



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년06월21일
(11) 등록번호 10-1749231
(24) 등록일자 2017년06월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B64G 1/10 (2006.01) B64G 1/22 (2006.01)
B64G 1/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B64G 1/10 (2013.01)
B64G 1/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0024270
(22) 출원일자 2016년02월29일
심사청구일자 2016년02월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2001099675 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
문규진
인천광역시 남구 경인남길30번길 45 (용현동) 304호
유창경
인천광역시 연수구 해돋이로 107 (송도동, 더샵 퍼스트월드) 4동 903호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김국진

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 조병규

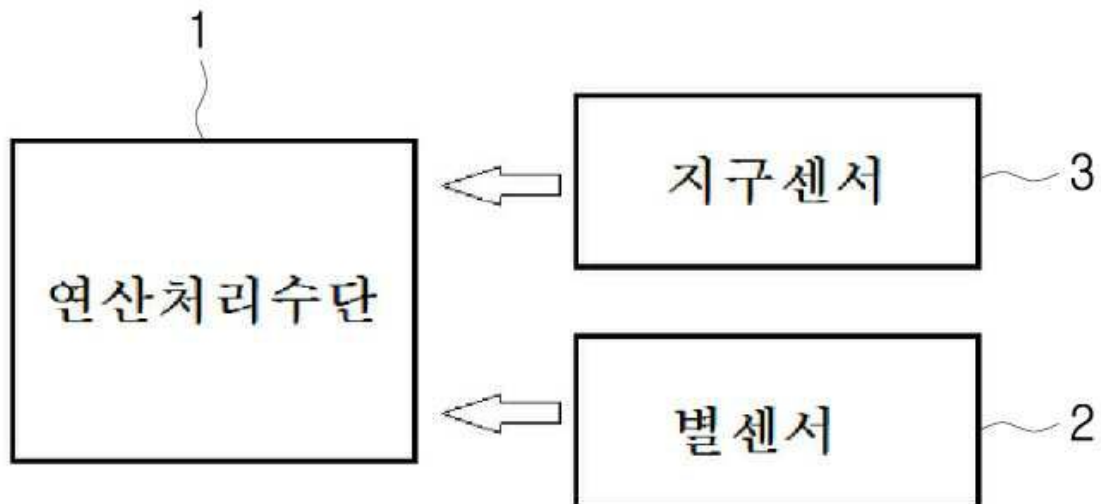
(54) 발명의 명칭 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법

(57) 요약

본 발명은 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법에 관한 것으로; 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법에 있어서, 별센서와 지구센서로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 위성의 고도와 궤도상에서의 위성의 위치를 결정하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 따르면, 위성에 주로 탑재되는 자세센서인 별센서와 지구센서를 통해 수집한 정보들을 이용해 위성의 위치를 결정할 수 있다. 이는 기지국 기반인 레이더 추적방식이나 GPS와 같은 주변 다른 위성의 간접적인 위치정보 등의 없이도 궤도상의 자신의 위치를 알아낼 수 있어 달 또는 행성탐사 위성의 경우 위성의 효율적이고 정밀한 임무 수행을 위한 자율항법을 수행하는데 유리하게 적용될 수 있다.

대 표 도 - 도1



- | | |
|---|---|
| <p>(52) CPC특허분류
 B64G 1/66 (2013.01)</p> <p>(72) 발명자
 박우성
 대구광역시 달서구 한실로 29 812동 704호 (도원동, 나래마을아파트)</p> <p>홍주현
 경기도 부천시 삼작로395번길 25 가동 101호 (원종동, 삼성빌라)</p> | <p>(56) 선행기술조사문헌
 KR100537565 B1
 KR100780464 B1
 KR101248778 B1
 KR1020010039649 A</p> |
|---|---|

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	48238-1
부처명	교육과학기술부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	우주기초, 핵심기술개발사업
연구과제명	행성 탐사위성의 자율항법시스템 연구
기 여 율	1/1
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2013.07.01 ~ 2014.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	49947-1
부처명	교육과학기술부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	우주기초, 핵심기술개발사업
연구과제명	행성 탐사위성의 자율항법시스템 연구
기 여 율	1/1
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2014.07.01 ~ 2015.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	52162-1
부처명	교육과학기술부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	우주기초, 핵심기술개발사업
연구과제명	행성 탐사위성의 자율항법시스템 연구
기 여 율	1/1
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2015.07.01 ~ 2016.06.30

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법에 있어서,
별센서와 지구센서로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 위성의 고도와 궤도상에서의 위성의 위치를 결정하되,
지구센서의 신호정보를 이용하여 위성의 고도 정보를 결정하는 제1단계,
별 센서의 신호정보를 이용하여 별의 관측각 및 식별을 통한 복수의 GP 정보를 획득하는 제2단계; 및
상기 위성의 고도 정보와 복수의 GP 정보를 이용해 위성의 위치를 결정하는 제3단계;로 구성되는 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,
상기 위성의 위치 결정은 위성의 고도, 위성의 수평면정보, 별의 관측각, 별의 GP 정보로 추정되는 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

청구항 4

제 1항에 있어서,
상기 지구센서는 이중 원뿔 스캔 센서인 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

청구항 5

제 1항에 있어서,
상기 제2단계는 별센서에서 획득된 이미지에서 식별에 필요한 밝은 별을 추출하는 스트레스홀딩, 이미지의 픽셀의 점들을 그룹화 하여 하나의 별로 바꾸는 그룹화, 그룹화한 별의 중심점을 찾는 중심점 찾기를 수행하고;
별을 식별하는 과정에서 복수의 GP 정보를 획득하는 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

청구항 6

제 5항에 있어서,
상기 중심점 찾기는 침두치 탐색 알고리즘(Peak detection algorithm) 또는 무게 중심법(Center of mass) 알고리즘을 이용하는 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 별을 식별하는 과정은 삼각패턴 알고리즘, 그룹매칭 알고리즘, 그리드 알고리즘 중에 어느 하나인 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법에 관한 것으로서, 좀더 상세하게는 자세센서인 별센서와 지구센서로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 관측자의 고도를 얻고 이를 통해 궤도상에서의 위성 자신의 위치를 결정하는 천측항법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 행성탐사를 위한 위성의 성공적인 임무수행을 위해서는 궤도상의 자신의 위치를 정확히 알고 있어야 한다. 그러나 행성탐사 위성의 경우 탐사하는 행성의 상대적 위치나 지상기지국의 위치에 따라 서로 통신이 어려운 상황이 발생한다는 단점을 갖는다.

[0003] 이에 대해 정지궤도위성에 GPS 수신기를 설치하고, 이 GPS 수신기에서 수신된 항법위성 신호를 분석함으로써 정지궤도위성의 현재 위치를 정확하게 측정하려는 시도의 일 예로서 등록특허 제10-0721534호가 제안된 바 있다. 이는 GPS 신호 중계장치 및 정지궤도 위성의 GPS 수신장치와, 그를 이용한 정지궤도 위성의 위치 결정방법에 관한 것으로, 제안된 정지궤도 위성의 위치 결정방법은 정지궤도 위성의 GPS 수신 장치가 GPS 신호 중계 장치로부터 GPS 신호를 수신받아 상기 정지궤도 위성의 위치를 결정하는 방법에 있어서, 복수의 GPS 위성으로부터 수신되는 복수의 L-밴드(band) GPS 신호를 기 할당된 고유의 각 상향링크 주파수대역으로 변환한 후, 상기 정지궤도 위성으로 전송하는 GPS 신호 전송단계; 및 상기 정지궤도 위성의 수신안테나를 통하여 수신되는 상향링크 주파수대역의 GPS 신호를 복수의 고유한 주파수대역으로 각각 분리한 후에 각각 L-밴드(band) GPS 신호로 변환하고, 상기 변환한 L-밴드(band) GPS 신호에서 추출한 복수의 GPS 위성정보 및 이들의 전파이동시간을 이용하여 상기 정지궤도 위성의 위치를 계산하는 위치 계산단계를 포함한다.

[0004] 그런데 이와 같은 GPS 방식을 이용한 위성의 위치 결정 방법의 경우 행성탐사 위성의 경우 주변 다른 위성의 간접적인 위치정보도 얻기가 힘든 상황이므로 이의 적용이 어려운 문제점이 있다.

[0005] 이에 다른 행성에서의 위성의 효율적이고 정밀한 임무 수행을 위해 위성의 자율항법에 관련한 실질적인 연구가 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 참고문헌: 등록특허 제10-0721534호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 위성이 일반적으로 탑재하는 자세센서인 별센서와 지구센서로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 관측자의 고도를 얻고 이를 통해 궤도상에서의 자신의 위치를 결정하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 이와 같은 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명은;
- [0009] 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법에 있어서,
- [0010] 별센서와 지구센서로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 위성의 고도와 궤도상에서의 위성의 위치를 결정하는 것을 특징으로 하는 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법을 제공한다.
- [0011] 이때, 상기 위성의 천측항법 알고리즘은, 지구센서의 신호정보를 이용하여 위성의 고도 정보를 결정하는 제1단계; 별 센서의 신호정보를 이용하여 별의 관측각 및 식별을 통한 복수의 GP 정보를 획득하는 제2단계; 및 상기 위성의 고도 정보와 복수의 GP 정보를 이용해 위성의 위치를 결정하는 제3단계;로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 그리고, 상기 위성의 위치 결정은 위성의 고도, 위성의 수평면정보, 별의 관측각, 별의 GP 정보로 추정되는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 상기 지구센서는 이중 원뿔 스캔 센서인 것을 특징으로 한다.
- [0014] 그리고, 상기 제2단계는 별센서에서 획득된 이미지에서 식별에 필요한 밝은 별을 추출하는 스레스홀딩, 이미지의 픽셀의 점들을 그룹화 하여 하나의 별로 바꾸는 그룹화, 그룹화한 별의 중심점을 찾는 중심점 찾기를 수행하고; 별을 식별하는 과정에서 복수의 GP 정보를 획득하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 아울러, 상기 중심점 찾기는 첨두치 탐색 알고리즘(Peak detection algorithm) 또는 무게 중심법(Center of mass) 알고리즘을 이용하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 그리고, 상기 별을 식별하는 과정은 삼각패턴 알고리즘, 그룹매칭 알고리즘, 그리드 알고리즘 중에 어느 하나인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따르면, 위성에 주로 탑재되는 자세센서인 별센서와 지구센서를 통해 수집한 정보들을 이용해 위성의 위치를 결정할 수 있다. 이는 기지국 기반인 레이더 추적방식이나 GPS와 같은 주변 다른 위성의 간접적인 위치 정보 등의 없이도 궤도상의 자신의 위치를 알아낼 수 있어 달 또는 행성탐사 위성의 경우 위성의 효율적이고 정밀한 임무 수행을 위한 자율항법을 수행하는데 유리하게 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명에 따른 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법 구현을 위한 구성도이다.
- 도 2는 천측항법의 기하를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 3은 두 개(a) 및 세 개(b)의 천체관측을 통한 관측자의 위치결정 예를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 4는 원뿔 스캔 센서의 구동 원리를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 5는 이중 원뿔 스캔 동작을 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 6의 (a) 내지 (c)는 원뿔 스캔 센서의 측정 변화를 도시한 도면이다.
- 도 7은 원뿔 센서를 이용한 고도 추정 원리를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 8은 고도 추정을 위한 원뿔의 기하학 정의를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 9는 이중 원뿔 스캔 센서의 일 예를 도시한 사진이다.
- 도 10은 별센서의 자세추정 알고리즘 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 본 발명에 따른 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법을 첨부한 도면을 참고로 하여 상세히 기술되는 실시 예에 의하여 그 특징들을 이해할 수 있을 것이다.
- [0020] 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서

는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[0021] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0022] 도 1을 참고하면 본 발명에 따른 별센서와 지구센서를 이용한 위성의 천측항법은 위성이 일반적으로 탑재하는 자세센서를 이용하여 위성의 위치를 결정한다. 특히 본 발명은 자세센서인 별센서(2)와 지구센서(3)로부터 천측항법에 필요한 서로 다른 세 별의 로컬 수평면에 대한 관측각과 관측자의 고도를 얻고 이를 통해 궤도상에서의 자신의 위치를 결정한다. 즉, 본 발명은 연산처리수단(1)에서 별센서(2)와 지구센서(3)의 정보를 수집하여 위성의 위치를 결정한다.

[0023] 이때, 천측항법은 중세에 항해에서 흔히 사용되던 방식으로 별을 관찰하여 자신의 위치를 추정하는 기법으로, 고대 천측항법은 천정(zenith)를 향하는 방향에 대해 식별이 가능한 세 개의 별(천체)의 시선이 이루는 각이 주어질 경우 지표면상에서의 관측자의 위치를 결정할 수 있다.

[0024] 이와 같은 천체항법의 원리를 위성에서 이용할 경우 위성의 고도 및 천정방향을 결정하기 위한 로컬 수평면에 대한 정밀한 정보가 필요하며, 또한 별의 관측각과 관측된 별을 식별할 수 있어야한다. 이러한 정보들은 저궤도 위성의 정밀한 자세 결정을 위해 널리 사용되고 있는 이중 원뿔 스캔 센서와 별센서(2)를 통해 획득할 수 있다. 즉, 천측항법을 이용하는 경우 위성이 탑재하고 있는 자세센서 만으로도 위성의 위치를 결정할 수 있다.

[0025] 이하, 본 발명에 적용하는 천측항법의 기본 개념과 이를 자세센서에 적용하여 위치를 추정할 수 있는 알고리즘과, 각 자세센서가 갖는 오차 정보가 위치 추정 결과에 주는 영향에 대해 상세히 설명한다.

[0026] 먼저 천측항법의 기본 개념을 설명한다.

[0027] 일반적으로 천구에는 지구관성좌표계를 기준으로 각 별들의 위치가 구 위의 한점으로 표시된다. 이때 천구에 표시되는 다양한 별들 중에서 태양, 달, 태양계의 행성 들을 제외하면 위치가 거의 변하지 않는 별인 항성만 남게 된다. 이 항성들은 천구상의 위치가 일정하므로 DB화를 수행하기가 유용하다. 별 카탈로그는 항성들의 천구상의 위치를 모아놓은 자료로 도 2에 도시된 바와 같이 지구관성좌표계에 대해 RA와 DEC의 두 회전각으로 방향만을 정의해 두고 있다. 한편 항성은 아주 멀리에서 빛이 오는 것으로 가정하고 있기 때문에 도 2에 도시된 바와 같이 지구(Earth)의 어떤 위치에 있더라도 평행하게 빛이 들어오며, 평행하게 들어오는 빛 중에서 지구 중심을 향하는 빛이 지표면과 만나는 지점을 GP(Geographic Position)이라 하며 이 위치는 RA와 DEC가 정의하는 방향의 벡터와 지표면이 만나는 점과 일치한다.

[0028] 한편, 천측항법은 별 카탈로그에 포함되어 있는 별의 관측각(H)을 찾는 것에서부터 시작한다. 별의 관측각(H)은 관측자 기준의 수평면으로부터 별이 보이는 각도를 말하는 것으로, 고대 천측항법을 사용할 때에는 육분의 등을 이용하여 각도를 측정하였다. 항성의 특성상 빛이 지구 전 영역에 대해 평행하게 들어오며 지구(Earth)는 커다란 구형 물체이기 때문에 관측각(H)을 갖는 지점(별이 수평면에서 H 각도만큼 위에 떠있는 것처럼 보이는 지점)은 한 점이 아니라 구체 위의 무수히 많은 지점이 있으며 이 지점은 GP를 중심으로 커다란 원을 형성하게 된다.

[0029] 따라서 관측자는 별 카탈로그를 통해 별의 GP를 알고 있으므로 지구본 위에 커다란 원을 그릴 수 있으며 두 번째 별을 이용하여 동일한 방식으로 원을 그려 도 3의 (a)와 같이 관측자의 위치를 2개의 후보로 압축할 수 있다. 3번째 별에 대해서는 앞선 두 별과 같은 과정을 수행할 경우 관측자의 위치는 단 하나로 결정할 수 있다.

[0030] 즉, 세 개 이상의 천체를 관측하여 수평면에 대한 별의 관측각(H)을 알 수 있다면 지구관성좌표계에 대한 관측자의 위치를 결정할 수 있으며 현재시간을 알 수 있다면 지구중심고정좌표계에 대한 위치도 추정할 수 있다. 이 경우 첫 번째 별 이후 나머지 별들은 GP가 서로 가까이 두지 않도록 별을 선택하는 것이 중요하다. GP점이 서로 가까워질수록 두 별의 관측각도 유사해지므로 GP를 중심으로 그리게 되는 큰 원이 서로 겹치는 현상이 발생하여 정밀한 위치 추정에 많은 어려움을 겪게 된다. 따라서 관측자가 위치한 수평면에 대해 넓은 방위각을 사용하여 별의 관측각을 측정하는 것이 중요하다.

[0031] 이하, 위성의 위치를 결정하기 위한 주요 고려 요소를 설명한다.

[0032] 우선 관측자의 위치를 알기 위해서는 총 네 개의 정보가 필요하나 지구 표면이라는 중요한 구속조건이 있기 때

문에 별의 관측각 정보 세 개만을 이용해서 위치를 추정할 수 있다.

[0033] 하지만 위성의 경우에는 지표면에서 수백킬로미터 이상 떨어져 있기 때문에 지구 반지름을 하나의 구속조건으로 가져오는 것은 무의미 하다. 따라서 위성의 위치를 추정하는 시점에서의 고도를 추정하여 그 고도를 기준으로 하는 가상의 구를 그려줄 필요가 있다. 이 가상의 구는 별의 관측각에 대한 원을 그리는 기준이 된다. 두 번째로 별의 관측각을 정확히 측정하기 위해 정확한 수평면에 대한 추정과 별의 관측각 획득이 필요하다. 수평면에 대한 추정에 부정확할 경우 별의 관측각에 오차가 발생하여 GP를 중심으로 한 원의 반지름이 변하여 결국 위치 추정의 오차로 나타날 것이다. 마지막으로 별의 GP를 획득해야한다. 별의 GP는 별의 관측각에 대한 원을 그리는 중심이 되는 위치로 별 카탈로그로 저장되기 때문에 센서를 통해 획득한 별의 정보를 이용하여 어떤 별인지 식별할 수 있어야 한다.

[0034] 즉, 천측항법의 원리를 적용하여 위성의 위치를 추정하기 위해서는 총 네 가지의 정보인 위성의 고도, 위성의 수평면정보, 별의 관측각, 별의 GP 정보를 필요로 한다.

[0035] 이와 같이 위성의 고도, 위성의 수평면정보, 별의 관측각, 별의 GP 정보는 위성에서 주로 사용하고 있는 자세센서를 이용해서 획득할 수 있다.

[0036] 이때, 상기 자세센서로는 지구센서, 별센서, 태양센서, 자기장센서 등이 있으며 특히 지구센서는 자구의 적외선 영역을 이용하여 위성의 자세를 추정하는 기법을 적용한다. 지구센서는 고도에 따라 지구적외선 영역을 활용하는 방식이 달라지는데 고도 1000km 정도를 갖는 저궤도위성에서는 지구와 거리가 가까워 지구적외선 영역을 모두 사용할 수 없으므로 경계선을 스캔하여 자세를 추정하는 방식이 일반적이며 정지궤도와 같은 고도가 높은 경우에는 지구가 활상면에 촬영되는 중심의 위치와 크기 등을 이용하여 자세를 추정한다.

[0037] 본 발명에 적용되는 지구센서는 이중 원뿔 스캔 센서로서, 이중 원뿔 스캔 센서는 저궤도에 위치한 위성에서 사용할 수 있는 지구적외선 스캔 센서로 다른 말로 수평면 추정 센서라고 불린다.

[0038] 이에 본 발명에서는 천측항법의 원리를 적용하여 위성의 위치를 추정하기 위해 총 네 가지의 정보들 중에 위성의 고도 및 수평면정보는 이중 원뿔 스캔 센서를 통해 획득하고, 별의 관측각 및 식별을 통한 GP 정보 획득은 별 센서의 자세 추정 과정을 통해 획득한다.

[0039] 이와 같은 이중 원뿔 스캔 센서의 자세결정 원리를 도 4 내지 도 6을 참고로 설명한다. 도 4는 원뿔 스캔 센서의 구동 원리를 설명하기 위해 도시한 도면으로, 원뿔 스캔 센서는 탑재된 방향을 기준으로 큰 원을 그리면서 지구의 적외선 영역을 스캔하는 센서로 위성의 물과 피치에 대한 자세각을 추정한다. 센서 내부는 도 4와 같이 구성되며 프리즘을 회전하여 내부로 들어오는 빛의 방향을 조절한다. 센서의 회전각인 η 는 설계 시 결정되어 운용 중에 바뀌지 않는다.

[0040] 한편, 도 5는 이중 원뿔 스캔 센서의 작동 예를 설명하기 위해 도시한 도면으로, 각 센서가 큰 원뿔을 그리면서 지구의 적외선 영역을 측정하는데 우주공간을 측정할 때는 미약한 신호가 들어오지만 지구의 적외선 영역 내부에서는 특정 수준의 크기를 갖는 신호를 획득할 수 있다.

[0041] 이와 같은 원뿔 스캔센서가 측정하는 값의 변화는 도 6에서와 같다. 이를 참고하면 도 6의 (a)는 한주기(T)동안 측정되는 가장 기본적인 신호의 형태를 나타낸다. 원뿔 스캔센서가 우주를 지향할 때는 측정되는 신호가 없지만 δ_1 시점에서 지구의 적외선영역이 들어오고 δ_2 시점에서 적외선 영역을 빠져 나감을 알 수 있다. LVLH 좌표계에 대해 자세의 변화가 없는 상태에서 스캔의 시작점이 최상단이라고 가정하면 전체 주기의 중심선을 기준으로 양쪽 신호가 들어오는 지점에 대한 변위가 같다. 또한 위성의 동체좌표계의 X_b 축으로 원뿔 스캔 센서가 장착되어 있다고 가정하면 피치가 발생했을 경우에는 도 6의 (b)에서처럼 신호의 중심선이 이동을 하며, 롤이 발생한 경우에는 도 6의 (c)와 같이 신호의 길이가 짧아지거나 길어지는 현상을 보인다.

[0042] 이에 따라 이중 원뿔 스캔 센서의 경우 롤이 발생하면 양쪽 센서에 들어오는 신호의 길이가 달라지므로 이 차이를 이용하여 위성의 자세를 추정할 수 있다. 따라서 자세각 계산식은 다음의 수식 1 및 2와 같이 주어진다.

$$roll = \phi = \frac{(\delta_2 - \delta_1) - (\delta_4 - \delta_3)}{C_1} \quad \text{수식 1}$$

$$pitch = \theta = \frac{(\delta_4 - \delta_3) - (\delta_2 - \delta_1)}{C_2} - C_3 \quad \text{수식 2}$$

[0043]

[0044] 이때, δ_1 및 δ_2 는 첫 번째 콘에서 측정된 데이터이고, δ_3 및 δ_4 는 두 번째 콘에서 측정된 데이터이며, C_1 과 C_2 및 C_3 은 상수로서 장착각과 원뿔의 내각 및 회전 주기 등으로 결정되는 값이다.

[0045] 다음으로 도 7 및 도 8을 참고로 위성의 고도 결정 원리를 설명한다.

[0046] 위성의 고도 정보는 상기 원뿔 스캔 센서의 신호정보를 이용하여 계산할 수 있다. 도 7은 원뿔 센서를 이용한 고도 추정의 기본적인 원리를 설명하기 위해 도시한 도면으로, 고도를 추정하는 시점의 위성의 고도를 r 이라고 하고, 원뿔 스캔 센서를 이용해서 측정할 수 있는 지구적외선 영역의 반지름을 R_l 로 한다. 원뿔 스캔 센서가 회전을 통해 적외선 측정을 시작하여 우주를 지향하다 지구적외선 영역이 들어오게 되는 바로 그 시점에 위성의 중심으로부터 지구적외선으로 이어지는 가상의 선은 지구 중심으로부터 이은 선과 법선관계가 되므로 그 사잇각이 직각이 된다. 따라서 삼각함수 공식을 이용하여 아래의 수식 3과 같이 고도에 관한 식을 얻을 수가 있다.

$$r = R_E + h = \frac{R_l}{\cos \gamma} \quad \text{수식 3}$$

$$\gamma = \xi_0 + \xi$$

[0049] 이때, R_l 와 ξ_0 는 알고 있는 값이기 때문에 ξ 를 구하는 것이 중요하다. 이 ξ 값은 원뿔의 기하학을 통해 얻을 수 있다.

[0050] 도 8에서와 같이 원뿔의 회전각 η 는 원뿔 밑면의 반지름 R 과 원뿔의 높이 l 을 이용하여 다음의 수식 4과 같이 구할 수 있다.

$$\tan \eta = \frac{R}{l}, \quad l = \frac{R}{\tan \eta} \quad \text{수식 4}$$

[0052] 또한 측정 데이터인 δ 는 다음의 수식 5와 같이 구할 수 있다.

$$\cos \delta = \frac{A}{R} \quad \text{수식 5}$$

[0054] 그리고, 원뿔 센서의 회전에 의해 발생하는 각도 ξ 는 다음의 수식 6과 같이 구할 수 있다.

$$\tan \xi = \frac{A}{l} \quad \text{수식 6}$$

[0056] 이때, A 와 R , l 은 가상의 값이기 때문에 상기 수식 4와 5를 상기 수식 6에 대입하면 다음의 수식 7 및 8을 구할 수 있다.

$$\tan \xi = \frac{A}{l} = \tan \eta \frac{A}{R} = \tan \eta \cos \delta \quad \text{수식 7}$$

$$\xi = \tan^{-1}(\tan \eta \cos \delta) \quad \text{수식 8}$$

[0058] 여기서, $\delta = \frac{t_1}{T} 2\pi - \delta_0$ 이므로, 수식 8과 수식 3을 이용해 위성의 고도를 계산할 수 있다.

[0059] 상기 이중 원뿔 스캔 센서의 일 예로 도 9에 도시된 바와 같은 STD15 모델을 사용할 수 있다.

[0060] 이와 같은 이중 원뿔 스캔 센서를 통해 획득한 정보들을 이용해 위성의 고도를 계산한 후, 별 센서를 이용해 별의 관측각 및 식별을 통한 GP 정보를 획득한다.

[0061] 먼저, 도 10은 별센서의 자세추정 알고리즘 흐름도이다. 이에 의하면 별센서를 이용한 자세 추정은 크게 이미지 획득 과정(S10), 별 식별 알고리즘(S20), 자세결정 알고리즘(S30)의 세부분으로 나눌 수 있으며, 별 식별 알고리즘(S20)은 전처리 과정(S21)과 후처리 과정(S22)으로 나눌 수 있다.

[0062] 우선 별 식별 알고리즘의 전처리 과정(S21)은 스텔스홀딩(S21a), 그룹화(S21b), 중심점 찾기(S21c)의 세과정으로 나눈다.

[0063] 스트레스 홀딩(S21a)은 획득된 이미지에서 식별에 필요한 밝은 별을 추출하는 과정이다. 별센서의 경우 어두운 환경에서 짧은시간동안 빠르게 촬영을 해야하기 때문에 센서의 감도가 매우 높다. 따라서 식별에 필요한 밝은 별 외에도 밝기 등급이 낮은 별과 노이즈 마저 같이 촬영이된다. 별 식별 알고리즘의 효율성 증대를 위해서는 밝기 등급이 낮은 별과 노이즈를 제거하기 위해서 적정한 값의 밝기를 설정하고 이 값을 넘지 못하는 픽셀은 모두 0을 넣어 노이즈와 밝기 등급이 낮은 별을 제거한다.

[0064] 다음으로 그룹화(S21b)는 이미지의 픽셀의 점들을 그룹화 하여 하나의 별로 바꾸는 과정이다. 임계점 처리 작업을 통해 추출한 픽셀들은 맨 눈으로 보기에는 한점으로 인식된다 하더라도 실제로는 작은 픽셀의 점들이 모여서 나타나기 때문에 중심점 찾기를 수행하는 경우 작은 점들 모두 하나의 별로 인식하는 경우가 발생한다. 따라서 이러한 작은 점들을 그룹화 하여 하나의 별로 바꾸는 과정이 필요하다.

[0065] 상기 그룹화(S21b)는 다음과 같은 방식으로 진행한다. 즉, 이미지의 가로 또는 세로 방향으로 차례대로 픽셀을 확인한다. 픽셀이 검은 부분은 지나치며 흰색을 갖는 픽셀이 확인 될 경우 주변 모든 픽셀 8개를 확인하여 숫자가 있는 픽셀이 발견되지 않을 경우 나오지 않은 가장 작은 숫자를 입력한다. 연속적으로 흰색 픽셀이 확인되면 동일한 숫자를 입력하며 검은 픽셀이 발견되면 숫자 입력을 중단하고 다음 흰색 픽셀을 찾는다. 다음 흰색 픽셀을 찾은 경우 앞과 동일하게 주변 픽셀을 모두 확인하면서 다음 숫자를 입력한다. 연속적으로 숫자를 입력하면서 진행하던 도중 주변 픽셀 중 지금 입력중인 숫자보다 작은 숫자가 발견되면 지금까지 입력해던 모든 숫자의 값을 발견된 숫자로 바꾼다. 이후 같은 방식으로 진행하면 흰색 픽셀을 갖는 주변 픽셀들의 숫자는 모두동일하게 만들 수 있으며 각각의 숫자가 그룹번호를 의미한다.

[0066] 다음으로 중심점 찾기(S21c)는 전처리 과정의 마지막 과정으로, 그룹화한 별의 중심점을 찾는 과정이다. 중심점 찾기 알고리즘에는 침두치 탐색 알고리즘(Peak detection algorithm), 무게 중심법(Center of mass) 등의 최적화 기법이 있다. 그룹화된 점들에 대해 점 그룹에서 최대의 픽셀 값을 갖는 점을 중심점으로 선택하는 것이 침두치 탐색 알고리즘이다. 무게 중심법은 그룹화된 점들 각각의 픽셀 값을 점들의 좌표에 가중치로 부여하여 평균을 내는 것이라 할 수 있다.

[0067] 침두치 탐색 알고리즘은 배열에서 이웃한 값보다 값이 큰 경우를 추출하여, 최종적으로 침두치를 추출하는 알고리즘이다. 이웃한 값과 비교할 때, 배열의 첫 번째 값을 기준으로 순차적인 탐색을 하는 방식과 배열의 중간 값을 기준으로 좌우 배열 값을 탐색하는 방식이 있다. 일반적으로 그룹화 되어 한 구역씩 나뉘져 있는 별에 대해 중심점을 찾을 때, 한 구역에 속한 픽셀들의 픽셀 값이 다르다. 따라서 침두치 탐색 알고리즘을 적용할 때에는 그룹에 속한 픽셀에 대해 픽셀 값이 최대가 되는 픽셀 좌표를 중심점으로 선택하도록 해야한다. 스트레스홀딩 작업과 가우시안 필터링을 거친 상태에서는 가장 밝은 점이 별로 인식되기 때문에 가장 정확한 별의 위치가 될 수 있다.

[0068] 이때, 질량중심은 물체 전체 질량의 중심점으로 중력이 균일한 경우 무게중심과 같다. 이진 영상에서 각 픽셀에서의 밝기 값을 그 점에 대한 무게로 간주하면 아래의 수식 9로부터 간편하게 중심점을 찾을 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{i,j}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j I_{i,j}}{A}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i I_{i,j}}{A}$$

수식 9

[0069]

[0070] 위 수식 10에서 A는 이진영상에서 라벨링된 구역을 구성하고 있는 모든 픽셀 값의 합을 표현한 것이고, $\bar{x}$ 와 $\bar{y}$ 는 각각 라벨링된 점으로부터 무게 중심법을 통해 구한 중심점이다. 침두치 탐색 알고리즘에서는 최대 픽셀 값을 갖는 픽셀을 중심점으로 추출하는 반면, 무게 중심법 알고리즘에서는 라벨링 되어 한 구역씩 나뉘져 있는 별에 대해 한 구역에 속한 픽셀들의 픽셀 값을 가중치로 두고 평균을 계산함으로써 중심점을 찾는다라는 점에서 차이가 존재한다.

[0071] 이하, 별 식별 알고리즘의 후처리 과정(S22)을 설명한다. 이는 별 식별 알고리즘을 이용해 별을 식별하는 과정이다.

[0072] 별 식별 알고리즘의 후처리시 비교적 오차가 적어 잘 알려져 있는 별 식별 알고리즘으로는 삼각패턴 알고리즘,

그룹매칭 알고리즘, 그리드 알고리즘 등이 있다. 이러한 알고리즘들을 토대로 변형이 이루어지고 있는데, 삼각 패턴 인식 알고리즘에 비해서 그리드 알고리즘(S22a) 기법은 이미지 가로, 세로 방향으로 구분하여 격자를 만들기 때문에 더 간편하다고 볼 수 있다. 또한, 시계가 충분히 확보되어 상당한 수(5개 이상)의 별이 이미지로 획득되면 패턴이 기존 데이터베이스와 일치할 가능성이 커지기 때문에 측정 오차의 영향에 덜 민감하게 된다.

[0073] 먼저 삼각패턴 알고리즘은 별 이미지에서 주변 3개의 별들을 이용해 삼각형 공식으로부터 패턴을 파악하는 방식으로, 각 삼각 패턴들은 가장 밝은 별과 선택된 나머지 2개의 별과의 각거리를 계산하여 후보 삼각형 패턴들에 식별 인수를 부여하게 한 후, 별의 밝기 정보를 이용해서 후보 삼각형 패턴을 정하고 일정한 밝기 오차 범위안의 삼각형 패턴을 찾으면 별 인식이 완료된다.

[0074] 그리드 알고리즘(S22a)은 일정 밝기 이상의 별과 그 주변의 별들을 이용해서 패턴에 대한 데이터베이스를 구축해서 실제 별 식별(S22b)에서 사용한다. 특정 별을 중심으로 주변 별들을 그리고 그 위에 가상의 그리드를 합성하여 별들이 차지하는 그리드의 좌표를 기억한다. 이후 이미지를 획득한 후에 먼저 규칙에 따라 회전을 수행하고 그리드를 그려 별들의 좌표를 지정한 후 데이터베이스의 좌표와 비교하여 별을 식별한다.

[0075] 다음으로 인공위성의 자세를 결정 원리를 설명한다.

[0076] 인공위성의 상대 자세는 별 센서 좌표계에 대한 별의 방향 벡터와, 식별한 별의 천구에 대한 위치 벡터를 이용하여 지구관성좌표계에서 결정한다. 또한, 자세를 결정한다는 것은 방향코사인 행렬 A를 구한다는 의미와 같다. 지구관성좌표계에서의 단위 벡터를 $\hat{r}$ 벡터라 하고, 위성 동체 좌표계에서 관측된 단위 벡터를 $\hat{s}$ 벡터라 할 때, A는 다음의 수식 10을 만족한다.

$$A\hat{r}=\hat{s} \quad \text{수식 10}$$

[0078] 이때, 자세 결정은 별 센서 좌표계에서 측정된 별 벡터들과 카탈로그로부터의 지구 관성좌표계에 대한 별들의 위치 벡터가 동일하도록 만드는 방향코사인 행렬을 구하는 과정이 필요하다. 이에 주로 사용되는 알고리즘으로 Triad, Quest 알고리즘이 있다.

[0079] 상기 Triad 알고리즘은 두 개의 별 벡터를 이용하여 자세 DCM을 결정하는 알고리즘으로, 이 방법을 통해 방향코사인 행렬 A를 구하면 계산이 간단하여 빠른 자세 결정이 가능해지며, 알고리즘의 이론적 배경은 아래의 수식 11과 같다. 수식 11은 평행하지 않은 2개의 벡터 $\hat{r}_1$ 과 $\hat{r}_2$, 관측된 단위 벡터 $\hat{r}_1$ 과 $\hat{r}_2$ 에 대해 자세 행렬 A를 구하는 식이다.

$$\begin{aligned} A\hat{r}_1 &= \hat{r}_1 \\ A\hat{r}_2 &= \hat{r}_2 \end{aligned} \quad \text{수식 11}$$

[0080]

[0081] 이때, 상기 수식 11로는 A를 구하기 불충분하기 때문에 정규직교(orthonormal) 특성을 이용하여 아래 수식 12를 도입하여 $\hat{r}$ 와 $\hat{r}$ 를 $\hat{r}$ 과 $\hat{s}$ 벡터로 표현한다.

$$\begin{aligned} \hat{r}_1 &= \hat{r}_1 \\ \hat{r}_2 &= (\hat{r}_1 \times \hat{r}_2) / \|\hat{r}_1 \times \hat{r}_2\| \\ \hat{r}_3 &= (\hat{r}_1 \times (\hat{r}_1 \times \hat{r}_2)) / \|\hat{r}_1 \times \hat{r}_2\| \end{aligned} \quad \text{수식 12}$$

[0082]

[0083] 이에 따라 직교 행렬 A는 $\hat{r}$ 과 $\hat{s}$ 에 대해 다음의 수식 13을 만족하므로 결과적으로 3×3 크기의 행렬로 구해진다. 이는 $\hat{r}$ 과 $\hat{s}$ 는 각각 3×1 행렬이기 때문이다.

$$\begin{aligned} A\hat{r}_i &= \hat{s}_i \quad (i=1,2,3) \\ \therefore A &= \sum_{i=1}^3 \hat{s}_i \hat{r}_i^T \end{aligned} \quad \text{수식 13}$$

[0084]

[0085] 가장 간단한 방법으로 위성의 자세 행렬을 구할 수 있는 방법이 Triad 알고리즘 기법이지만, 이 Triad 알고리즘은 별 벡터가 2개만 관측되는 경우에만 적용될 수 있고, 2개의 관측 벡터를 적용시킬 경우에도 오차 때문에 신뢰도가 떨어지는 경향이 발생한다. 이러한 단점 때문에 현재 Quest 알고리즘은 다수 별에 대해 최적화를 통해 자세를 구한다.

[0086] 한편, 자세 결정에 사용되는 다른 알고리즘인 Quest 알고리즘은 Triad 알고리즘에 비해 보다 정확한 자세 결정을 위한 기법으로 사용되고 있다. 자세 결정은 손실 함수(J)를 최소화시키는 직교 행렬 A를 아래의 수식 14와 같이 구한다.

$$J(A) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i \hat{s}_i - A \hat{r}_i^2 \quad \text{수식 14}$$

[0088] 이때, a는 음이 아닌 가중치들으로써 다음의 수식 15를 만족하므로 가중치를 정하는 것이 가능하다.

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad \text{수식 15}$$

[0090] 그리고 손실 함수(J)와 반대되는 의미를 가진 획득 함수 g에 대한 수식은 아래의 수식 16과 같다. 이때, 획득 함수 g는 1에서 손실함수(J)를 뺀 식으로 아래와 같다.

$$\begin{aligned} g(A) &= 1 - J(A) = \sum_{i=1}^n a_i \hat{s}_i^T A \hat{r}_i \\ &= \sum_{i=1}^n a_i \text{tr}(\hat{s}_i^T A \hat{r}_i) = \text{tr}(A B^T) \end{aligned} \quad \text{수식 16}$$

[0091]

[0092] 위 수식 16에서 tr은 트레이스 연산자이고 B는 자세 유클 행렬로 다음의 수식 17과 같이 정의된다.

$$B = \sum_{i=1}^n a_i \hat{s}_i \hat{r}_i^T \quad \text{수식 17}$$

[0093]

[0094] 이하, 별센서를 이용한 위치추정 알고리즘을 설명한다.

[0095] 별센서를 이용해 관측자의 위치를 결정하는 알고리즘은 GPS 신호를 이용하여 위치를 추정하는 방식과 유사하게 구성할 수 있다. GPS 신호를 이용하여 사용자의 위치를 추정하기 위해서는 최소 네개의 신호정보가 필요한데 사용자의 고도를 알고 있는 경우에는 총 세 개의 정보만으로 위치를 추정할 수 있다. 별은 각 GP와 지구 중심을 이은 직선 위 한 점에 위치해 있다고 가정하고 다음과 같이 변수를 정의한다. 모든 위치 정보는 지구관성좌표계에서 정의한다.

[0096] 이때, ρ_{ri} 는 의사거리(별의 가상의 위치에서 관측자까지의 거리(known))이고, x_i 와 y_i 및 z_i 는 별의 가상의 위치(known)이며, X_i 와 Y_i 및 Z_i 는 관측자의 위치(unknown)이다.

[0097] 우선 의사거리 ρ_{ri} 는 다음의 수식 18과 같이 구할 수 있다.

$$\rho_{ri} = \sqrt{(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2 + (z_i - Z_i)^2} \quad \text{수식 18}$$

[0098]

[0099] 그리고 상기 수식 18의 양변에 제곱을 취하여 다음의 수식 19와 같이 정리한다.

$$\begin{aligned} \rho_{ri}^2 &= (x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2 + (z_i - Z_i)^2 \\ &= X_i^2 - Y_i^2 - Z_i^2 - x_i^2 - y_i^2 - z_i^2 - 2X_i x_i - 2Y_i y_i - 2Z_i z_i \\ (r^2 &= X_i^2 - Y_i^2 - Z_i^2) \end{aligned}$$

[0100]

$$\rho_{ri}^2 - (x_i^2 - y_i^2 - z_i^2) - r^2 = -2X_i x_i - 2Y_i y_i - 2Z_i z_i \quad \text{수식 19}$$

[0101] 한편, 전술한 바와 같이 위성의 위치를 추정하기 위해서는 총 3개의 별의 GP가 필요하다. 2기의 별센서를 이용하여 2개의 별의 GP를 획득하는 상황에서는 방정식보다 미지수가 한 개 많기 때문에 최종적으로 2차 방정식의 형태로 나오게 된다. 2차 방정식의 두 해는 필터를 가장 적절한 값을 선택하도록 한다. 일단 별의 GP 2개를 이용하여 방정식을 만들기위해 다음의 수식 20을 이용한다. 이때, $i=1,2$ 를 각각 적용하여 행렬로 정리하면 다음의

수식 20과 같다.

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{r1}^2 - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - r^2 \\ \rho_{r2}^2 - (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - r^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & -2z_1 \\ -2x_2 & -2y_2 & -2z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix}$$

수식 20

이와 같은 수식 20에 reduced row echelon form을 적용하여 다음의 수식 21과 같이 정리한다.

$$\begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & -2z_1 & A_1 \\ -2x_2 & -2y_2 & -2z_2 & A_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & \alpha_1 & \beta_1 \\ 0 & 1 & \alpha_2 & \beta_2 \end{bmatrix}$$

수식 21

그리고 상기 수식 21을 통해 다음의 수식 22과 같이 두 식으로 정리된다.

$$\begin{aligned} X_I - \alpha_1 Z_I &= \beta_1 \\ Y_I - \alpha_2 Z_I &= \beta_2 \end{aligned}$$

수식 22

이때, $r^2 = X_I^2 - Y_I^2 - Z_I^2$ 이므로 Z_I 에 대한 이차방정식은 다음의 수식 23과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} r^2 &= X_I^2 - Y_I^2 - Z_I^2 \\ &= (-\alpha_1 Z_I - \beta_1)^2 - (-\alpha_2 Z_I - \beta_2)^2 - Z_I^2 \end{aligned}$$

수식 23

그리고 필터를 통해 위 수식 23의 이차방정식의 해들 중 위성의 위치에 맞는 값을 얻을 수 있다.

이와 같이 본 발명은 위성에 주로 탑재되는 자세센서인 지구센서(3) 특히 이중 원뿔 스캔 센서와 별센서(2)를 통해 수집한 정보들을 이용해 위성의 위치를 결정할 수 있다.

이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형 가능한 것으로, 본 발명의 보호범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

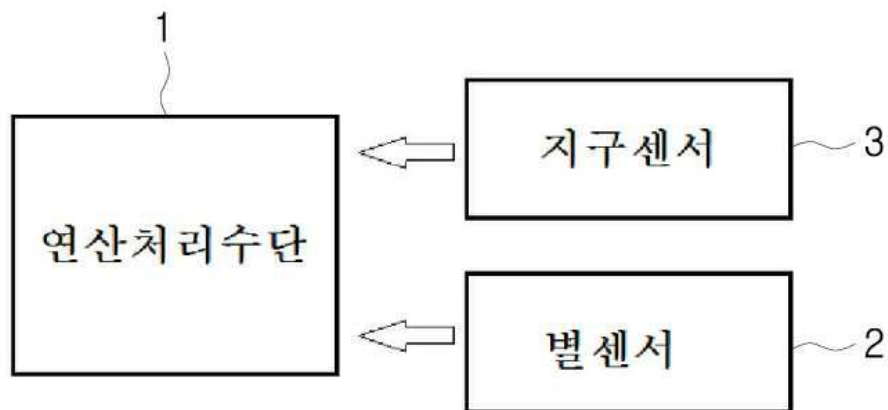
1: 연산처리수단

2: 별센서

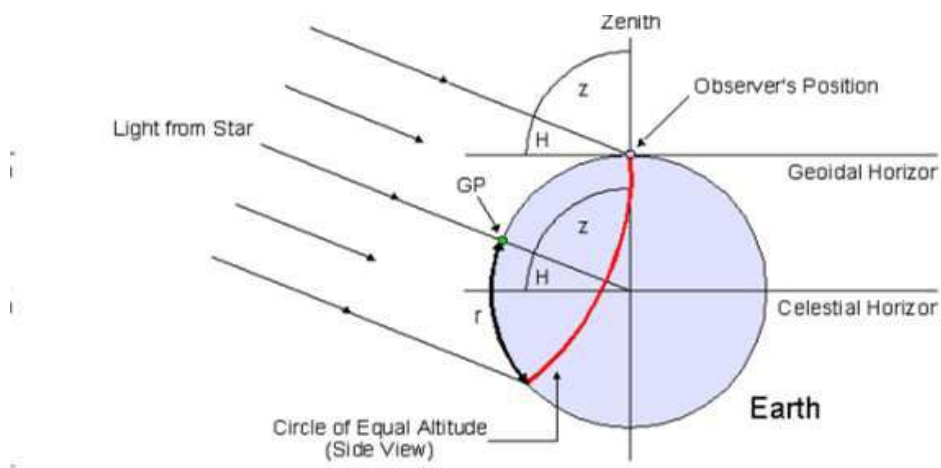
3: 지구센서

도면

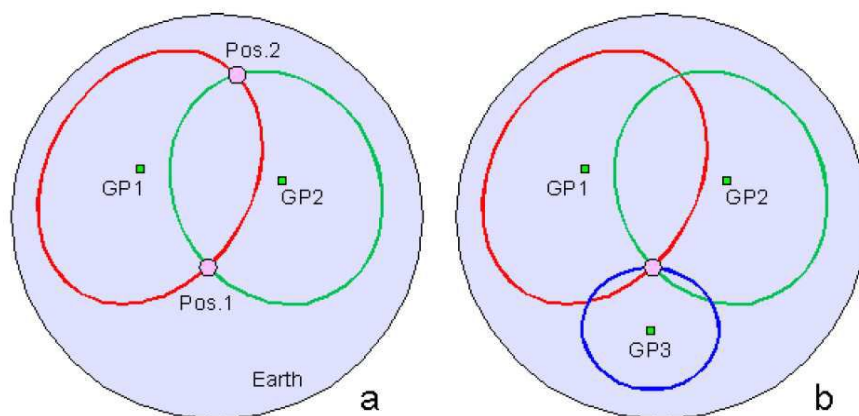
도면1



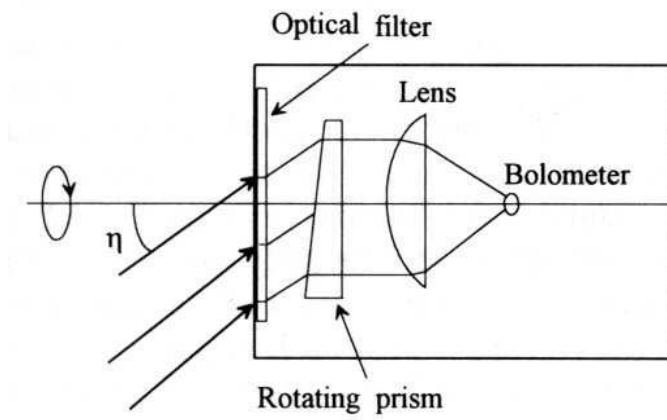
도면2



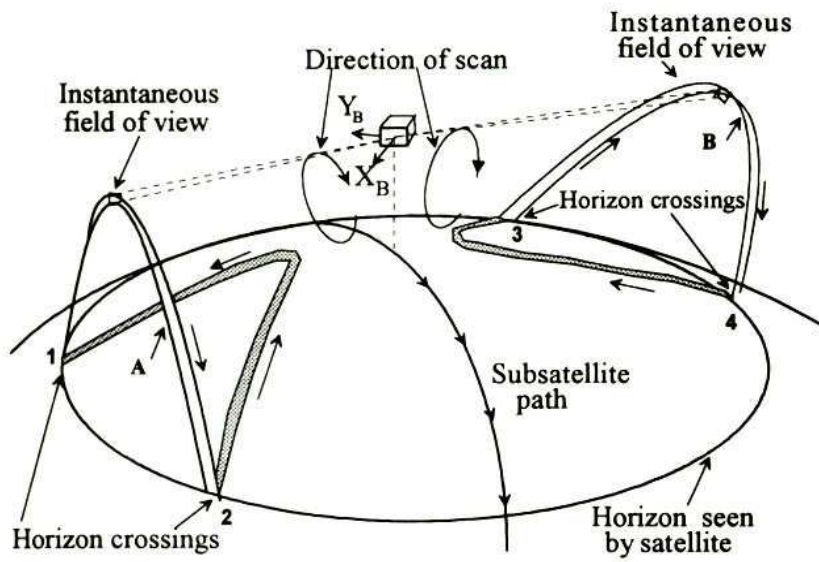
도면3



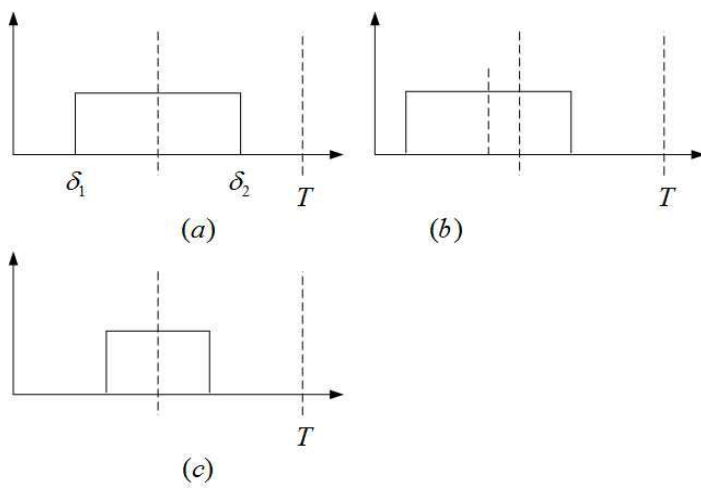
도면4



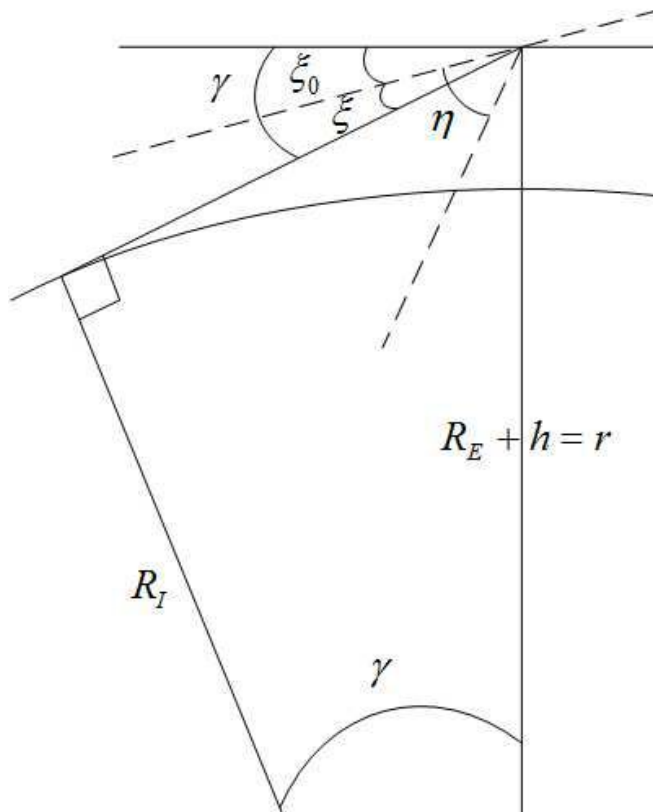
도면5



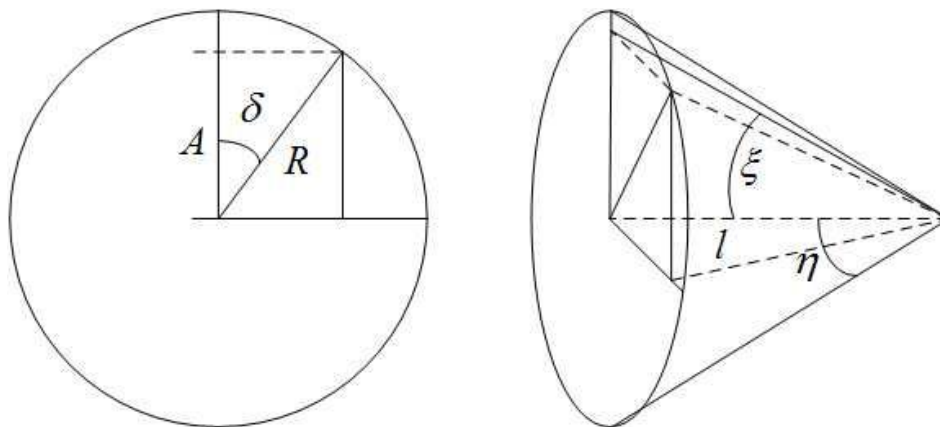
도면6



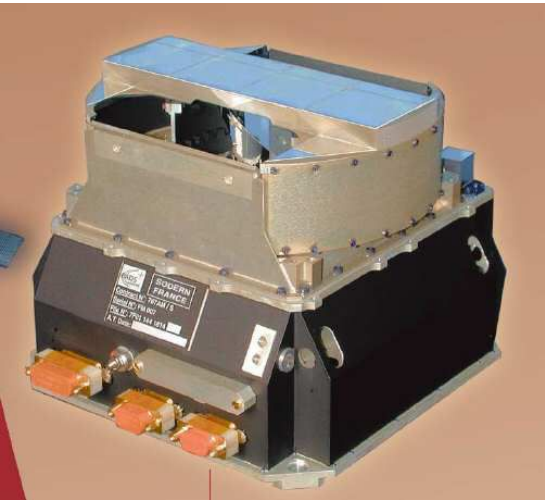
도면7



도면8



도면9



도면10

