방위각 추정단계는,
광학센서를 이용하여 동체에서 시선벡터를 측정하는 시선벡터 측정단계와,
GPS를 이용하여 동체의 현재 위치를 측정하는 위치측정단계 및
상기 시선벡터 측정단계에서 측정된 시선벡터와, 위치측정단계에서 측정된 위치에서의 시선벡터 기준값과의 비교를 통해 동체의 방위각을 측정하는 방위각 측정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 시선벡터를 이용한 자장계 보정방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,
상기 방위각 측정단계에서는,
 $\vec{\eta}_b = T(\phi)T(\theta)T(\psi)\vec{\eta}_n = C_n^b \vec{\eta}_n$ 식에 의해 방위각을 측정하는 것을 특징으로 하는 시선벡터를 이용한 자장계 보정방법.

(이때, $\vec{\eta}_b$: 동체(좌표계)에서 측정되는 시선벡터, $\vec{\eta}_n$: 천문학 연감으로 부터 얻어지는 NED좌표계에서의 시선벡터, $T(\phi)T(\theta)T(\psi)$, C_n^b : 오일러각으로 주어지는 좌표변환행렬, ϕ : 롤각, θ : 피치각, ψ : 방위각)

청구항 4

제 1항에 있어서,
상기 자기장 측정단계에서는,
 $X_{mag} = r \cos \delta \cos \psi + \varepsilon_x$, $Y_{mag} = -r \cos \delta \sin \psi + \varepsilon_y$ 및 $Z_{mag} = r \sin \delta + \varepsilon_z$ 식에 의해 자기장을 측정하는 것을 특징으로 하는 시선벡터를 이용한 자장계 보정방법.

(이때, X_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 x축에서의 자기장 측정치, Y_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 y축에서의 자기장 측정치, Z_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 z축에서의 자기장 측정치, r : 자기장벡터의 크기, δ : 해당 위도에서의 복각, ψ : 방위각, ε_x : 자장계에서 측정된 자기장의 x축오차, ε_y : 자장계에서 측정된 자기장의 y축오차, ε_z : 자장계에서 측정된 자기장의 z축오차)

청구항 5

관성항법시스템(INS), 가속도계, 자이로스코프, GPS 및 칼만필터를 포함하는 통합 항법 시스템에 있어서, 제1항 내지 제4항 중의 어느 한 항에 해당되는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법을 이용하여 자장계의 오차를 보정할 수 있도록 하는 자장계 보정 필터부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 통합 항법 시스템.

청구항 6

제 5항에 있어서,
상기 자장계 보정 필터부는,
시선벡터를 이용하여 동체의 방위각을 추정하는 시선벡터 센서부와,
상기 시선벡터 센서에서 추정된 방위각을 이용하여 자기장을 측정하는 자장계 및
상기 시선벡터 센서부에서 추정된 방위각 및 자장계에서 측정된 자기장을 이용하여 자장계의 오차를 보정하는 확장 칼만필터를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 통합 항법 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 알고 있는 시선벡터 값과, 시선벡터의 측정치를 이용하여 방위각을 추정하고, 추정된 방위각을 이용하여 자장계를 보정할 수 있도록 함과 동시에 이러한 자장계의 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있도록 하는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 현대 항공산업을 포함한 다양한 분야의 연구에서 무인기의 비중이 날로 커지고 있다. 무인기는 유인기에 비해 가격대비 성능이 뛰어나고 무엇보다 임무수행시 파일럿의 목숨을 담보로 하지 않아도 되는 큰 장점 때문에 각광받고 있다.

[0003] 이러한 무인기의 운용 및 임무수행에서 가장 중요한 것이 통합항법장치인데, 이는 상기 통합항법장치의 성능이 무인기의 안정적인 비행을 보장하고, 나아가서 정확한 임무수행 능력을 뒷받침하기 때문이다.

[0004] 상기와 같은 항법장치로 대부분 가속도계와 자이로가 포함된 관성측정장치(IMU; Inertial Measurement Unit)를 기반으로 하는 관성항법시스템(INS; Inertial Navigation System)을 사용하고 있는데, 최근에는 GPS(Global Positioning System)의 활용도 필수화 될 만큼 널리 이용되고 있다.

[0005] 그러나 방위각의 측정에 있어서 IMU만으로는 측정 자체가 어렵고, GPS를 이용하는 데에는 지상 및 정지상태에서 값이 나오지 않으며, GPS 위성이 잡힐 때까지 시간이 걸리는 등 GPS가 포함된 항법장치에 다양한 제약이 존재하

고 있는 실정이다.

- [0006] INS는 자립형 항법 알고리즘으로 연속적인 항법 정보 계산이 가능하고 동적 특성이 좋은 장점을 가지고 있지만, 자이로와 가속도계의 편향오차로 인해 시간이 지날수록 오차가 누적되는 단점을 가지고 있다.
- [0007] 이러한 INS의 단점을 보완하기 위한 통합 항법 알고리즘의 대표적인 예가 GPS/INS 알고리즘인데, GPS/INS 결합 알고리즘은 GPS가 가지는 속도, 위치의 정확성을 바탕으로 INS의 속도, 위치 오차의 보정 능력이 탁월하다.
- [0008] 하지만 외부의 전파 방해 등으로 인한 GPS 신호가 단절되는 경우, 필터 알고리즘이 정상적으로 오차를 추정하지 못하게 됨에 따라 항법 해의 오차가 발생하게 된다. 또한 GPS/INS 결합은 정지 상태나 수평 비행 상태에서 자세에 관한 가관측성이 떨어지게 됨에 따라 자세 오차를 잘 보정해 주지 못하는 단점이 있다.
- [0009] 또한, 종래에는 방위각의 측정방법으로 나침반을 사용하였는데, 이러한 방법은 나침반의 정밀도에 전적으로 의존되며, 아날로그 나침반의 경우 그 정밀도가 현저히 떨어지는 문제점이 있다.
- [0010] 디지털 나침반의 경우 방위각 측정의 정밀도를 어느 정도 향상시킬 수는 있으나, 주변의 쇠붙이, 철, 자석을 비롯한 자기장을 왜곡시킬 수 있는 전자제품에 민감한 영향을 받는다는 문제점이 있었다.
- [0011] 또한, 항공기에 사용되는 항법시스템의 경우 실제 비행에 앞서 비행제어 시스템, 임무장비 등이 추가되거나 변경되면 자장에 영향을 주므로 다시 오차 보정을 해야 하는데, 종래에는 이러한 오차의 보정방법으로 180도의 방위각 차이를 두고 2번의 센서값 측정을 받아 이로부터 주변의 자기장을 왜곡시키는 물체에 의한 영향을 구할 수 있는 양방향 조정방법(bidirectional calibration)이 사용되었다.
- [0012] 하지만, 상기 양방향 조정방법은 자장계가 포함된 시스템 전체를 180도 돌려가면서 값을 측정해야 하는 어려움이 있다. 즉, 사람이 직접 시스템을 회전시켜야 하므로 시간이 오래 걸리고 정확도에 대한 오차가 발생할 수 있는 등의 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 시선벡터를 이용하여 방위각을 추정할 수 있도록 함으로써 외란(外亂)에 관계없는 정확한 방위각을 추정할 수 있는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템을 제공함에 있다.
- [0014] 또한, 모든 자장계는 항법 시스템에 적용되는 것과 같이, 다른 시스템과 함께 사용되는 경우에는 반드시 추가적으로 Hard Iron Distortion 오차를 보정해주어야 하는데, 본 발명은 종래의 양방향 조정방법이 가지고 있는 번거로움을 없애고, 항공기의 동체나 선박의 선체와 같이 자장계를 포함하는 시스템이 크고 무거울 경우 180도 만큼 돌려서 측정해야 하는 어려움을 해결할 수 있는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템을 제공함에 다른 목적이 있다.
- [0015] 또한, 본 발명은 시선벡터를 이용한 확장 칼만필터를 구성하여 자장계의 오차를 정확히 추정하여 보정할 수 있도록 함과 동시에, 이러한 자장계의 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있도록 하는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템을 제공함에 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기와 같은 목적들을 달성하기 위한 본 발명은,
- [0017] 항법 시스템에서의 자장계 오차 보정방법에 있어서, 자기 센서 자체에서 발생하는 오차를 보정하기 위한 센서 오차 보정단계와, 시선벡터를 이용하여 동체의 방위각을 추정하는 방위각 추정단계와, 상기 방위각 추정단계에서 추정된 방위각을 이용하여 자기장을 측정하는 자기장 측정단계 및 상기 방위각 추정단계 및 자기장 측정단계에서 얻어지는 데이터들을 이용하여 확장 칼만필터를 통해 자장계의 오차를 보정하는 자장계 오차 보정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0018] 이때, 상기 방위각 추정단계는, 광학센서를 이용하여 동체에서 시선벡터를 측정하는 시선벡터 측정단계와, GPS를 이용하여 동체의 현재 위치를 측정하는 위치측정단계 및 상기 시선벡터 측정단계에서 측정된 시선벡터와, 위치측정단계에서 측정된 위치에서의 시선벡터 기준값과의 비교를 통해 동체의 방위각을 측정하는 방위각 측정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한, 상기 방위각 측정단계에서는, $\vec{\eta}_b = T(\phi)T(\theta)T(\psi)\vec{\eta}_n = C_n^b \vec{\eta}_n$ 식에 의해 방위각을 측정하는 것을 특징으로 한다.(이때, $\vec{\eta}_b$: 동체(좌표계)에서 측정되는 시선벡터, $\vec{\eta}_n$: 천문학 연감으로 부터 얻어지는 NED 좌표계에서의 시선벡터, $T(\phi)T(\theta)T(\psi)$, C_n^b : 오일러각으로 주어지는 좌표변환행렬, ϕ : 롤각, θ : 피치각, ψ : 방위각)

[0020] 상기 자기장 측정단계에서는, $X_{mag} = r \cos \delta \cos \psi + \varepsilon_x$, $Y_{mag} = -r \cos \delta \sin \psi + \varepsilon_y$ 및 $Z_{mag} = r \sin \delta + \varepsilon_z$ 식에 의해 자기장을 측정하는 것을 특징으로 한다.(이때, X_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 x축에서의 자기장 측정치, Y_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 y축에서의 자기장 측정치, Z_{mag} : 수평상태에서 동체좌표계 z축에서의 자기장 측정치, r : 자기장벡터의 크기, δ : 해당 위도에서의 복각, ψ : 방위각, ε_x : 자장계에서 측정된 자기장의 x축오차, ε_y : 자장계에서 측정된 자기장의 y축오차, ε_z : 자장계에서 측정된 자기장의 z축오차)

[0021] 한편, 본 발명에 따른 자장계 오차 보정방법을 이용한 통합 항법 시스템은,

[0022] 관성항법시스템(INS), 가속도계, 자이로스코프, GPS 및 칼만필터를 포함하는 통합 항법 시스템에 있어서, 제1항 내지 제4항 중의 어느 한 항에 해당되는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법을 이용하여 자장계의 오차를 보정할 수 있도록 하는 자장계 보정 필터부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0023] 이때, 상기 자장계 보정 필터부는, 시선벡터를 이용하여 동체의 방위각을 추정하는 시선벡터 센서부와, 상기 시선벡터 센서에서 추정된 방위각을 이용하여 자기장을 측정하는 자장계 및 상기 시선벡터 센서에서 추정된 방위각 및 자장계에서 측정된 자기장을 이용하여 자장계의 오차를 보정하는 확장 칼만필터를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 시선벡터를 이용하여 방위각을 추정할 수 있도록 함으로써 저렴한 비용으로 자기장에 의한 외란에 관계없이 정밀한 방위각을 추정할 수 있는 뛰어난 효과를 갖는다.

[0025] 또한, 본 발명에 따르면 시선벡터를 상태변수로 사용하는 확장 칼만필터를 구성하여 단순한 방법에 의해 자장계의 오차를 보정할 수 있고, 이러한 자장계의 오차 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

[0026] 또한, 본 발명에 따르면 시선벡터 센서부와, 자장계 및 확장 칼만필터를 포함하여 구성되는 자장계 보정 필터부를 기존의 항법시스템에 추가하는 것만으로, 간단하게 자장계의 오차를 보정할 수 있음과 동시에 자장계 보정시 자장계 초기보정부를 선택적으로 기존의 항법시스템에 착탈시킬 수가 있어 페이로드(payload)의 증가에도 영향을 미치지 않는 효과를 추가로 갖는다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 시선벡터의 일례로 NED좌표계에서의 태양시선벡터를 나타낸 도면.
 도 2는 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법을 나타낸 흐름도.
 도 3은 종래의 항법시스템을 개략적으로 나타낸 도면.
 도 4는 본 발명에 따른 통합항법시스템을 개략적으로 나타낸 도면.
 도 5는 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법에 의해 추정된 자장계의 오차를 나타낸 그래프.
 도 6은 자장계의 오차 보정 없이 비행을 하는 경우의 방위각 오차를 나타낸 그래프.
 도 7은 본 발명에 따른 자장계 오차 보정을 수행한 후 비행을 하는 경우의 방위각 오차를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0029] 도 1은 시선벡터의 일례로 NED좌표계에서의 태양시선벡터를 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법을 나타낸 흐름도이며, 도 3은 종래의 항법시스템을 개략적으로 나타낸 도면이고, 도 4는 본 발명에 따른 통합항법시스템을 개략적으로 나타낸 도면이며, 도 5는 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법에 의해 추정된 자장계의 오차를 나타낸 그래프이고, 도 6은 자장계의 오차 보정 없이 비행을 하는 경우의 방위각 오차를 나타낸 그래프이며, 도 7은 본 발명에 따른 자장계 오차 보정을 수행한 후 비행을 하는 경우의 방위각 오차를 나타낸 그래프이다.
- [0030] 본 발명은 알고 있는 시선벡터 값과, 시선벡터의 측정치를 이용하여 방위각을 추정하고, 추정된 방위각을 이용하여 자장계를 보정할 수 있도록 함과 동시에 이러한 자장계의 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있도록 하는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것으로, 통상적으로 어떤 한 지점 또는 물체를 바라보는 벡터를 뜻하는 시선벡터(Line Of Sight vector)는 태양시선벡터(10), 달시선벡터 등이 포함되고, 본 발명에서 사용되는 시선벡터 또한 태양시선벡터(10), 달시선벡터 및 정확한 위치를 알고 있는 물체를 바라보는 시선벡터 등이 사용될 수 있으나, 이하에서는 태양시선벡터(10)를 사용하는 실시예를 기준으로 하여 설명하기로 한다.
- [0031] 즉, 태양시선벡터(10)는 도 1에 나타난 바와 같이 태양을 바라보는 시선벡터를 뜻하는 것으로, 현재의 정확한 위도, 경도, 고도를 포함하는 위차와 시각을 알면 천문학 연감(Astronomical Almanac)에 근거하여 정확하게 알 수 있으므로 보다 정밀한 방위각의 추정 및 자장계 보정이 가능하므로 주로 태양시선벡터(10)를 활용하는 것이다.
- [0032] 먼저, 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법은 크게 센서 오차 보정단계(S10), 방위각 추정단계(S20), 자기장 측정단계(S30) 및 자장계 오차 보정단계(S40)를 포함하여 구성되는데, 상기 센서 오차 보정단계(S10)는 항공기 등에 탑재되는 자기센서 자체에서 발생하는 오차를 보정하기 위한 것이다.
- [0033] 즉, 지구 자기장의 세기는 0.5 gauss 정도로 매우 작기 때문에, 자기 센서로 지구 자기장을 측정하는 경우 장착 오차 및 주변 물체의 영향에 의한 오차 등을 고려한 보정작업이 필수적인데, 이때 발생할 수 있는 오차로는 비정렬 오차, Hard Iron Distortion, Soft Iron Distortion, 기울기 오차 등이 있다.
- [0034] 이때, 상기 비정렬 오차는 제작 또는 장착시 센서의 외부 중심선과 센서의 측정방향이 정확하게 일치하지 않는 경우를 말하고, Hard Iron Distortion은 자성체가 자기 센서 주변에 위치하였을 때 자기 센서 주변의 자기장을 왜곡함으로써 인해 자기 센서의 출력값에 주기적인 형태의 오차가 발생하는 것을 말하며, Soft Iron Distortion은 방위각에 따라 주기가 달라지는 형태를 보이는 오차를 말한다.
- [0035] 또한, 상기 기울기 오차는 자기 센서가 피치(pitch) 또는 롤(roll) 방향으로 기울어지는 경우 발생하는 오차를 뜻하는 것으로, 이와 같은 비정렬 오차, Hard Iron Distortion, Soft Iron Distortion, 기울기 오차들을 보정하는 방법은 종래부터 사용되고 있는 것이므로 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0036] 다음, 실제 비행에 앞서 비행제어시스템, 임무장비 등이 추가되거나 변경되면 자기장에 영향을 주므로 Hard

Iron Distortion이 발생하게 되어 추가적인 자장계(120)의 보정이 필요하게 되는데, 이러한 오차를 보정하기 위해 본 발명에서는 종래의 양방향 조정방법(bidirectional calibration) 대신에 방위각 추정단계(S20)와 자기장 측정단계(S30) 및 자장계 오차 보정단계(S40)로 구성되는 오차 보정방법이 사용되는 것이다.

[0037] 여기서, 상기 방위각 추정단계(S20)는 (태양)시선벡터(10)를 이용하여 항공기 등의 동체의 방위각을 추정하는 것으로, 태양시선벡터 측정단계(S22), 위치측정단계(S24) 및 방위각 측정단계(S26)를 포함하여 구성된다.

[0038] 보다 상세히 설명하면, 상기 태양시선벡터 측정단계(S22)는 카메라 등의 광학센서(미도시)를 이용하여 항공기 등의 동체에서 태양시선벡터(10)를 측정하는 단계이고, 상기 위치측정단계(S24)는 GPS(Global Positioning System)(50)를 이용하여 동체의 현재 위치를 측정하는 단계에 관한 것이며, 상기 방위각 측정단계(S26)는 카메라 등의 광학센서를 통해 측정된 태양시선벡터와, 천문학 연감에 근거한 위치측정단계에서 측정된 동체의 위치에서의 태양시선벡터(10)의 기준값과의 비교를 통해 동체의 방위각을 측정하는 단계에 관한 것이다.

[0039] 이때, 상기 방위각 측정단계(S26)에서는 방위각의 측정을 위해 다음과 같은 식을 사용하게 되는데,

[0040]
$$\vec{\eta}_b = T(\phi)T(\theta)T(\psi) \vec{\eta}_n = C_n^b \vec{\eta}_n \quad \dots (1)$$

[0041] 여기서, $\vec{\eta}_b$: 동체(좌표계)에서 측정되는 태양시선벡터, $\vec{\eta}_n$: 천문학 연감으로부터 얻어지는 NED좌표계에
서의 태양시선벡터(10), $T(\phi)T(\theta)T(\psi)$, C_n^b : 오일러각으로 주어지는 좌표변환행렬, ϕ : 롤각, θ :
피치각, ψ : 방위각을 나타내는 것이다.

[0042] 즉, 상기 (1)식에서 나타낸 바와 같이, $\vec{\eta}_b$, 즉 동체에서 광학센서에 의해 측정된 태양시선벡터는 오일러각으로 주어지는 좌표변환행렬과, GPS(50)에 의해 측정된 현재위치에서의 천문학 연감으로부터 얻어지는 태양시선벡터(10)의 곱으로 표현될 수 있는데, 광학센서와 동체의 자세를 일치시킨 상태에서 태양시선벡터 측정단계(S22) 및 동체의 위치측정단계(S24)를 수행하면, 광학센서의 자세로부터 치롤각(ϕ)과 피치각(θ)을 알 수 있으므로 상기 (1)식의 계산을 통해 동체의 방위각(ψ)을 측정할 수 있게 되는 것이다.

[0043] 다음, 상기 자기장 측정단계(S30)는 자장계(120)의 오차를 보정하기 위해 방위각 추정단계(S20)에서 추정된 방위각을 이용하여 자장계(120)를 통해 자기장의 크기 및 방향을 측정하는 단계에 관한 것으로, 상기 자기장 측정단계(S30)에서는 자장계(120)의 오차를 포함한 자장계(120)의 수평상태에서의 측정치를 나타내는 다음과 같은 식이 사용된다.

[0044]
$$X_{mag} = r \cos \delta \cos \psi + \varepsilon_x \quad \dots (2),$$

[0045]
$$Y_{mag} = -r \cos \delta \sin \psi + \varepsilon_y \quad \dots (3),$$

[0046]
$$Z_{mag} = r \sin \delta + \varepsilon_z \quad \dots (4)$$

[0047] 이때, X_{mag} 과, Y_{mag} 및 Z_{mag} 는 각각 수평상태인 경우 동체좌표계의 x축, y축 및 z축에서의 자장계 측정치를 나타내고, r 은 자기장벡터의 크기를 나타내며, δ 는 해당 위도, 즉 GPS(50)에 의해 측정된 위치에서의 북각(inclination)을 나타내고, ψ 는 방위각 추정단계에서 구해진 방위각을 나타내며, ε_x 와 ε_y 및 ε_z 는 각각 Hard Iron Distortion을 포함하는 x축, y축 및 z축 오차를 나타낸다.

[0048] 즉, 자장계(120)에 의해 측정되는 자기장의 세기를 상기 (2),(3),(4)식과 같이 자기장의 크기와 방향을 나타내

는 값과 Hard Iron Distortion을 포함하는 오차의 합으로 표현할 수 있게 되는 것이다.

[0049] 다음, 상기 자장계 오차 보정단계(S40)는, 방위각 추정단계(S20)와 자기장 측정단계(S30)에서 얻어진 데이터들을 이용하여 확장 칼만필터(Extended Kalman Filter)(130)를 통해 자장계(120)의 오차를 보정하는 단계에 관한 것으로, 이때, 상기 확장 칼만필터(130)에 포함되는 상태변수들은 다음과 같다.

$$[0050] \quad \mathbf{x} = [\delta r \quad \delta \dot{r} \quad \delta \phi \quad \delta \theta \quad \delta \psi \quad \epsilon_x \quad \epsilon_y \quad \epsilon_z]^T \quad \dots (5)$$

[0051] 여기서, $\mathbf{x}$ 는 확장 칼만필터(130)의 상태변수이고, $\delta \mathbf{r}$ 및 $\delta \dot{\mathbf{r}}$ 은 자장계(120)에서 측정한 자기장 벡터의 크기 오차 및 그 미분값이며, $\delta \phi, \delta \theta, \delta \psi$ 은 각각 롤링각, 피칭각 및 방위각으로 표현되는 동체의 자세 오차이고, $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 는 각각 자장계(120)에서 측정한 Hard Iron Distortion을 포함하는 자기장의 x축, y축 및 z축 오차를 나타내는 것이다.

[0052] 상기과 같은 상태변수값들을 갖는 확장 칼만필터(130)의 시스템 방정식은 다음과 같이 표현될 수 있는데,

$$[0053] \quad \frac{d}{dt} \mathbf{x} = \begin{bmatrix} F_1 & O_{2 \times 6} \\ O_{6 \times 2} & O_{6 \times 6} \end{bmatrix} \mathbf{x}, \quad F_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

[0054] 이때, $O_{2 \times 6}$ 은 2×6 의 영행렬을 의미한다.

[0055] 이는 자기장 벡터의 크기 오차($\delta \mathbf{r}$)의 경우 위치에 따라서 변화하는 동특성이 있으므로 이를 1차 미분방정식으로 나타낼 수 있고, 나머지 자세오차($\delta \phi, \delta \theta, \delta \psi$)와, 자장계(120)에서 측정된 자기장의 오차($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$)는 오차가 발산하지 않고 일정한 것이므로 모두 미분항이 0이 되기 때문이다.

[0056] 이러한 확장 칼만필터(130)의 시스템 방정식은 실제 모델의 동역학적인 특성(Dynamics)를 기반으로 하여 상기 (6)식과 같이 구하였고, 상기 (5)식에 나타난 바와 같은 상태변수들을 모두 추정하므로 자장계(120)에서 측정한 Hard Iron Distortion을 포함하는 자기장의 x,y,z축 오차($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$)를 추정할 수 있게 된다.

[0057] 한편, 상기 확장 칼만필터(130)에서 수행되는 측정식은 전술한 식(1) 및 식(2)에서 얻은 태양시선벡터(10)의 측정치($\vec{\delta \eta}$)와 자장계(120)로부터 측정된 자기장의 오차($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$)를 이용하여 다음과 같이 구성하였다.

$$[0058] \quad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \delta \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_{3 \times 2} & O_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 2} & H_1 & O_{3 \times 3} \end{bmatrix} \mathbf{x} + \mathbf{v} = \begin{bmatrix} X_{mag} - r \cos \delta \cos \psi \\ Y_{mag} - (-r \cos \delta \sin \psi) \\ Z_{mag} - r \sin \delta \\ \eta_n - C_b^n \eta_b \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

$$[0059] \quad H_1 = \begin{bmatrix} [d(T(\phi))/dt \quad T(\theta) \quad T(\psi) \overline{\eta_n}]^T \\ [T(\phi) \quad d(T(\theta))/dt \quad T(\psi) \overline{\eta_n}]^T \\ [T(\phi) \quad T(\theta) \quad d(T(\psi))/dt \quad \overline{\eta_n}]^T \end{bmatrix}^T, \quad I_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v} = N(R, 0)$$

[0060] 여기서, $\mathbf{z}$ 는 확장 칼만필터(130)의 측정치이고, $\mathbf{x}$ 는 상기 식(5)에 나타난 확장 칼만필터(130)의 상태변수이며, $\mathbf{v}$ 는 노이즈를 포함한 일반적인 에러들을 포함하는 항이고, H_1 은 에러를 포함하는 좌표변환행렬을 표현한 것이며, 나머지 변수들은 전술한 식(1) 내지 식(6)에서 설명한 바와 같다.

[0061] 즉, 확장 칼만필터(130)는 방위각 추정단계(S20)와, 자기장 측정단계(S30)로부터 측정되는 데이터들을 입력받아

상기 (7)식에 의해 매 스텝마다 식(5)에 나타난 시스템 상태변수들을 갱신하게 된다.

[0062] 따라서, 상기 확장 칼만필터(130)는 후술할 태양시선벡터 센서부(110)의 측정치와 자장계(120)의 측정치로부터 자기장의 크기 오차(δr), 이의 미분값($\dot{\delta r}$), 동체의 자세오차($\delta\phi, \delta\theta, \delta\psi$), 자기장의 x, y, z축 오차($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$)를 추정하게 되고, 이로부터 자장계(120)의 추가적인 Hard Iron Distortion 오차를 추정하여 보정할 수 있게 되는 것이다.

[0063] 한편, 본 발명에 따른 통합 항법 시스템은 관성항법시스템(INS)(20), 가속도계(30), 자이로스코프(40), GPS(50) 및 칼만필터(60)를 포함하여 구성되는 종래의 항법 시스템에 전술한 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법을 적용하여 자장계(120)의 추가적인 Hard Iron Distortion 오차를 보정할 수 있는 자장계 보정 필터부(100)를 부가한 것에 특징이 있는 것으로, 전술한 바와 같이 자장계(120)가 포함된 시스템 전체를 180도 돌려가면서 값을 측정해야 하는 종래의 양방향 조정방법을 개선하여 태양시선벡터(10)와 같은 시선벡터를 이용하여 자장계(120)의 오차를 보다 간편하고 정밀하게 보정할 수 있는 장점을 갖는 것이다.

[0064] 보다 상세히 설명하면, 상기 자장계 보정 필터부(100)는 시선벡터 센서부(110)와, 자장계(120) 및 확장 칼만필터(130)를 포함하여 구성되는데, 상기 시선벡터 센서부(110)는 카메라 등의 광학센서를 포함하여 구성되어, 현재 위치에서의 태양시선벡터를 측정하는 역할을 함과 동시에, GPS(50)를 통해 측정된 현재 동체의 위치로부터 천문학 연감에 근거하여 NED 좌표계에서의 태양시선벡터($\vec{\eta^s}$)와 상기 광학센서에 의해 측정된 태양시선벡터($\vec{\eta^b}$)의 비교를 통해 전술한 식(1)로부터 동체의 방위각(Ψ)을 추정하는 역할을 하게 된다.

[0065] 이와 같은 시선벡터를 이용한 동체의 방위각(Ψ) 추정은 확장 칼만필터(130)에서 이루어지도록 구성할 수도 있다. 즉, 시선벡터 센서부(110)에서는 현재위치에서의 시선벡터를 측정하는 역할을 하고, 상기 확장 칼만필터(130)에서 GPS(50)를 통해 측정된 현재 동체의 위치로부터 천문학 연감에 근거하여 NED 좌표계에서의 태양시선벡터($\vec{\eta^s}$)와 상기 광학센서에 의해 측정된 태양시선벡터($\vec{\eta^b}$)의 비교를 통해 방위각(Ψ)을 추정하게 되는 것이다.

[0066] 또한, 상기 자장계(120)는 시선벡터 센서부(110)에서 추정된 방위각(Ψ)을 이용하여 Hard Iron Distortion 오차를 포함하는 자기장을 측정하는 역할을 하는 것이고, 상기 확장 칼만필터(130)는 태양시선벡터 센서부(110) 및 자장계(120)에서 얻어진 방위각(Ψ) 및 자기장을 포함하는 데이터들을 이용하여 식(6) 및 식(7)에서 나타난 바와 같이 자기장의 크기 오차(δr), 이의 미분값($\dot{\delta r}$), 동체의 자세오차($\delta\phi, \delta\theta, \delta\psi$), 자장계로부터 측정된 자기장의 x, y, z축 오차($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$)를 추정하고, 이로부터 자장계(120)의 추가적인 Hard Iron Distortion 오차를 추정하여 보정하는 역할을 하는 것이다.

[0067] 이때, 상기과 같이 구성된 자장계 보정 필터부(100)는 자장계(120)의 추가적인 Hard Iron Distortion 오차 보정 시에만 선택적으로 기존의 항법 시스템에 부가하여 사용하고, 오차 보정이 완료된 후에는 항법 시스템으로부터 분리할 수 있어 항공기 등의 임무 수행능력에 큰 영향을 미치는 페이로드(payload)의 증가에 영향을 미치지 않도록 구성할 수 있음은 물론이다.

[0068] 한편, 도 5 내지 도 7은 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템의 성능을 검증하기 위한 2차원 시뮬레이션을 한 결과를 나타낸 것으로, 시뮬레이션 조건으로 자장계(120)의 $\epsilon_x = \epsilon_y = 0.05 \text{ gauss}$ 정도의 Hard Iron Distortion 오차와 가속도계(30)의 편향오차 및 노이즈를 고려하였

다.

[0069] 먼저 도 5는 자장계 보정 필터부(100)에서 추정된 오차의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로, 가속도계(30)의 오차 및 노이즈에 의해 약간의 오차가 남아있기는 하나, 오차가 0.05 gauss 정도로 비교적 균일하게 추정됨을 확인할 수 있다.

[0070] 또한, 도 6 및 도 7은 자장계 보정 필터부(100)에 의한 자장계(120)의 오차 보정이 미치는 영향을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 통해 자장계(120)의 오차 보정을 안한 경우(도 6)와 오차 보정을 한 경우(도 7)를 비교하여 나타낸 것으로, 시뮬레이션은 방위각을 0°에서 30°로 변환 후에 30°에서 일정하게 유지되는 상황으로 설정하였다.

[0071] 도 6에서 볼 수 있는 바와 같이, 자장계(120)의 오차 보정을 하지 않은 경우에는 Hard Iron Distortion에 의해 방위각이 약 17° 정도나 차이가 나는 것을 확인할 수 있고, 자장계(120)의 오차 보정을 한 경우에는 도 7에 나타난 바와 같이, 방위각을 비교적 정확하게 추정하는 것을 확인할 수 있었다.

[0072] 따라서, 전술한 바와 같은 본 발명에 따른 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 의하면 시선벡터를 이용하여 방위각을 추정할 수 있도록 함으로써 저렴한 비용으로 자기장에 의한 외란에 관계없이 정밀한 방위각을 추정할 수 있고, 시선벡터 센서부(110)와, 자장계(120) 및 확장 칼만필터(130)를 포함하여 구성되는 자장계 보정 필터부(100)를 기존의 항법시스템에 추가하는 것만으로, 간단하게 자장계(120)의 오차를 보정할 수 있음과 동시에 자장계 보정시 자장계 초기보정부(100)를 선택적으로 기존의 항법시스템에 착탈시킬 수가 있어 페이로드(payload)의 증가에 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라, 이러한 자장계(120)의 오차 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있는 등의 다양한 장점을 갖게 되는 것이다.

[0073] 전술한 실시예들은 본 발명의 가장 바람직한 예에 대하여 설명한 것이지만, 상기 실시예에만 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변형이 가능하다는 것은 당업자에게 있어서 명백한 것이다.

산업상 이용가능성

[0074] 본 발명은 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 알고 있는 시선벡터 값과, 시선벡터의 측정치를 이용하여 방위각을 추정하고, 추정된 방위각을 이용하여 자장계를 보정할 수 있도록 함과 동시에 이러한 자장계의 보정방법을 통합 항법 시스템에 사용하여 정밀한 항법을 필요로 하는 선박, 항공 등의 시스템에 적용시킬 수 있도록 하는 시선벡터를 이용한 자장계 오차 보정방법 및 이를 이용한 통합 항법 시스템에 관한 것이다.

부호의 설명

[0075] 10 : 태양시선백터 20 : 관성항법시스템

 30 : 가속도계 40 : 자이로스코프

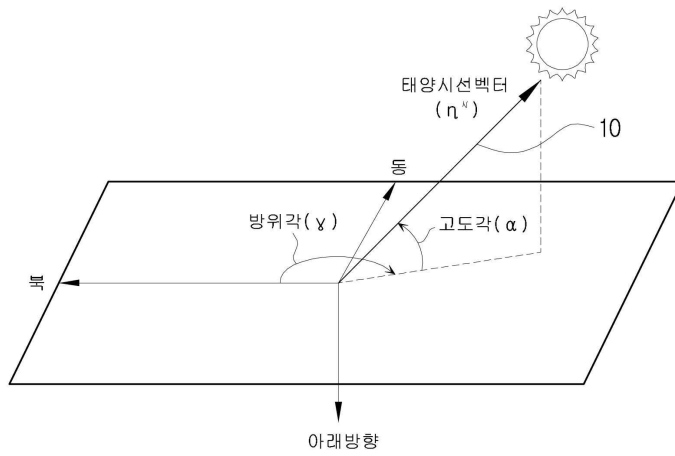
 50 : GPS 60 : 칼만필터

 100 : 자장계 보정 필터부 110 : 시선백터 센서부

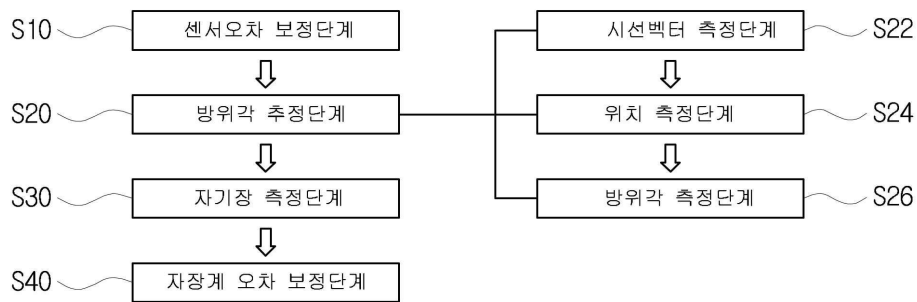
 120 : 자장계 130 : 확장 칼만필터

도면

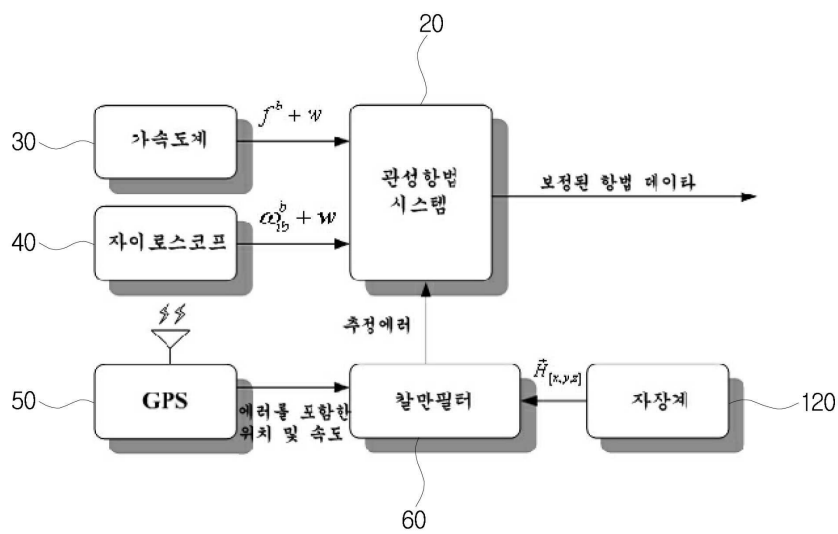
도면1



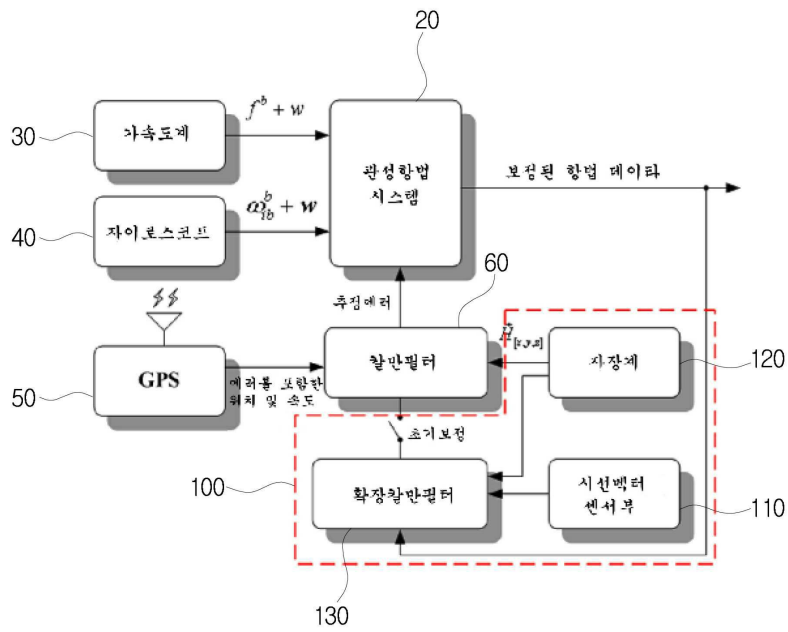
도면2



도면3



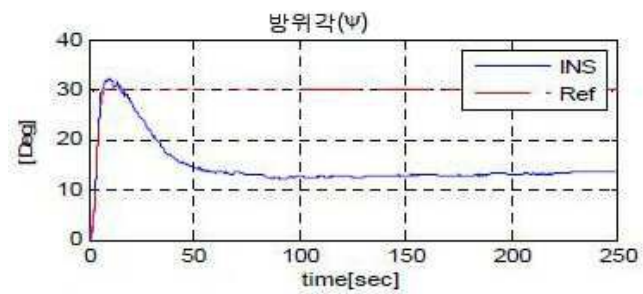
도면4



도면5



도면6



도면7

