



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월29일
 (11) 등록번호 10-1617033
 (24) 등록일자 2016년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01S 19/07 (2010.01) G01S 19/08 (2010.01)
 (52) CPC특허분류
 G01S 19/07 (2013.01)
 G01S 19/08 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2015-0130248
 (22) 출원일자 2015년09월15일
 심사청구일자 2015년09월15일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020100034628 A
 KR101479106 B1
 US20130120188 A1
 US20090164067 A1

(73) 특허권자
 한국 천문 연구원
 대전광역시 유성구 대덕대로 776 (화암동)
 (72) 발명자
 최병규
 대전광역시 대덕구 계족산로 136 (송촌동, 선비
 마을5단지아파트) 509동 1303호
 조창현
 대전광역시 서구 만년남로3번길 86-10 (만년동)
 목화빌라 105호
 조정호
 대전광역시 유성구 엑스포로 448 (전민동, 엑스포
 아파트) 302동 1101호
 (74) 대리인
 김정수

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 변영석

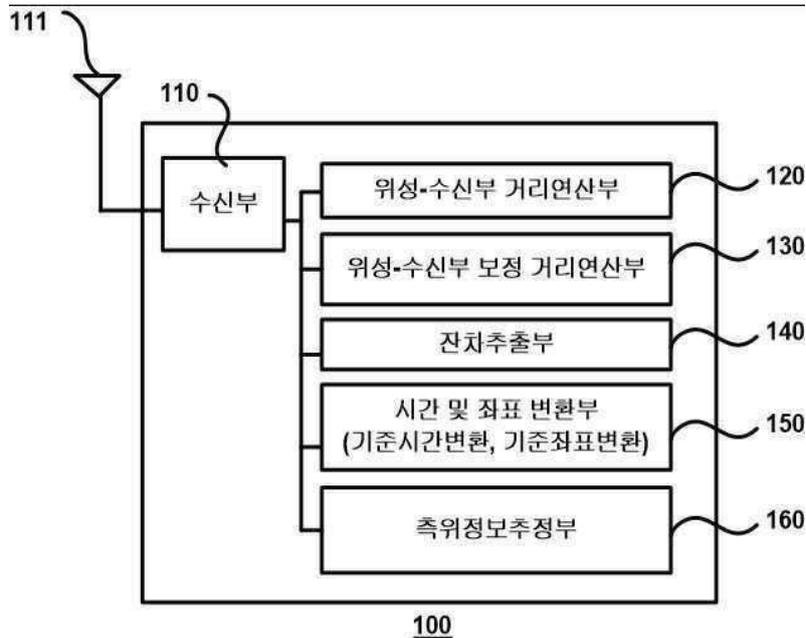
(54) 발명의 명칭 **다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치 및 그 방법**

(57) 요약

본 발명은 GLONASS, BeiDou, QZSS 중 하나 이상을 포함하는 다중 위성 항법 시스템위 위성 신호를 GPS 신호로 변환하는 것에 의해, 측위정보 획득을 위하여 GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS의 위성 시스템을 통합 적용할 수 있도록 하는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치 및 그 방법에 관한 것으로,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



상기 전지구 통합 측위 장치는, 다수의 위성 항법 시스템별로 관측된 위성 신호들의 주파수를 검출하여 위성 항법 시스템별로 위성 신호를 분류하여 출력하는 수신부; 상기 수신부에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 거리 연산부; 상기 수신부와 상기 위성 별 기하학적인 거리를 이용하여 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 보정거리 연산부; 상기 위성-수신부 거리와 상기 위성-수신부 보정거리의 차($P_i^j - S_i^j$)를 잔차로 추출하는 잔차추출부; 상기 다수의 위성 항법 시스템별 시간계와 좌표계를 다수의 위성 항법 시스템에서 기준 위성 항법 시스템으로 선택된 위성 항법 시스템의 기준 시간계와 기준 좌표계로 변환하는 시간 및 좌표 변환부; 및 상기 잔차와 기준시간계 및 기준좌표계 정보를 이용하여 수신부의 위치 정보를 포함하는 측위정보를 추정하는 측위정보추정부;를 포함하여 구성된다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711028245
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	국가과학기술연구회
연구사업명	한국천문연구원운영경비
연구과제명	우주측지 인프라 운영 및 활용기술 개발
기여율	1/1
주관기관	한국천문연구원
연구기간	2015.01.01 ~ 2015.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

다수의 위성 항법 시스템별로 관측된 위성 신호들의 주파수를 검출하여 위성 항법 시스템별로 위성 신호를 분류하여 출력하는 수신부;

상기 수신부에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번 째 주파수)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 거리 연산부;

상기 수신부와 상기 위성 별 기하학적인 거리를 이용하여 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 보정거리 연산부;

상기 위성-수신부 거리와 상기 위성-수신부 보정거리의 차($P_i^j - S_i^j$)를 잔차로 추출하는 잔차추출부;

상기 다수의 위성 항법 시스템별 시간계와 좌표계를 다수의 위성 항법 시스템에서 기준 위성 항법 시스템으로 선택된 위성 항법 시스템의 기준 시간계와 기준 좌표계로 변환하는 시간 및 좌표 변환부; 및

상기 잔차와 기준시간계 및 기준좌표계 정보를 이용하여 수신부의 위치 정보를 포함하는 측위정보를 추정하는 측위정보추정부;를 포함하여 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 위성-수신부 보정거리 연산부는,

위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range)(ρ_i^j), 위성의 시계오차(dT^j)에 의한 위성시계 오차 지연거리(cdT^j), 대류층 지연오차(d_{trop}^j), i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$), 수신부 잡음과 다중경로 오차($\epsilon^j P_i$)를 연산한 후 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j 1 = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 도출하고,

측위정보추정에 의해 도출되는 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdt^j)와 시스템간 바이어스(ISB^j)를 입력 받은 후 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j 2 = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 연산하여 도출하도록 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

여기서 j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번 째 주파수, ρ_i^j 는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range), dt^j 는 수신부 시계오차, dT^j 는 위성의 시계오차, ISB^j (Intersystem biases)는 시스템간 바이어스, c 는 빛의 속도, d_{trop}^j 대류층 지연오차, $d_{iono/Li}^j$ 는 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차, $\epsilon^j P_i$ 는 수신부 잡음과 다중경로 오차.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$)는,

$(f_{GPSLi}/f_{GLSSLi})^2 * Klob$ 에 의해 산출되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

여기서, f_{GPSLi} 는 GPS Li 주파수, f_{GLSSLi} 는 GPS Li, GLONASS의 Li, BeiDou의 Bi 그리고 QZSS의 Li 주파수 중 어느 하나의 수신 주파수, Klob는 Klobuchar 모델을 통해 계산된 전리층 지연값.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 잔차추출부는,

제 1 잔차($P_i^j - S_i^j1$)와 제 2 잔차($P_i^j - S_i^j2$)를 도출하도록 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 시간 및 좌표 변환부는,

상기 다중 위성 항법 시스템의 수신 위성 신호의 시간계와 좌표계를 기준 위성 항법 시스템의 기준 시간계 및 기준 좌표계로 변환하도록 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 측위정보추정부는,

가중최소자승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 측위정보를 추정하도록 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 측위정보(\vec{X})는,

$$\vec{X} = (H^TWH)^{-1}H^TW\vec{v}$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_0 - X^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{Y_0 - Y^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{Z_0 - Z^{1,G}}{\rho^{1,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{Y_0 - Y^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{Z_0 - Z^{n,G}}{\rho^{n,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{Y_0 - Y^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{Z_0 - Z^{1,R}}{\rho^{1,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{Y_0 - Y^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{Z_0 - Z^{n,R}}{\rho^{n,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{Y_0 - Y^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{Z_0 - Z^{1,C}}{\rho^{1,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ \frac{X_0 - X^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{Y_0 - Y^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{Z_0 - Z^{n,C}}{\rho^{n,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \frac{X_0 - X^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{Y_0 - Y^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{Z_0 - Z^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3n+1) \times 6}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sin E^{1,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,C}} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,C}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,Q}} \end{bmatrix}_{(3n+1) \times (3n+1)}$$

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} res^{1,G} \\ \vdots \\ res^{n,G} \\ res^{1,R} \\ \vdots \\ res^{n,R} \\ res^{1,C} \\ \vdots \\ res^{n,C} \\ res^{1,Q} \end{bmatrix}_{(3n+1)}$$

에 의해 추정되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치.

H는 디자인 행렬(Design matrix), W는 위성 양각에 따른 가중행렬(Weighted matrix), \vec{v} 는 의사거리 잔차(residual vector), G는 GPS, R는 GLONASS, C는 BeiDou, Q는 QZSS, E는 양각.

청구항 8

잔차추출부가 수신부에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j는 GNSS 위성 식별자, i는 i번째 주파수)를 도출하고, 수신부와 위성별 기하학적 정보를 보정하여 생성되는 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)와 차인 제 1 잔차($(P_i^j - S_i^j)$)를 추출하는 제 1 잔차추출과정;

시계 및 좌표 변환부가 다중 위성 항법 시스템의 수신 위성 신호의 시간계와 좌표계를 기준 위성 항법 시스템의 기준 시간계 및 기준 좌표계로 변환하는 시간 및 좌표 변환 과정;

측위정보추정부가 상기 제 1 잔차에 가중최소자승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 제 1 측위정보를 추정하는 제 1 측위정보추정과정;

상기 잔차추출부가 상기 제 1 측위정보에서 도출된 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdt^j)와 시스템 간 바이어스(ISB^j)를 입력받아 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j(2) = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 연산하여 도출한 후, 제 2 잔차($P_i^j - S_i^j(2)$)를 도출하는 제 2 잔차추출과정; 및

상기 측위정보추정부가 상기 제 2 잔차에 가중최소자승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 제 2 측위정보를 추정하여 수신부의 위치를 포함하는 측위정보로 출력하는 제 2 측위정보추정과정;을 포함하여 이루어지는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 방법.

여기서 j는 GNSS 위성 식별자, ρ_i^j 는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range), dt^j 는 수신부 시계 오차, dT^j 는 위성의 시계오차, ISB^j (Intersystem biases)는 시스템간 바이어스, c는 빛의 속도, d_{trop}^j 대류층 지연오차, $d_{iono/Li}^j$ 는 i번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차, $\epsilon^j P_i$ 는 수신부 잡음과 다중경로 오차.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

측위정보가 기 설정된 정확도를 만족할 때까지, 상기 제 2 측위정보추정과정의 수행된 후, 상기 제 2 잔차추출 과정과 상기 제 2 측위정보추정과정을 반복 수행하도록 구성되는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전지구 통합 측위 장치 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, QZSS 등의 위성항법 시스템들 중 하나 이상을 포함하는 다중 위성 항법 시스템의 위성 신호를 통합 적용하여 위치를 정확하게 측정할 수 있도록 하는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 미국의 Global Positioning System (GPS)은 전지구 위성항법시스템으로 30년 이상 운영되면서 사용자들에게 유용한 위치와 시각정보를 제공해 주고 있다. GPS신호는 기상에 상관없이 언제 어디에서든 수신이 가능하기 때문에 다양한 분야에 활용되고 있다. 또한 GPS는 국방 및 민간에서도 점점 수요가 증가하기 때문에 중요한 사회 공

공인프라로 자리매김하고 있다.

- [0003] GPS의 경제/사회/군사적인 효용가치가 크게 부각되면서 러시아는 GLONASS라는 시스템을 구축하여 운영하고 있고, 유럽연합(European Union)과 중국은 Galileo와 BeiDou 라고 불리는 전지구 위성항법시스템을 구축하고 있다. GPS는 현재 31기가 운영 중에 있고, 러시아의 GLONASS는 2011년 말 이후에 24기의 항법위성이 모두 가동되고 있다. 유럽연합의 Galileo는 30기의 중계도 위성으로 구성될 예정이며, 현재 6기의 항법위성이 운영 중이다. 중국의 BeiDou 위성은 현재 14기가 운영 중이며 2020년까지 모두 35기의 위성발사를 계획하고 있다(BeiDou ICD, 2013). 각국은 최근에 위성항법시스템 분야의 주도권 확보를 위해 빠른 시스템 구축과 성능향상을 위해 경쟁하고 있다.
- [0004] 일본은 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) 라는 지역 위성항법시스템을 개발하고 있고, 현재는 1기가 운영 중이다(IS-QZSS, 2014). QZSS는 아시아-오세아니아 지역을 커버하는 위성으로 높은 양각을 유지하면서 도심 속에서의 측위안정성을 확보하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대하고 있다.
- [0005] 글로벌위성항법시스템(Global Navigation Satellite System: GNSS)은 측지, 항법, 시각 등 더욱 정확하고 정밀한 정보제공을 가능케 한다. 2020년 이후 아시아-오세아니아 지역에서는 최소 35기 이상의 GNSS 항법신호를 수신할 수 있을 것으로 예상된다.
- [0006] 이에 따라 대한민국 공개특허 10-2014-0040316호는 이동체 카메라와 기준위치 정보를 이용하여 이동체와 기준위치 사이의 거리 및 중심 위치의 좌표를 연산한 후 이를 GNSS 위치 정보와 비교하여 GNSS 좌표 정보를 보정하도록 하는 비전 시스템을 이용한 GNSS 좌표정보 보정방법 및 그에 따른 위성항법장치를 개시한다.
- [0007] 또한, 대한민국 등록특허 10-0946929호는 현재의 시간과 위치를 추정하여 이퍼머리스 정보를 생성한 후, 생성된 이퍼머리스 정보에 기초하여 네비게이션 정보 생성과 관련된 동작 모드를 핫 스타트 모드로 결정하는 것에 의해 TTFF를 단축시킬 수 있도록 하고, GNSS 위성과의 접속 시간을 줄임으로써 소모 전력을 감소시킬 수 있도록 하는 GNSS 항법 수신기 및 그 운용 방법을 개시한다.
- [0008] 이와 같이, GNSS 측위 시스템의 적용을 위한 다양한 기술들이 제공되고 있다.
- [0009] 따라서 GNSS의 측위정확도(Positioning accuracy), 신뢰성(Reliability), 위성가용성(satellite availability) 등의 향상을 위하여, 다수의 항법위성 시스템으로부터의 수신 신호 정보를 통합 적용한 후 전파지연, 시간오차의 정확한 보정을 수행하는 것에 의해 GNSS 측위 시스템의 측위정확도(Positioning accuracy), 신뢰성(Reliability), 위성가용성(satellite availability) 등을 향상시킬 수 있도록 하는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치 및 방법의 제공이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 10-2014-0040316호
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-0946929호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 따라서 본 발명은 시스템간 조합에 의해 발생하는 바이어스를 계산하여 분석하고, 최종적으로 GPS/GLONASS/BeiDou/QZSS 조합하여 GNSS 측위 시스템의 측위정확도(Positioning accuracy), 신뢰성(Reliability), 위성가용성(satellite availability) 등을 향상시킬 수 있도록 하는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치는, 다수의 위성 항법 시스템별로 관측된 위성 신호들의 주파수를 검출하여 위성 항법 시스템별로 위성 신호를 분류하여 출력

하는 수신부; 상기 수신부에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 거리 연산부; 상기 수신부와 상기 위성 별 기하학적인 거리를 이용하여 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 연산하여 출력하는 위성-수신부 보정거리 연산부; 상기 위성-수신부 거리와 상기 위성-수신부 보정거리의 차($P_i^j - S_i^j$)를 잔차로 추출하는 잔차추출부; 상기 다수의 위성 항법 시스템별 시간계와 좌표계를 다수의 위성 항법 시스템에서 기준 위성 항법 시스템으로 선택된 위성 항법 시스템의 기준 시간계와 기준 좌표계로 변환하는 시간 및 좌표 변환부; 및 상기 잔차와 기준시간계 및 기준좌표계 정보를 이용하여 수신부의 위치 정보를 포함하는 측위정보를 추정하는 측위정보추정부;를 포함하여 구성될 수 있다.

[0013] 상기 위성-수신부 보정거리 연산부는, 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range)(ρ_i^j), 위성의 시계 오차(dt^j)에 의한 위성시계 오차 지연거리(cdT^j), 대류층 지연오차(d_{trop}^j), i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$), 수신부 잡음과 다중경로 오차($\epsilon^j P_i$)를 연산한 후 제 1 위성-수신부 보정거리(S_i^j)= $\rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 도출하고, 측위정보추정에 의해 도출되는 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연 거리(cdT^j)와 시스템간 바이어스(ISB^j)를 입력받은 후 제 2 위성-수신부 보정거리(S_i^j)= $\rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 연산하여 도출하도록 구성될 수 있다.

[0014] 여기서 j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수, ρ_i^j 는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range), dt^j 는 수신부 시계오차, dT^j 는 위성의 시계오차, ISB^j (Intersystem biases)는 시스템간 바이어스, c 는 빛의 속도, d_{trop}^j 대류층 지연오차, $d_{iono/Li}^j$ 는 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차, $\epsilon^j P_i$ 는 수신부 잡음과 다중경로 오차.

[0015] 상기 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$)는, $(f_{GPSLi}/f_{GLSSLi})^2 * Klob$ 에 의해 산출될 수 있다.

[0016] 여기서, f_{GPSLi} 는 GPS Li 주파수, f_{GLSSLi} 는 GPS Li, GLONASS의 Li, BeiDou의 Bi 그리고 QZSS의 Li 주파수 중 어느 하나의 수신 주파수, $Klob$ 는 Klobuchar 모델을 통해 계산된 전리층 지연값이다.

[0017] 상기 잔차추출부는, 제 1 잔차($P_i^j - S_i^j$)와 제 2 잔차($P_i^j - S_i^j$)를 도출하도록 구성될 수 있다.

[0018] 상기 시간 및 좌표 변환부는, 상기 다중 위성 항법 시스템의 수신 위성 신호의 시간계와 좌표계를 기준 위성 항법 시스템의 기준 시간계 및 기준 좌표계로 변환하도록 구성될 수 있다.

[0019] 상기 측위정보추정부는, 가중최소자승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 측위정보를 추정하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 상기 측위정보(\vec{X})는,

$$\vec{X} = (H^T W H)^{-1} H^T W \vec{v}$$

[0021]

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_0 - X^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{Y_0 - Y^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{Z_0 - Z^{1,G}}{\rho^{1,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{Y_0 - Y^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{Z_0 - Z^{n,G}}{\rho^{n,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{Y_0 - Y^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{Z_0 - Z^{1,R}}{\rho^{1,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{Y_0 - Y^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{Z_0 - Z^{n,R}}{\rho^{n,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{Y_0 - Y^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{Z_0 - Z^{1,C}}{\rho^{1,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ \frac{X_0 - X^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{Y_0 - Y^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{Z_0 - Z^{n,C}}{\rho^{n,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \frac{X_0 - X^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{Y_0 - Y^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{Z_0 - Z^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3n+1) \times 6}$$

[0022]

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sin E^{1,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,C}} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,C}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,Q}} \end{bmatrix}_{(3n+1) \times (3n+1)}$$

[0023]

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} res^{1,G} \\ \vdots \\ res^{n,G} \\ res^{1,R} \\ \vdots \\ res^{n,R} \\ res^{1,C} \\ \vdots \\ res^{n,C} \\ res^{1,Q} \end{bmatrix}_{(3n+1)}$$

[0024]

[0025] 에 의해 추정될 수 있다.

[0026] 여기서, H는 디자인 행렬(Design matrix), W는 위성 양각에 따른 가중행렬(Weighted matrix), \vec{v} 는 의사거리 잔차(res)벡터(Residual vector), G는 GPS, R는 GLONASS, C는 BeiDou, Q는 QZSS, E는 양각(elevation angle)이다.

[0027] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 방법은, 잔차추출부가 상기 수신부에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j는 GNSS 위성 식별자, i는 i번째 주파수)를 도출하고, 수신부와 위성별 기하학적 정보를 보정하여 생성되는 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i^j$)와의 차인 제 1 잔차($(P_i^j - S_i^j)$)를 추출하는 제 1 잔차추출과정; 시계 및 좌표 변환부가 상기 다중 위성 항법 시스템의 수신 위성 신호의 시간계와 좌표계를 기준 위성 항법 시스템의 기준 시간계 및 기준 좌표계로 변환하는 시간 및 좌표 변환 과정; 측위정보추정부가 상기 제 1 잔차에 가중최소사승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 제 1 측위정보를 추정하는 제 1 측위정보추정과정; 상기 잔차추출부가 상기 제 1 측위정보에서 도출된 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdt^j)와 시스템 간 바이어스(ISB^j)를 입력받아 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i^j$)를 연산하여 도출한 후, 제 2 잔차($(P_i^j - S_i^j)$)를 도출하는 제 2 잔차추출과정; 및 상기 측위정보추정부가 상기 제 2 잔차에 가중최소사승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 제 2 측위정보를 추정하여 수신부의 위치를 포함하는 측위정보로 출력하는 제 2 측위정보추정과정;을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0028] 여기서 j는 GNSS 위성 식별자, ρ_i^j 는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range), dt^j 는 수신부 시계 오차, dT^j 는 위성의 시계오차, ISB^j (Intersystem biases)는 시스템간 바이어스, c는 빛의 속도, d_{trop}^j 대류층 지연오차, $d_{iono/Li}^j$ 는 i번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차, $\epsilon^j P_i^j$ 는 수신부 잡음과 다중경로 오차.

[0029] 상기 전지구 통합 측위 방법은, 측위정보가 기 설정된 정확도를 만족할 때까지, 상기 제 2 측위정보추정과정이 수행된 후, 상기 제 2 잔차추출과정과 상기 제 2 측위정보추정과정을 반복 수행하도록 구성될 수 있다.

발명의 효과

[0030] 상술한 구성의 본 발명은, 다중 위성 항법 시스템을 이용한 통합 측위과정에서 전자기연 보상의 정확성을 향상시키는 것에 의해 수신부의 측위정보의 정확성을 현저히 향상시키는 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치(이하, 통합 측위 장치(100))의 블록 구성도.

도 2는 GNSS 시스템을 구성하는 위성 항법 시스템별 사항을 나타는 도면.

도 3은 본 발명의 실시예에 따르는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 방법의 처리과정을 나타내는 순서도.

도 4는 MKPO GNSS 기준국에서의 시간 경과에 따른 GNSS를 구성하는 위성 항법 시스템별 가시 위성 개수와 전체 가시위성의 합인 개수를 측정한 그래프.

도 5는 단일주파수의 코드만을 이용해서 표준 측위(Standard point positioning)를 수행한 결과를 나타내는 그래프.

도 6은 도 5에서 나타난 수평방향 위치오차와 GPS만을 이용해서 계산된 수평방향 위치오차를 각각 2차원 평면에 나타난 그래프.

도 7은 실험군을 통해 산출된 위치오차의 RMS값을 나타낸 그래프.

도 8은 도 7에서 제시한 결과와 각 조합에 따른 일일 평균 위치오차를 나타내는 표.

도 9는 MKPO GNSS 기준국에서 운영 중인 Trimble NetR9 수신부에 의해 관측된 자료를 이용해서 시간경과에 따른 ISB 계산 값을 나타내는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.
- [0033] 하기에서 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0034] 본 발명의 개념에 따른 실시 예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 명세서에서 단어 "예시적인"은 "예로서, 일례로서, 또는 예증으로서 역할을 한다."라는 것을 의미하기 위해 이용된다. "예시적"으로서 본 명세서에서 설명된 임의의 양태들은 다른 양태들에 비해 반드시 선호되거나 또는 유리하다는 것으로서 해석되어야 하는 것만은 아니다.
- [0035] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0036] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 장치(이하, 통합 측위 장치(100))의 블록 구성도이다.
- [0038] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 통합 측위 장치(100)는 안테나(111)를 구비한 수신부(110), 위성-수신부 거리연산부(120), 위성-수신부 보정거리 연산부(130), 잔차추출부(140), 시간 및 좌표 변환부(150), 측위정보추정부(160)을 포함하여 구성된다.
- [0039] 상기 수신부(110)는 다수의 위성 항법 시스템별로 관측된 위성 신호들의 주파수를 검출하여 위성 항법 시스템별로 위성 신호를 분류하여 출력하도록 구성된다.
- [0040] GPS는 L밴드에 두 개의 (L1~1,575.42MHz, L2~1,227.60MHz)를 사용하고 있고, GLONASS는 두 개의 주파수 밴드, fL1 = (1602 + n*0.5625)MHz, fL2 = (1246 + n*0.4375)MHz를 이용하여 사용자에게 정보를 제공한다(GLONASS ICD, 2008). 여기에서 n은 주파수 채널번호를 의미한다. 또한 BeiDou 위성은 3개의 주파수(B1~1,561.098MHz, B2~1,207.140MHz, and B3~1,268.520MHz)를 전송하며(BeiDou ICD, 2013), QZSS는 GPS와 동일한 신호를 사용한다.
- [0041] 본 발명의 실시예의 설명에서는 GPS를 기준 위성 항법 시스템으로 하고, GPS, GLONASS, BeiDou, 그리고 QZSS의 관측자료를 처리하기 위해서 GPS의 L1 C/A (Coarse/Acquisition) 코드, GLONASS L1 코드, BeiDou B1 코드, 그리고 QZSS의 L1 코드를 사용하는 것으로 하여 설명한다.
- [0042] 본 발명에서 GNSS 코드 값을 이용한 관측 방정식은 [수학식 1]로 표현된다.

수학식 1

$$P_i^j = \rho^j + cdt + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$$

[0043]

[0044]

여기서, P_i^j 는 위성-수신부 거리, 우항은 위성-수신부 보정거리(S_i^j)는 $\rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$ 이며, ρ_i^j 는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range), dt^j 는 수신부 시계오차, dT^j 는 위성의 시계오차, ISB^j (Intersystem biases)는 시스템간 바이어스, c 는 빛의 속도, d_{trop}^j 대류층 지연오차, $d_{iono/Li}^j$ 는 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차, $\epsilon^j P_i$ 는 수신부 잡음과 다중경로 오차, j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수이다.

[0045]

이때 본 발명의 실시예에서 기준 위성 항법 시스템이 GPS 이므로 상기 대류층 지연오차 d_{trop}^j 는 GPS 모델의 대류층 지연오차 산출식이 적용된다.

[0046]

상기 위성-수신부 거리 연산부(130)는 상기 수신부(110)에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수)를 연산하여 출력하도록 구성된다. 위성-수신부 거리(P_i^j)는 위성 신호에 포함되는 시간 정보와 수신부의 시간 정보의 차를 이용하여 전파 도달 시간에 광속을 곱하여 얻어진다.

[0047]

상기 위성-수신부 보정거리 연산부(140)는 수신부와 위성 별 기하학적인 거리(ρ_i^j)를 이용하여 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 연산하여 출력하도록 구성된다.

[0048]

이를 위해 상기 위성-수신부 보정거리 연산부(140)는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리(geometry range)(ρ_i^j), 위성의 시계오차(dT^j)에 의한 위성시계 오차 지연거리(cdT^j), 대류층 지연오차(d_{trop}^j), i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$), 수신부 잡음과 다중경로 오차($\epsilon^j P_i$)를 연산하여 추출한다. 여기서 j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수이다.

[0049]

상기 i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$)는 [수학식 2]에 의해 얻어진다.

수학식 2

[0050]

$$(f_{GPSLi}/f_{GLSSLi})^2 * Klob$$

[0051]

여기서, f_{GPSLi} 는 GPS Li 주파수, f_{GLSSLi} 는 GPS Li , GLONASS의 Li , BeiDou의 Bi 그리고 QZSS의 Li 주파수 중 어느 하나의 수신 주파수, $Klob$ 는 Klobuchar 모델을 통해 계산된 전리층 지연값이다.

[0052]

상기 위성-수신부 보정거리 연산부(140)는 또한, 연산된 상기 정보들을 적용하여 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 도출한다. 이때 도출되는 상기 위성-수신부 보정거리(S_i^j)는 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j1 = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)와 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j2 = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)로 분류된다.

[0053]

상기 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j1 = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)는 위성과 수신부간의 기하학적인 거리

(geometry range)(ρ_i^j), 위성의 시계오차(dt^j)에 의한 위성시계 오차 지연거리(cdT^j), 대류층 지연오차(d_{trop}^j), i 번째 주파수를 갖는 GNSS 위성의 전리층 지연오차($d_{iono/Li}^j$), 수신부 잡음과 다중경로 오차($\epsilon^j P_i$)가 적용되어 얻어진다.

[0054] 상기 제 2 위성-수신부 보정거리($S_{i2}^j = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)는 측위정보추정에 의해 도출되는 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdT^j)와 시스템간 바이어스(ISB^j)가 적용되어 산출되는 것으로서 원하는 최초의 측위정보가 된다.

[0055] 상기 잔차추출부(150)는 위성-수신부 거리(P_i^j)와 위성-수신부 보정거리(S_i^j)의 차($P_i^j - S_i^j$)를 잔차로 추출하도록 구성된다.

[0056] 이때 상기 잔차는 위성-수신부 거리(P_i^j)와 제 1 위성-수신부 보정거리($S_{i1}^j = \rho_i^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)의 차인 제 1 잔차($P_i^j - S_{i1}^j$)와 위성-수신부 거리(P_{ij})와 제 2 위성-수신부 보정거리($S_{i2}^j = \rho_i^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)의 차인 제 2 잔차($P_i^j - S_{i2}^j$)로 분류된다.

[0057] 상기 시간 및 좌표 변환부(150)는 다수의 위성 항법 시스템별 시간계와 좌표계를 다수의 위성 항법 시스템에서 기준 위성 항법 시스템으로 선택된 위성 항법 시스템의 기준 시간계와 기준 좌표계로 변환하도록 구성된다.

[0058] 기준시간계는 GPS와 QZSS가 모두 GPS time(GPST)을 사용하고, BeiDou는 BeiDou Time (BDT)를 사용하며 GPST와는 14초의 차이가 있다 (BeiDou ICD, 2013). 또한 GLONASS는 협력세계시(Coordinated Universal Time, UTC)를 사용한다.

[0059] 기준좌표계는 GPS 시스템에서 사용하는 World Geodetic System 84(WGS 84)를 적용하였다. BeiDou와 QZSS는 각각 China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000)와 Japan satellite navigation Geodetic System (JGS)라는 기준좌표계를 사용한다.

[0060] 본 발명의 실시예에서는 GPS를 기준 위성 항법 시스템으로 설정하였다. 따라서 본 발명의 실시예에서는 CGCS2000과 JGS가 WGS84와 같다고 가정하고, GLONASS의 Parametry Zemli 1990 (PZ-90)라는 기준좌표계는 [수학식 3]을 적용하여 WGS84로의 변환된다.

수학식 3

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}$$

[0061]

[0062] 여기에서 (x', y', z')는 WGS84 기준좌표값이고, (x, y, z)는 PZ-90 기준좌표값이다. 두 개의 기준좌표계간의 변환을 위해서는 7개의 계수, 즉 $\{T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3\}$ 의 계수가 꼭 필요하고, 그 값으로 $\{T_1, T_2, T_3\}$ 은 $\{0.07m, 0.00m, 0.77m\}$, D 는 -3 parts per billion, 그리고 $\{R_1, R_2, R_3\}$ 는 $\{-19, -4, 353\}$ 을 사용했다. $\{R_1, R_2, R_3\}$ 의 단위는 모두 mili-arc seconds이다.

[0063] 도 2는 GNSS 시스템을 구성하는 위성 항법 시스템의 사양을 나타내는 도면이다.

[0064] 도 2의 표에는 위성 항법 시스템별 기준시간계와 기준좌표계, 최대 위성수(현재 가용 위성 수), 위성 궤도면, 궤도 경사각, 위성의 평균고도, 그리고 위성의 자전주기를 함께 나타냈다.

[0065] 상기 측위정보추정부(160)는 잔차와 기준시간계 및 기준좌표계 정보를 이용하여 수신부의 위치 정보를 포함하는 측위정보(\bar{X})를 추정하도록 구성된다. 구체적으로 상기 측위정보는 수신부의 위치정보와 시계오차 그리고 시스

템간 바이어스 정보를 포함한다.

[0066] 상기 측위정보(\vec{X})는 [수학식 4] 내지 [수학식 7]에 의해 얻어 진다.

수학식 4

[0067]
$$\vec{X} = (H^T W H)^{-1} H^T W \vec{v}$$

수학식 5

[0068]
$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_0 - X^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{y_0 - Y^{1,G}}{\rho^{1,G}} & \frac{z_0 - Z^{1,G}}{\rho^{1,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{y_0 - Y^{n,G}}{\rho^{n,G}} & \frac{z_0 - Z^{n,G}}{\rho^{n,G}} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{y_0 - Y^{1,R}}{\rho^{1,R}} & \frac{z_0 - Z^{1,R}}{\rho^{1,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ \frac{X_0 - X^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{y_0 - Y^{n,R}}{\rho^{n,R}} & \frac{z_0 - Z^{n,R}}{\rho^{n,R}} & 1 & 1 & 0 \\ \frac{X_0 - X^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{y_0 - Y^{1,C}}{\rho^{1,C}} & \frac{z_0 - Z^{1,C}}{\rho^{1,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ \frac{X_0 - X^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{y_0 - Y^{n,C}}{\rho^{n,C}} & \frac{z_0 - Z^{n,C}}{\rho^{n,C}} & 1 & 0 & 1 \\ \frac{X_0 - X^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{y_0 - Y^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & \frac{z_0 - Z^{1,Q}}{\rho^{1,Q}} & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3n+1) \times 6}$$

[0068]

수학식 6

[0069]
$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sin E^{1,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,G}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \frac{1}{\sin E^{1,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,R}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \frac{1}{\sin E^{1,C}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{n,C}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E^{1,Q}} \end{bmatrix}_{(3n+1) \times (3n+1)}$$

[0069]

수학식 7

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} res^{1,G} \\ \vdots \\ res^{n,G} \\ res^{1,R} \\ \vdots \\ res^{n,R} \\ res^{1,C} \\ \vdots \\ res^{n,C} \\ res^{1,Q} \end{bmatrix}_{(3n+1)}$$

[0070]

[0071]

상기 수학식 5 내지 7에서, H는 디자인 행렬(Design matrix), (x_0, y_0, z_0) 는 기준 위성 항법 시스템인 GPS의 좌표, (X, Y, Z) 는 각각의 위 첨자에 대응하는 위성 항법 시스템 좌표계의 좌표, W는 위성 양각에 따른 가중행렬(Weighted matrix), \vec{v} 는 의사거리 잔차(res)벡터(Residual vector), G는 GPS, R는 GLONASS, C는 BeiDou, Q는 QZSS, E(Elevation)는 양각을 나타낸다.

[0072]

상술한 [수학식 4] 내지 [수학식 7]에 의해 얻어지는 최종해로서의 측위정보는 [수학식 8]로 나타난다.

수학식 8

$$\vec{x} = \{U_x, U_y, U_z, dt, ISB_{GPS-GL0}, ISB_{GPS-BDS}\}$$

[0073]

[0074]

여기에서 U_x, U_y, U_z 는 사용자의 위치정보, dt 는 수신부 시계오차, $ISB_{GPS-GL0}$ 는 GPS와 GLONASS간의 시스템 바이어스, $ISB_{GPS-BDS}$ 는GPS와 BeiDou간의 시스템 바이어스를 의미한다.

[0075]

[수학식 8]에 의해 도출되는 측위 정보의 수신부 시계오차(dt)와 시스템간 바이어스(ISB)가 [수학식 1]에 적용되는 것에 의해 더욱 정확해진 제 2 위성-수신부 보정거리(S_2)가 얻어진다. 이에 따라 더욱 정확한 제 2 잔차(\vec{v}_2)가 얻어지며, 이를 다시 [수학식 4] 내지 [수학식 7]에 적용하는 것에 의해 더욱 정확한 측위정보를 얻을 수 있다. 이와 같이, 측위정보추정부(150)에서 얻어지는 정보를 반복 적용하는 것에 의해 측위정보의 정확도를 높일 수 있게 된다. 따라서 원하는 정확도를 가지는 측위정보가 획득되는 반복 횟수를 설정하는 것에 의해 원하는 정확도의 측위정보를 획득할 수 있게 된다.

[0076]

도 3은 본 발명의 실시예에 따르는 다중 위성 항법 시스템을 이용한 전지구 통합 측위 방법의 처리과정을 나타내는 순서도이다.

[0077]

도 3과 같이, 본 발명의 통합 측위 방법은 제 1 잔차추출과정(S100), 시간 및 좌표 변환 과정(S20), 제 1 측위정보추정과정(S30), 제 2 잔차추출과정(S40) 및 제 2 측위정보추정과정(S50)을 포함하여 이루어진다.

[0078]

제 1 잔차추출과정(S100)에서는 잔차추출부(S140)가 수신부(110)에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번 째 주파수)를 도출하고, 수신부와 위성별 기하학적 정보를 보정하여 생성되는 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho^j - cdT^i + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon Pi$)를 도출한 후 제 1

잔차($P_i^j - S_i^j$)를 추출한다.

- [0079] 이를 위해 상기 제 1 잔차추출과정(S100)은 통합 측위 장치(100)의 위성-수신부 거리(P_i^j) 연산과정(S11)과 제 1 위성-수신부 보정 거리(S_i^j) 연산과정(S13) 및 제 1 잔차도출과정(S15)를 포함한다.
- [0080] 상기 통합 측위 장치(100)의 위성-수신부 거리(P_i^j) 연산과정(S11)에서는 위성-수신부 거리 연산부(120)가 수신부(110)에서 출력되는 위성 신호의 시간 정보를 이용하여 위성-수신부 거리(P_i^j , j 는 GNSS 위성 식별자, i 는 i 번째 주파수)를 도출한다.
- [0081] 상기 제 1 위성-수신부 보정 거리(S_i^j) 연산과정(S13)에서는 위성-수신부 보정 거리 연산부(130)가 수신부와 위성별 기하학적 정보를 보정하여 생성되는 제 1 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 도출한다.
- [0082] 그리고 상기 제 1 잔차도출과정(S15)에서는 잔차추출부(140)가 통합 측위 장치(100)의 위성-수신부 거리(P_i^j)와 제 1 위성-수신부 보정 거리(S_i^j)의 차인 제 1 잔차($\vec{v}_{1=P_i^j - S_i^j}$)를 도출한다.
- [0083] 상기 시간 및 좌표 변환 과정(S20)에서는 상기 시계 및 좌표 변환부(150)가 다중 위성 항법 시스템의 수신 위성 신호의 시간계와 좌표계를 기준 위성 항법 시스템의 기준 시간계 및 기준 좌표계로 변환한다.
- [0084] 이를 위해 상기 시간 및 좌표변환과정(S20)은 기준시간 변환과정(S210)과 기준좌표변환과정(S23)을 포함하여 이루어진다.
- [0085] 상기 기준시간 변환과정(S21)에서는 시간 및 좌표변환부(150)가 다중 위성 항법 시스템들의 시간계를 기준 위성 항법 시스템의 기준시간계의 시간으로 일치시키는 처리를 수행한다.
- [0086] 그리고 상기 기준좌표 변환과정(S23)에서는 시간 및 좌표변환부(150)가 다중 위성 항법 시스템들의 좌표를 기준 위성 항법 시스템의 기준 좌표계의 좌표로 변환한다.
- [0087] 상기 제 1 측위정보추정과정(S30)에서는 측위정보추정부(160)가 상기 제 1 잔차에 가중최소자승법을 적용하여 위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스 중 하나 이상을 포함하는 제 1 측위정보를 추정하는 처리과정을 수행한다.
- [0088] 상기 제 2 잔차추출과정(S40)에서는 상기 잔차추출부(140)가 상기 제 1 측위정보에서 도출된 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdt^j)와 시스템 간 바이어스(ISB^j)를 입력받아 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 연산하여 도출한 후, 제 2 잔차($\vec{v}_{2=P_i^j - S_i^j}$)를 도출한다.
- [0089] 이를 위해 상기 제 2 잔차추출과정(S40)은 제 2 위성-수신부 보정 거리(S_i^j) 연산과정(S41)과 제 2 잔차($\vec{v}_{2=P_i^j - S_i^j}$)도출과정(S43)을 포함한다.
- [0090] 상기 제 2 위성-수신부 보정 거리(S_i^j) 연산과정(S41)에서는 위성-수신부 보정거리 연산부(130)가 측위정보추정부(160)에 의해 도출되는 수신부 시계오차(dt^j)에 의한 지연거리(cdt^j)와 시스템간 바이어스(ISB^j)를 입력받은 후 제 2 위성-수신부 보정거리($S_i^j = \rho^j + cdt^j + ISB^j - cdT^j + d_{trop}^j + d_{iono/Li}^j + \epsilon^j P_i$)를 연산하여 도출한다.
- [0091] 상기 제 2 잔차($\vec{v}_{2=P_i^j - S_i^j}$)도출과정(S43)에서는 잔차추출부(140)가 통합 측위 장치(100)의 위성-수신부 거리(P_i^j)에서 제 2 위성-수신부 보정거리(S_i^j)를 빼는 연산을 수행하여 제 2 잔차($\vec{v}_{2=P_i^j - S_i^j}$)를 도출한다.
- [0092] 상기 제 2 측위정보추정과정(S50)에서는 상기 측위정보추정부(160)가 제 2 잔차에 가중최소자승법을 적용하여

위치정보, 시계오차 또는 시스템간 바이어스중 하나 이상을 포함하는 제 2 측위정보를 추정하여 수신부의 위치를 포함하는 측위정보로 출력하는 처리과정을 수행한다.

- [0093] 또한, 상기 전지구 통합 측위 방법은, 측위정보가 기 설정된 정확도를 만족할 때까지, 상기 제 2 측위정보추정과정(S50)이 수행된 후, 제 2 잔차추출과정(S40)과 제 2 측위정보추정과정(S50)을 반복 수행하도록 구성될 수 있다. 이를 위해 제 2 측위정보추정과정(S50)의 수행한 추정된 측위정보가 기준오차 이내 인지를 판단하는 오차 판단과정(S60)을 더 포함할 수 있다.
- [0094] 도 4 내지 도 9는 본 발명을 적용한 실험예이다.
- [0095] 본 발명의 통합 측위 장치의 성능을 분석하기 위해, 한국천문연구원에서 운영하고 있는 목포(MKPO) GNSS 기준국에서 수신된 관측자료를 이용하였다. MKPO GNSS 기준국은 Trimble NetR9 수신기와 TRM59800 안테나가 설치되어 운영되고 있다. 실험에 사용된 Trimble NetR9 수신기는 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, 그리고 QZSS 등의 위성신호를 수신할 수 있다. 또한 수신된 관측자료는 Receiver Independent Exchange 형식(version, "extended 2.11")으로 변환하여 전처리 단계에서 사용하였다. 먼저 수신된 관측자료를 이용해서 한반도 상에서 시간경과에 따른 가시 위성수의 변화를 분석하였다.
- [0096] 도 4는 MKPO GNSS 기준국에서의 시간 경과에 따른 GNSS를 구성하는 위성 항법 시스템별 가시 위성 개수와 전체 가시위성의 합인 개수를 측정한 그래프이다.
- [0097] 도 4는 2014년 6월 1일에 MKPO GNSS 기준국에서 수신된 위성자료를 이용해서 시간경과에 따른 GPS, GLONASS(GLO), BeiDou(BDS), QZSS(QZS)의 가시 위성 수 변화와 모든 위성을 합한 개수 변화를 15분 간격으로 각각 나타낸다. 도 4에서 세로축은 가시 위성 수, 가로축은 세계시 (Universal Time, UT)가 기준인 시간을 나타낸다.
- [0098] GPS 가시위성 수의 변화는 녹색 다이아몬드로 표시를 했다. GPS 위성은 UT 3시에 최대 12기까지 관측이 되었고, 하루 동안 최소 6기 이상은 지속적으로 관측이 되는 것으로 나타났다. GLONASS(GLO)은 최소 4기에서 최대 9기까지 관측이 되었고, BeiDou(BDS)는 붉은색 삼각형으로 표시를 했는데, 가시 위성 수가 최소 7에서 최대 10기까지 관측되었다. 관측시점을 기준으로 한반도에서 평균적으로 중국의 BDS가 러시아 GLO보다 많이 관측되는 것을 확인할 수 있다. QZSS(QZS)는 1기의 위성신호가 관측이 되었는데, UT 19시부터 23시까지는 신호 수신이 되지 않았다. 이것은 통합 측위 장치(100)에서 위성의 양각 제한 (Elevation cutoff)을 10도로 설정했기 때문에 발생한 것으로 확인되었다. GPS+GLO+BDS+QZS를 합한 가시 위성 수는 회색 사각형으로 표시를 했는데 최소 19기에서 최대 29기까지 관측이 되었고, 시간경과에 따라 최대 10기까지 관측위성 수의 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 MKPO GNSS 기준국에서는 항법위성이 밤 보다는 상대적으로 낮에 더 많이 관측되는 것으로 나타났다.
- [0099] 다음으로 MKPO GNSS 기준국에서 수신된 multi-GNSS 관측자료를 처리하여 통합측위 결과를 산출했다.
- [0100] 도 5는 단일주파수의 코드만을 이용해서 표준 측위(Standard point positioning)를 수행한 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0101] 도 5에 나타난 바와 같이, 시간경과에 따른 위치오차는 동쪽방향, 남쪽방향, 고도방향 성분으로 나누어 표시했다. 위치오차를 산출하기 위해서 사용된 절대위치는 한국천문연구원에서 자체 개발한 GNSS 소프트웨어를 이용해서 Static precise point positioning(PPP) 방법을 적용해 계산했다. 그림 2에서 GPS+GLO+BDS+QZS의 통합측위로 계산된 일일 위치오차에 대한 평균값은 동쪽, 북쪽, 고도방향에서 각각 0.29m, 0.47m, -0.74m로 산출되었다. 또한 수평(동쪽과 남쪽)방향 성분의 평균 위치오차가 수직(고도)방향과 비교하여 위치오차가 작게 산출된 것으로 나타났다. 위치오차에 대한 root mean square(RMS)값도 평균위치오차와 유사하게 수평방향 성분의 위치정확도가 우수한 것으로 나타났다.
- [0102] 도 6은 도 5에서 나타난 수평방향 위치오차와 GPS만을 이용해서 계산된 수평방향 위치오차를 각각 2차원 평면에 나타난 그래프이다.
- [0103] 도 6에서 가로축은 동쪽방향 성분의 위치오차, 세로축은 북쪽방향 성분의 위치오차, 그리고 노란색 십자표시는 절대 위치(0,0)를 의미한다. GPS의 수평위치 오차는 파란색 원으로 표시했고, GPS+GLO+BDS+QZS의 수평위치 오차는 붉은색 별로 표시했다. 도 6을 통해서 GPS+GLO+BDS+QZS의 통합측위 결과는 GPS 단독측위에 비해 수평방향 성분의 위치정확도와 위치정밀도가 모두 향상되는 것으로 나타났다. 특히 수평방향 성분 중에서도 북쪽방향의 위치정확도가 더욱 향상된 것을 알 수 있었다.

- [0104] 항법위성들의 다양한 조합을 통한 측위성능을 비교 분석하기 위해 총 5개의 실험군으로 나누어 자료처리를 수행하였다. 실험군은 각각 GPS only, GPS+BDS, GPS+GLO, GPS+GLO+BDS, 그리고 GPS+GLO+BDS+QZSS로 나누어 진다.
- [0105] 도 7은 실험군을 통해 산출된 위치오차의 RMS값을 나타낸 그래프이다.
- [0106] 도 7에서 가로축은 위치오차에 대한 RMS 값이고, 세로축은 동쪽, 북쪽, 그리고 고도방향 성분을 나타낸다. GPS+BDS 조합은 GPS only에 비해 동쪽방향 성분은 RMS값이 0.03m 증가한 반면 북쪽과 고도방향 성분의 RMS값은 모두 감소하여 전체적으로 GPS 단독측위에 비해서는 측위성능이 향상된 것을 알 수 있었다. 반면 GPS+GLO 조합은 동쪽과 고도방향 성분의 RMS값이 타 실험군과 비교하여 가장 큰 오차를 보였다. 그리고 북쪽방향 성분은 GPS only와 GPS+BDS에 비해 작은 오차를 보였다. 이러한 결과를 통해 GPS+GLO 조합은 GPS only에 비해서 위치오차에 대한 RMS값이 증가했다는 것을 알 수 있다. 즉 한반도내에서 GPS와 GLONASS 조합이 GPS 단독측위와 비교하여 측위성능의 향상을 보이지는 못했다. 본 연구에서 제시한 결과도 이전의 결과와 일치하는 경향을 보인다. 이것은 GLONASS 위성신호의 잡음이 크거나 또는 서로 다른 기준좌표계간의 변환계수가 중위도 한반도 지역에서 잘 맞지 않는 원인 일 수 있다.
- [0107] GPS+GLO+BDS 조합은 GPS+GLO 조합에 비해서 모든 방향성분의 RMS값이 감소한 것으로 나타난다. 특히 고도방향은 RMS값 차이가 약 0.6m로 큰 폭으로 감소를 했다. GPS+GLO+BDS+QZS 조합은 동쪽방향 성분을 제외하고 북쪽과 고도방향 성분의 RMS값이 모두 감소했다. GPS+GLO+BDS 조합에 QZS 위성 1기가 추가됨으로써 고도방향 성분의 RMS값이 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 즉, GPS+GLO+BDS+QZS 조합을 통해서 북쪽과 고도방향 성분의 위치정밀도가 향상됨을 보였다.
- [0108] 다양한 조합을 통해서 위치정밀도를 분석한 결과, GPS+GLO 조합은 타 조합에 비해서 상대적으로 위치정밀도가 저하되는 특성을 보였고, 반면에GPS+GLO+BDS+QZS 조합은 위치정밀도가 더욱 향상되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0109] 도 8은 도 7에서 제시한 결과와 각 조합에 따른 일일 평균 위치오차를 나타내는 표이다.
- [0110] 평균 위치오차는 GPS+GLO 조합이 타 조합과 비교하여 상대적으로 동쪽과 고도방향 성분이 증가한 것으로 나타났다. 이렇게 특정방향의 평균 위치오차가 증가한 것은 RMS값의 증가와도 일치한다. 반대로 북쪽방향의 위치오차는 타 조합에 비해서 가장 작은 오차를 보였다. 또한 GPS+GLO+BDS+QZS 조합은 북쪽과 고도방향 성분의 위치정확도를 향상시켰고, 특히 고도방향의 위치정확도 향상이 뚜렷하게 나타났다.
- [0111] 서로 다른 시스템간의 조합은 가시 위성의 증가로 인해 위치정확도와 위치정밀도의 향상을 기대할 수 있다. 하지만 시스템 간에는 하드웨어바이어스(ISB)가 존재하기 때문에 시스템 바이어스를 추정하는 것이 반드시 필요하다.
- [0112] 도 9는 MKPO GNSS 기준국에서 운영 중인 Trimble NetR9 수신기에 의해 관측된 자료를 이용해서 시간경과에 따른 ISB 계산 값을 나타내는 그래프이다.
- [0113] ISB는 시스템간에 상대적인 값이기 때문에 수신기마다 특성이 다르게 나타나며, 그 외에도 관측자료, 추정방법, 그리고 시각 모델링 등에 의해서 차이가 발생한다. SPP와 PPP 등 자료처리 방법에 의해서 큰 차이가 발생할 수 있다.
- [0114] 도 9에서 가로축은 시간, 그리고 세로축은 ISB (nano-seconds) 값을 의미한다. 도 9에서 검은색 별로 표시된 것은 GPS 수신부의 시각오차 변화를 나타낸 것이고, 붉은색 삼각형과 파란색 사각형은 각각 GPS와 GLONASS (GLO) 시스템간의 ISB, 그리고 GPS와 BeiDou (BDS) 시스템간의 ISB 변화이다. GPS/GLO의 일일 평균 ISB는 -322.21 ns, GPS/BDS는 39.83 ns으로 계산되어, 절대값으로 GPS/GLO간의 일일 평균 ISB가 GPS/BDS에 비해 상대적으로 큰 것으로 알 수 있었다.
- [0115] 본 발명의 성능을 검증하기 위한 실험에는 한반도 내에서 수신된 multi-GNSS 관측자료를 이용해서 항법위성의 조합에 따른 위치정확도의 성능을 분석했다. 위치정확도의 성능을 비교하기 위해 총 5개의 조합, 즉 GPS only, GPS+BDS, GPS+GLO, GPS+GLO+BDS, 그리고 GPS+GLO+BDS+QZS으로 나누어 자료처리를 수행하였다. 위치오차를 분석한 결과, GPS+GLO 조합의 경우에는 타 조합에 비해서 상대적으로 위치정밀도가 저하되는 것으로 나타났고, 반면 GPS+GLO+BDS+QZS 조합은 위치정확도와 위치정밀도가 모두 향상되는 것으로 나타났다. 결국 본 발명의 실험에 의해 본 발명에 의한 한반도 내에서의 많은 항법위성의 조합은 가시 위성수의 증가뿐만 아니라 사용자의 위치정확도와 위치정밀도를 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.
- [0116] 또한 본 발명은 시스템 간 조합에 의해 발생하는 ISB를 추정하는 것에 의해, GPS/GLO와 GPS/BDS의 일일 평균 ISB값이 각각 -322.21 ns와 39.83 ns임을 확인했다. 이러한 결과로부터 GPS/GLO의 ISB 절대 평균값이 GPS/BDS

의 ISB 값보다 큰 것을 알 수 있었다.

[0117] 상기에서 설명한 본 발명의 기술적 사상은 바람직한 실시예에서 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술적 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 다양한 실시예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

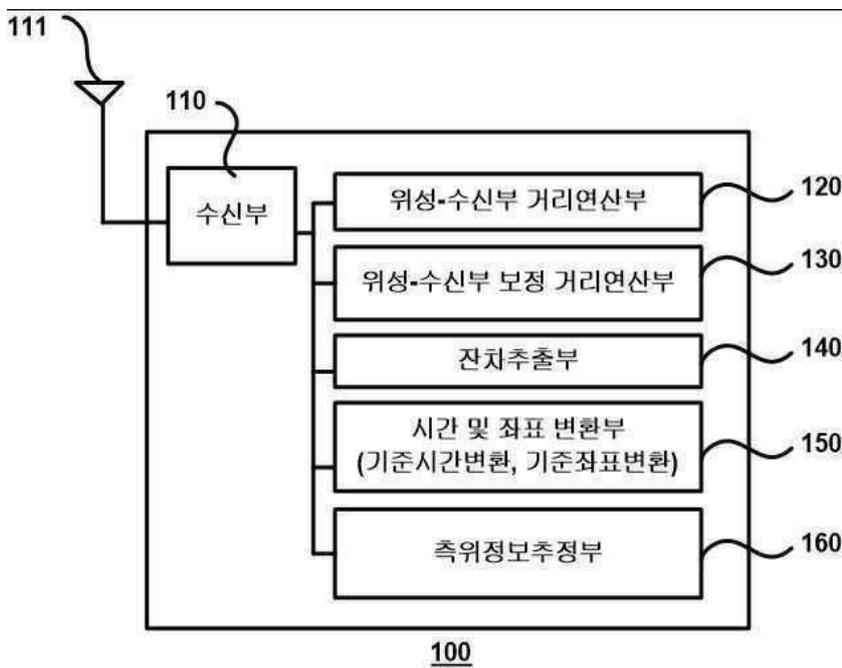
부호의 설명

[0118] 100: 통합 측위 장치

111: 안테나

도면

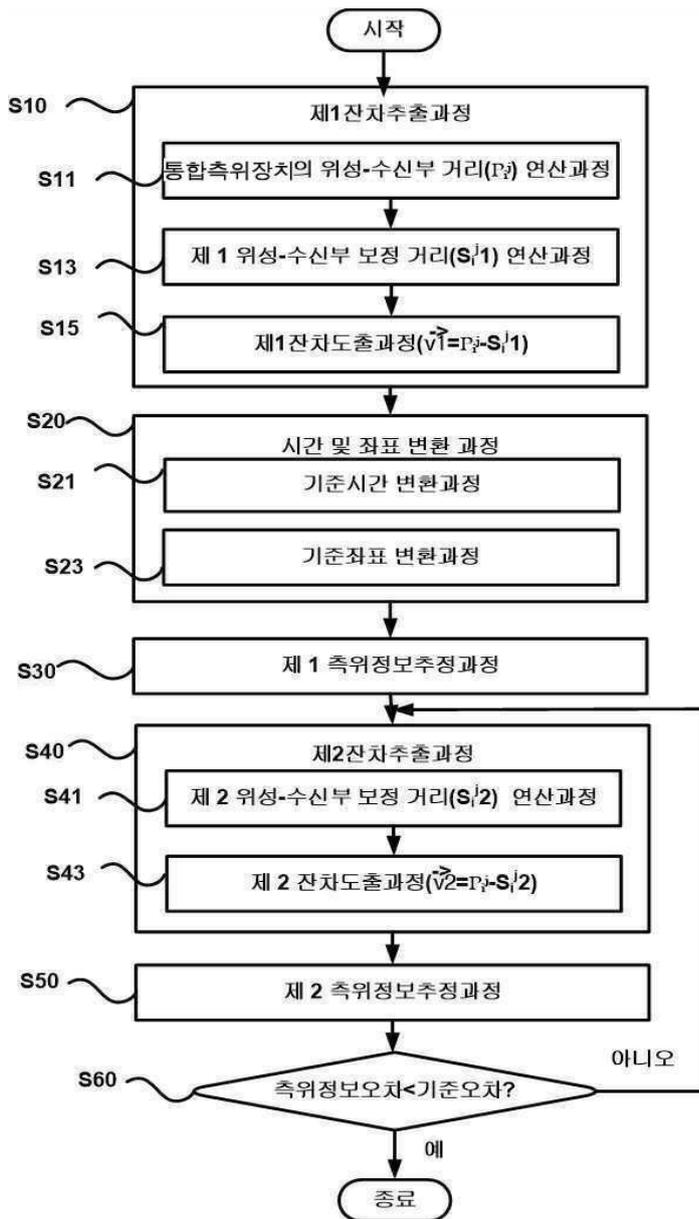
도면1



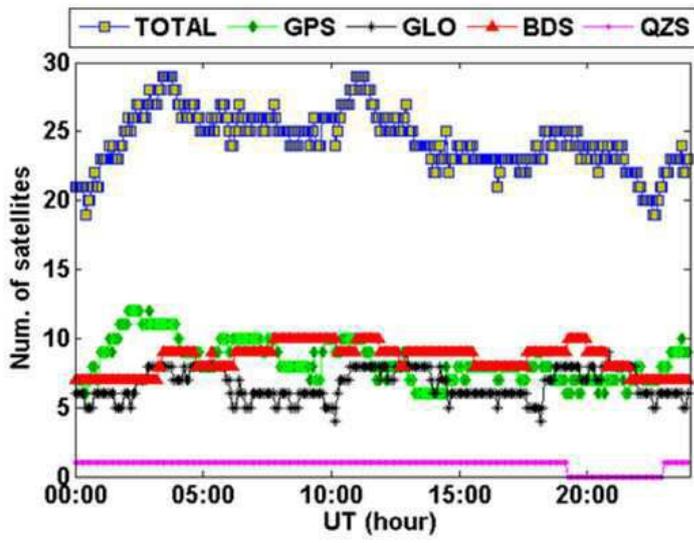
도면2

	GPS	GLONASS	BeiDou	QZSS
Number of satellites	32(31)	24(24)	35(14)	4(1)
Orbital planes	6	3	3	3
Orbital inclination	55 deg	65 deg	55 deg	43 deg
Orbital altitude	20,197 km	19,130 km	21,540 km	35,786 km
Period of revolution	11h 58m	11h 16m	12h 53m	23h 56m
Time scale	GPST	UTC	BDT	GPST
Coordinate system	WGS84	PZ90	CGCS2000	JGS
Ephemeris update	Every 2h	Every 30 min	Every 1h	Every 1h

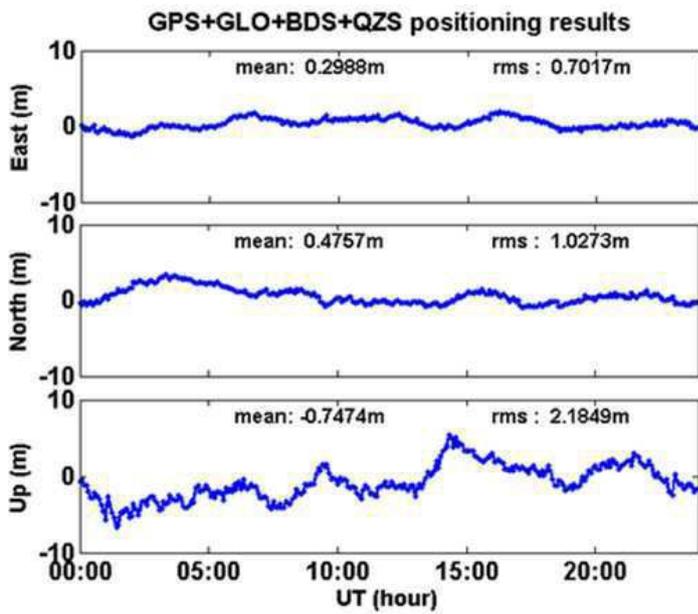
도면3



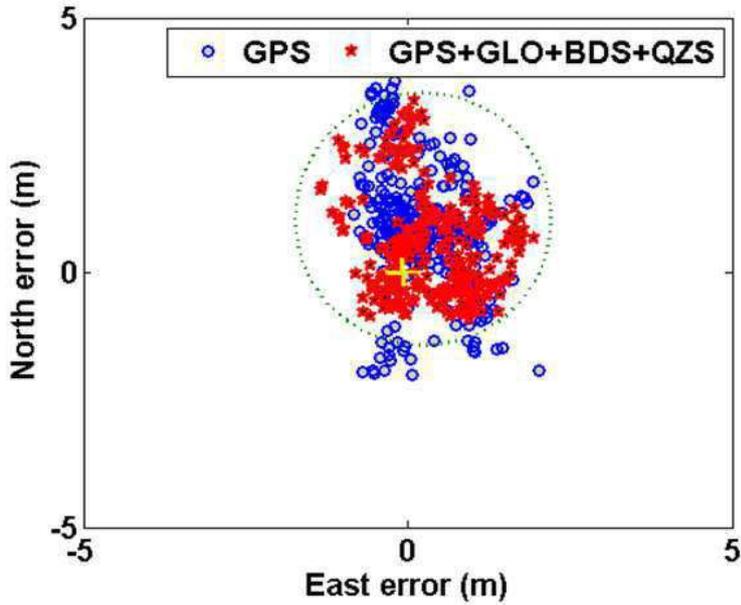
도면4



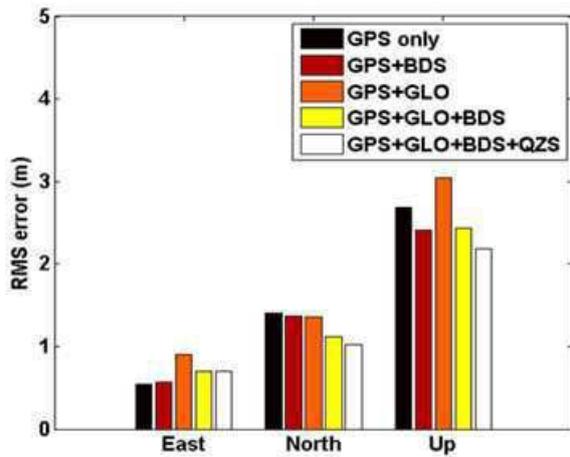
도면5



도면6



도면7



도면8

Method	Mean errors (m)			RMS errors (m)		
	East	North	Up	East	North	Up
GPS only	0.12	0.81	-0.94	0.54	1.42	2.69
GPS+BDS	0.10	0.98	-0.90	0.57	1.37	2.41
GPS+GLO	0.39	0.35	-1.39	0.90	1.36	3.04
GPS+GLO+BDS	0.26	0.57	-1.03	0.70	1.12	2.44
GPS+GLO+BDS+QZS	0.29	0.47	-0.74	0.70	1.02	2.18

도면9

