



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0026902
(43) 공개일자 2014년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 19/07 (2010.01) G01S 19/08 (2010.01)
G01S 19/20 (2010.01)

(21) 출원번호 10-2012-0092664
(22) 출원일자 2012년08월23일
심사청구일자 2012년08월23일

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자
이지윤
대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원 항
공우주공학과

정성욱
서울 서대문구 독립문로12나길 43, 301호 (천연동)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
장수현

전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법 및 시스템

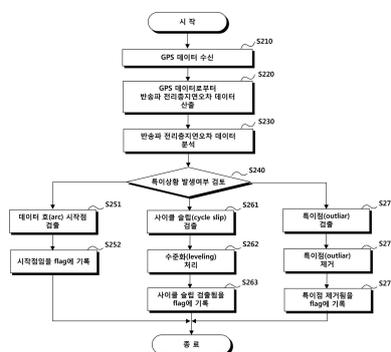
(57) 요약

본 발명은 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 각 지상국의 GPS 반송파데이터의 전처리에 의한 전리층 지연오차 추정시 전처리 과정의 히스토리를 담고 있는 전처리 플래그를 기록하여 제공함으로써, 기록된 전처리 플래그를 확인하여 실제 전리층 이상현상인지를 모니터링 할 수 있도록 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법 및 시스템에 관한 것이다.

본 발명에 의하면, 각 지상국의 GPS 반송파데이터의 전처리에 의한 전리층 지연오차 추정시 전처리 과정의 히스토리를 담고 있는 전처리 플래그를 기록함으로써, 기록된 전처리 플래그를 이용하여 극심한 전리층 기울기 값을 갖는 데이터가 실제 전리층 이상현상인지 아니면 수신기 고장이나 자료처리오차로부터 산출된 것인지를 판단할 수 있는 효과가 있다.

또한, 전리층 이상현상으로 판단된 후보들 중 실제 전리층 이상현상이 아닌 후보들을 자동화하여 제거하는 오토 스크리닝(Auto Screening)의 과정을 최대한 자동화시킴으로써, 수동으로 전리층 이상현상의 유효성을 판단하는 과정에서 가중되는 부담을 완화시킬 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

방유진

서울 관악구 승방10길 32, 4층 (남현동)

김민찬

제주 제주시 연수로 40, 104동 307호 (일도이동,
혜성대유아파트)

특허청구의 범위

청구항 1

GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이, 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GPS 데이터를 분석하여, 전리층 이상현상 발생여부에 대한 히스토리(history)를 기록한 플래그(flag) 데이터를 제공하는 방법으로서,

(a) GPS 데이터 수신모듈이 GPS 데이터 관측장치로부터 관측된 GPS 데이터를 수신하여 데이터 저장부에 저장하는 단계;

(b) 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 전리층지연오차 산출모듈이 상기 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 단계; 및

(c) 데이터 분석모듈이 상기 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여 특이 상황 발생여부를 파악하고, 그 분석결과에 따라 플래그 처리모듈이 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황이 발생한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부에 저장하는 단계

를 포함하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 특이 상황에는,

분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부에 대한 정보(이하 '시작점 정보'라 한다)를 포함하고,

상기 플래그에 기록되는 정보는,

상기 시작점 정보가 포함되는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 특이 상황에는,

사이클 슬립(cycle slip) 발생을 포함하고,

상기 플래그에 기록되는 정보는,

사이클 슬립의 검출 여부에 대한 정보를 포함하는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 특이 상황에는,

특이점(outlier) 발생을 포함하고,

상기 플래그에 기록되는 정보는,

특이점 검출 또는 제거 여부에 대한 정보를 포함하는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 사이클 슬립의 검출은,

GPS 데이터 관측장치로부터 수신된 GPS 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보로부터 판단하거나, 반송파 전리층지연오차 데이터에서, 특정 시점에 데이터의 크기가 기 설정된 기준값 이상의 급격한 상승 또는 하강(data jump)하여 상기 시점 좌우의 데이터가 계단형 곡선을 이루는 경우, 상기 특정 시점에 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단하거나,

데이터의 공백(data outage)이 발생한 경우에 검출된 것으로 판단하는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 데이터 공백 발생 여부의 판단은,

상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이 상기 단계(c)의 반송파 전리층지연오차 데이터 분석 과정에서 특정 시점의 데이터 공백을 감지함으로써 이루어지는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 특이점의 검출 방법은,

(c11) 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하는 단계;

(c12) 상기 구간에서 다항식 적합된 값과 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 값의 차이가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점의 차이 값이 기 설정된 기준값을 초과하는 시점을 제1 특이점 후보 시점으로 결정하는 단계;

(c13) 상기 구간의 각 데이터 값에 대한 특이점 팩터(outlier factor)를 산출하는 단계;

(c14) 상기 구간에서 상기 특이점 팩터가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점을 제2 특이점 후보 시점으로 결정하는 단계; 및

(c15) 상기 제1 특이점 후보 시점 및 상기 제2 특이점 후보 시점이 동일 시점인 경우, 그 시점을 특이점으로 판단하는 단계

를 포함하고,

상기 특이점 팩터는,

$$OF(t_p) = \sum_{q \in Adjacent} w_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

에 의해 산출되며, 상기 w_{pq} 는,

$$w_{pq} = \frac{1/|t_p - t_q|}{\sum_{r \in Adjacent} 1/|t_p - t_r|}$$

인 것을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 단계(c15) 이후,

(c16) 데이터 처리모듈이 상기 단계(c15)에서 특이점으로 판단된 시점의 데이터를 삭제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 단계(b)에서,

전리층지연오차 산출모듈이, 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출한 후, 데이터 처리모듈이 반송파와 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행하는 단계를

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

데이터 분석모듈에 의해 사이클 슬립이 발생된 것으로 판단된 경우,

데이터 처리모듈은, 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행하는 것

을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 수준화 과정은,

(c21) 상기 사이클 슬립 발생 구간에서, 상기 코드 전리층지연오차값과 상기 반송파 전리층지연오차값의 차이의 평균값을 산출하는 단계; 및

(c22) 상기 평균값을 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에 더하거나 빼줌으로써 반송파 전리층지연오차 데이터의 수준화(leveling)을 수행하는 단계를

를 포함하는 것을 특징으로 하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법.

청구항 12

코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GPS 데이터를 분석하여, 전리층 이상현상 발생여부에 대한 히스토리(history)를 기록한 플래그(flag) 데이터를 제공하는 시스템으로서,

GPS 데이터 관측장치로부터 관측된 GPS 데이터를 수신하는 GPS 데이터 수신모듈;

상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 전리층지연오차 산출모듈;

상기 수신된 GPS 데이터, 전리층지연오차 데이터 및, 상기 전리층지연오차 데이터의 분석 및 처리를 위한 데이터를 저장하는 데이터 저장부;

상기 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여, 상기 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황 발생 여부를 체크하는 데이터 분석모듈;

상기 특이 상황 발생시, 발생한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부에 저장하는 플래그 처리모듈; 및

상기 각 구성요소를 제어하여 GPS 데이터의 분석, 처리 및 플래그 산출을 위한 일련의 처리를 수행하는 제어부를 포함하는, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 데이터 분석모듈은,

분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부를 판단하는 기능을 포함하고,

상기 플래그 처리모듈은,

특정 시점의 데이터에 대하여, 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부에 대한 정보를 플래그에 기록하는 것을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 14

청구항 12에 있어서,

상기 데이터 분석모듈은,

상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 사이클 슬립(cycle slip)을 검출하는 기능을 포함하고,

상기 플래그 처리모듈은,

사이클 슬립의 검출 여부에 대한 정보를 플래그에 기록하는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 15

청구항 12에 있어서,

상기 데이터 분석모듈은,

상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 특이점(outlier)을 검출하는 기능을 포함하고,

상기 플래그 처리모듈은,

특이점 검출 또는 제거 여부에 대한 정보를 플래그에 기록하는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 16

청구항 14에 있어서,

상기 데이터 분석모듈의 사이클 슬립 검출은,

GPS 데이터 관측장치로부터 수신된 GPS 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보로부터 판단하거나,

반송파 전리층지연오차 데이터에서, 특정 시점에 데이터의 크기가 기 설정된 기준값 이상의 급격한 상승 또는 하강(data jump)하여 상기 시점 좌우의 데이터가 계단형 곡선을 이루는 경우, 상기 특정 시점에 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단하거나,

데이터의 공백(data outage)이 발생한 경우에 검출된 것으로 판단하는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 데이터 분석모듈의 데이터 공백 발생 여부 판단은,

상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이 상기 단계(c)의 반송파 전리층지연오차 데이터 분석 과정에서 특정 시점의 데이터 공백을 감지함으로써 이루어지는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 18

청구항 15에 있어서,

상기 데이터 분석모듈의 특이점 검출은,

상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하고,

상기 구간에서 다항식 적합된 값과 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 값의 차이가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점의 차이 값이 기 설정된 기준값을 초과하는 시점을 제1 특이점 후보 시점으로 결정하고,

상기 구간의 각 데이터 값에 대한 특이점 팩터(outlier factor)를 산출하고,

상기 구간에서 상기 특이점 팩터가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점을 제2 특이점 후보 시점으로 결정하고,

상기 제1 특이점 후보 시점 및 상기 제2 특이점 후보 시점이 동일 시점인 경우, 그 시점을 특이점으로 판단함으로써 이루어지며,

상기 특이점 팩터는,

$$OF(t_p) = \sum_{q \in Adjacent} w_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

에 의해 산출되며, 상기 w_{pq} 는,

$$w_{pq} = \frac{1/|t_p - t_q|}{\sum_{r \in Adjacent} 1/|t_p - t_r|}$$

인 것을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

특이점으로 판단된 시점의 데이터를 삭제하는 데이터 처리모듈

을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 20

청구항 12에 있어서,

반송파 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행하는 데이터 처리모듈을 더 포함하고,

상기 전리층지연오차 산출모듈은, 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 기능을 더 포함하는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 21

청구항 20에 있어서,

데이터 분석모듈에 의해 사이클 슬립이 발생된 것으로 판단된 경우,

상기 데이터 처리모듈은, 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행하는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

청구항 22

청구항 20에 있어서,

상기 수준화 과정은,

상기 사이클 슬립 발생 구간에서, 상기 코드 전리층지연오차값과 상기 반송파 전리층지연오차값의 차이의 평균값을 산출하고,

상기 평균값을 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에 더하거나 빼줌으로써 반송파 전리층지연오차 데이터의 수준화(leveling)을 수행함으로써 이루어지는 것

을 특징으로 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 각 지상국의 GPS 반송파데이터의 전처리에 의한 전리층 지연오차 추정시 전처리 과정의 히스토리를 담고 있는 전처리 플래그를 기록하여 제공함으로써, 기록된 전처리 플래그를 확인하여 실제 전리층 이상현상인지를 모니터링 할 수 있도록 하는 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 지상기반 보강시스템(GBAS: Ground Augmentation System)은 항공기의 정밀 공항 접근과 자동 착륙을 위해 개발된 시스템이다. 시스템의 운영중에 극심한 전리층 폭풍이 발생하였을 경우 지상국이 이를 감지하지 못하면 사용자의 안전성에 큰 위협을 줄 수 있다.

[0003] 전리층은 고도 50~2000km 에 분포하는 고층대기로서, 태양으로부터 입사된 자외선에 의하여 이온화된 입자로 구성된다. 따라서 이 지역의 자유전자와 이온은 GPS 신호를 굴절시켜 신호 지연 효과를 발생시키며, 전형적인 전리층 지연량은 수 m 에 달한다. 지상기반 보강시스템(GBAS)은 항공기의 정밀 공항 접근과 자동 착륙을 위해 개발된 시스템으로서, 이러한 시스템의 무결성을 보장하기 위해서는 전리층 위협 감지를 위한 모니터링 기술이 개발되어야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 각 지상국의 GPS 반송파데이터의 전처리에 의한 전리층 지연오차 추정시 전처리 과정의 히스토리를 담고 있는 전처리 플래그를 기록하고, 기록된 전처리 플래그를 이용하여 실제 전리층 이상현상인지를 모니터링할 수 있도록 한 전리층 이상현상 모니터링 시스템 및 방법을 제공함을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 이와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이, 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GPS 데이터를 분석하여, 전리층 이상현상 발생여부에 대한 히스토리(history)를 기록한 플래그(flag) 데이터를 제공하는 방법은, (a) GPS 데이터 수신모듈이 GPS 데이터 관측장치로부터 관측된 GPS 데이터를 수신하여 데이터 저장부에 저장하는 단계; (b) 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 전리층지연오차 산출모듈이 상기 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송

과 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 단계; 및 (c) 데이터 분석모듈이 상기 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여 특이 상황 발생여부를 파악하고, 그 분석결과에 따라 플래그 처리모듈이 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황이 발생한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부에 저장하는 단계를 포함한다.

- [0006] 상기 특이 상황에는, 분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부에 대한 정보(이하 '시작점 정보'라 한다)를 포함하고, 상기 플래그에 기록되는 정보는, 상기 시작점 정보가 포함될 수 있다.
- [0007] 상기 특이 상황에는, 사이클 슬립(cycle slip) 발생을 포함하고, 상기 플래그에 기록되는 정보는, 사이클 슬립의 검출 여부에 대한 정보를 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 특이 상황에는, 특이점(outlier) 발생을 포함하고, 상기 플래그에 기록되는 정보는, 특이점 검출 또는 제거 여부에 대한 정보를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 사이클 슬립의 검출은, GPS 데이터 관측장치로부터 수신된 GPS 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보로부터 판단하거나, 반송파 전리층지연오차 데이터에서, 특정 시점에 데이터의 크기가 기 설정된 기준값 이상의 급격한 상승 또는 하강(data jump)하여 상기 시점 좌우의 데이터가 계단형 곡선을 이루는 경우, 상기 특정 시점에 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단하거나, 데이터의 공백(data outage)이 발생한 경우에 검출된 것으로 판단할 수 있다.
- [0010] 상기 데이터 공백 발생 여부의 판단은, 상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이 상기 단계(c)의 반송파 전리층지연오차 데이터 분석 과정에서 특정 시점의 데이터 공백을 감지함으로써 이루어질 수 있다.
- [0011] 상기 특이점의 검출 방법은, (c11) 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하는 단계; (c12) 상기 구간에서 다항식 적합된 값과 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 값의 차이가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점의 차이 값이 기 설정된 기준값을 초과하는 시점을 제1 특이점 후보 시점으로 결정하는 단계; (c13) 상기 구간의 각 데이터 값에 대한 특이점 팩터(outlier factor)를 산출하는 단계; (c14) 상기 구간에서 상기 특이점 팩터가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점을 제2 특이점 후보 시점으로 결정하는 단계; 및 (c15) 상기 제1 특이점 후보 시점 및 상기 제2 특이점 후보 시점이 동일 시점인 경우, 그 시점을 특이점으로 판단하는 단계를 포함하고, 상기 특이점 팩터

$$OF(t_p) = \sum_{q \in Adjacent} w_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

$$w_{pq} = \frac{1/|t_p - t_q|}{\sum_{r \in Adjacent} 1/|t_p - t_r|}$$

는, 에 의해 산출되며, 상기 w_{pq} 는,

- [0012] 인 것을 특징으로 한다.
- [0013] 상기 단계(c15) 이후, (c16) 데이터 처리모듈이 상기 단계(c15)에서 특이점으로 판단된 시점의 데이터를 삭제하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 단계(b)에서, 전리층지연오차 산출모듈이, 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출한 후, 데이터 처리모듈이 반송파 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 데이터 분석모듈에 의해 사이클 슬립이 발생된 것으로 판단된 경우, 데이터 처리모듈은, 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행할 수 있다.
- [0016] 상기 수준화 과정은, (c21) 상기 사이클 슬립 발생 구간에서, 상기 코드 전리층지연오차값과 상기 반송파 전리층지연오차값의 차이의 평균값을 산출하는 단계; 및 (c22) 상기 평균값을 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에 더하거나 빼줌으로써 반송파 전리층지연오차 데이터의 수준화(leveling)을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GPS 데이터를 분석하여, 전리층 이상현상 발생여부에 대한 히스토리(history)를 기록한 플래그(flag) 데이터를 제공하는 시스템은, GPS 데이터 관측장치로부터 관측된 GPS 데이터를 수신하는 GPS 데이터 수신모듈; 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 반송파

데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 전리층지연오차 산출모듈; 상기 수신된 GPS 데이터, 전리층지연오차 데이터 및, 상기 전리층지연오차 데이터의 분석 및 처리를 위한 데이터를 저장하는 데이터 저장부; 상기 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여, 상기 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황 발생 여부를 체크하는 데이터 분석모듈; 상기 특이 상황 발생시, 발생한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부에 저장하는 플래그 처리모듈; 및 상기 각 구성요소를 제어하여 GPS 데이터의 분석, 처리 및 플래그 산출을 위한 일련의 처리를 수행하는 제어부를 포함한다.

- [0018] 상기 데이터 분석모듈은, 분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부를 판단하는 기능을 포함하고, 상기 플래그 처리모듈은, 특정 시점의 데이터에 대하여, 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부에 대한 정보를 플래그에 기록할 수 있다.
- [0019] 상기 데이터 분석모듈은, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 사이클 슬립(cycle slip)을 검출하는 기능을 포함하고, 상기 플래그 처리모듈은, 사이클 슬립의 검출 여부에 대한 정보를 플래그에 기록할 수 있다.
- [0020] 상기 데이터 분석모듈은, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 특이점(outlier)을 검출하는 기능을 포함하고, 상기 플래그 처리모듈은, 특이점 검출 또는 제거 여부에 대한 정보를 플래그에 기록할 수 있다.
- [0021] 상기 데이터 분석모듈의 사이클 슬립 검출은, GPS 데이터 관측장치로부터 수신된 GPS 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보로부터 판단하거나, 반송파 전리층지연오차 데이터에서, 특정 시점에 데이터의 크기가 기 설정된 기준값 이상의 급격한 상승 또는 하강(data jump)하여 상기 시점 좌우의 데이터가 계단형 곡선을 이루는 경우, 상기 특정 시점에 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단하거나, 데이터의 공백(data outage)이 발생한 경우에 검출된 것으로 판단할 수 있다.
- [0022] 상기 데이터 분석모듈의 데이터 공백 발생 여부 판단은, 상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템이 상기 단계(c)의 반송파 전리층지연오차 데이터 분석 과정에서 특정 시점의 데이터 공백을 감지함으로써 이루어질 수 있다.
- [0023] 상기 데이터 분석모듈의 특이점 검출은, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하고, 상기 구간에서 다항식 적합된 값과 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 값의 차이가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점의 차이 값이 기 설정된 기준값을 초과하는 시점을 제1 특이점 후보 시점으로 결정하고, 상기 구간의 각 데이터 값에 대한 특이점 팩터(outlier factor)를 산출하고, 상기 구간에서 상기 특이점 팩터가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점을 제2 특이점 후보 시점으로 결정하고, 상기 제1 특이점 후보 시점 및 상기 제2 특이점 후보 시점이 동일 시점인 경우, 그 시점을 특이점으로 판

$$OF(t_p) = \sum_{q \in Adjacent} w_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

단함으로써 이루어지며, 상기 특이점 팩터는,

에 의해 산출되며, 상기

$$w_{pq} = \frac{1/|t_p - t_q|}{\sum_{r \in Adjacent} 1/|t_p - t_r|}$$

w_{pq} 는,

인 것을 특징으로 한다.

- [0024] 상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템은, 특이점으로 판단된 시점의 데이터를 삭제하는 데이터 처리모듈을 더 포함할 수 있다.
- [0025] 반송파 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행하는 데이터 처리모듈을 더 포함하고, 상기 전리층지연오차 산출모듈은, 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하는 기능을 더 포함할 수 있다.
- [0026] 데이터 분석모듈에 의해 사이클 슬립이 발생된 것으로 판단된 경우, 상기 데이터 처리모듈은, 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행할 수 있다.
- [0027] 상기 수준화 과정은, 상기 사이클 슬립 발생 구간에서, 상기 코드 전리층지연오차값과 상기 반송파 전리층지연오차값의 차이의 평균값을 산출하고, 상기 평균값을 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에 더하거나 빼줌으로써

반송파 전리층지연오차 데이터의 수준화(leveling)을 수행함으로써 이루어질 수 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 의하면, 각 지상국의 GPS 반송파데이터의 전처리에 의한 전리층 지연오차 추정시 전처리 과정의 히스토리를 담고 있는 전처리 플래그를 기록함으로써, 기록된 전처리 플래그를 이용하여 극심한 전리층 기울기 값을 갖는 데이터가 실제 전리층 이상현상인지 아니면 수신기 고장이나 자료처리오차로부터 산출된 것인지를 판단할 수 있는 효과가 있다.
- [0029] 또한, 전리층 이상현상으로 판단된 후보들 중 실제 전리층 이상현상이 아닌 후보들을 자동화하여 제거하는 오토 스크리닝(Auto Screening)의 과정을 최대한 자동화시킴으로써, 수동으로 전리층 이상현상의 유효성을 판단하는 과정에서 가중되는 부담을 완화시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 전리층 이상현상을 모니터링하는 일련의 과정을 도시한 도면.
- 도 2는 본 발명에 따른 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터를 제공하는 방법의 순서도.
- 도 3은 본 발명에 따른 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터를 제공하는 시스템(100)의 구성을 나타내는 도면.
- 도 4는 도 1의 전리층 이상현상 모니터링 시스템으로 위협 포인트가 추가된 전리층 위협공간의 일례를 나타내는 도면.
- 도 5는 PAPT와 PIT1 지상국의 위성신호 PRN11에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면.
- 도 6은 위성신호 PRN11에 해당하는 PAPT와 PIT1 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면.
- 도 7은 GRAR와 SOWR 지상국의 위성신호 PRN 08에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면.
- 도 8은 위성신호 PRN 08에 해당하는 GRAR와 SOWR 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면.
- 도 9는 HTCC와 ZDC1 지상국의 위성신호 PRN 11에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면.
- 도 10은 위성신호 PRN 11에 해당하는 HTCC와 ZDC1 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면.
- 도 11은 도 10의 HTCC와 ZDC1 지상국간의 전리층 기울기의 수동 유효성 판단의 일례를 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 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. 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0032] 도 1은 전리층 이상현상 모니터링 시스템(300)이 전리층 이상현상을 모니터링하는 일련의 과정을 도시한 도면이다.
- [0033] GPS 데이터 관측장치(200)는 GPS 데이터를 관측하여 수집하는 장치로서, 수집된 GPS 데이터는 전처리과정(pre-processing)(31)으로 넘겨주게 된다. GPS 데이터에는 반송파 데이터 및 코드 데이터가 포함된다.
- [0034] 전리층지연오차 산출부(ionospheric delay estimation)(30)는, 전처리과정(pre-processing)(31)을 거쳐 주파수간 바이어스를 산출한 후(33), 전리층지연오차를 산출하여, 최종 산출된 전리층지연오차 데이터 및, 전처리과정에서 생성된 플래그(flag) 데이터를 전리층이상현상 감지부(50)로 넘겨주게 된다.

[0035] 전처리과정(pre-processing)을 수행하는 방법의 순서도가 도 2에 도시되어 있고, 전처리과정(pre-processing)을 수행하는 시스템의 세부 구성이 도 3에 도시되어 있으며, 그 내용에 대하여는 도 2 및 도 3을 참조하여 상세히 후술하므로, 이하에서는 전처리과정의 개략적인 설명만을 제시한다.

[0036] 전처리과정은, GPS 데이터 관측장치(200)로부터 넘겨받은 GPS 데이터, 즉 코드 데이터 및 반송파 데이터로부터, 코드 전리층지연오차 데이터 및 반송파 전리층지연오차 데이터를 산출한다. 코드 전리층지연오차 데이터는 이하

수학식 2 중,
$$I_{\rho} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma - 1}$$
에 의해 산출되는 데이터를 의미하며, 반송파 전리층지연오차 데이터는 이하 수학

식 2 중,
$$I_{\phi} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\gamma - 1}$$
에 의해 산출되는 데이터를 의미한다.

[0037] 이러한 데이터들로부터 사이클 슬립(cycle slip) 및 특이점(outlier)을 검출하고, 사이클 슬립 검출한 경우, 수 준화 과정을 통해 모호정수를 제거하게 되며, 특이점을 검출한 경우, 이를 데이터상에서 삭제하게 된다.

[0038] 또한 주파수간 바이어스(IFB, inter-frequency bias)를 산출한 후, 위에서 구한 코드 전리층지연오차 데이터(I_{ρ}) 또는 반송파 전리층지연오차 데이터(I_{ϕ}) 및 상기 IFB로부터 L1주파수 전리층지연오차 I (수학식 2 참조)를 산출한다.

[0039] 한편 이와 같은 사이클 슬립, 특이점 등의 검출과 제거 등의 특이 상황 발생을 기록한 플래그(flag) 데이터를 산출한다. 이러한 플래그 데이터와, 앞서 산출된 전리층지연오차 I 를 전리층이상현상 감지부(50)로 넘겨주게 된다.

[0040] 전리층 이상현상 감지부(50)는 전리층 지연오차 산출부(IDE)(30)에서 계산된 각 지상국의 전리층 지연오차를 사용하여 지상국간 전리층기울기를 산출하여 전리층 이상현상을 감지한다. 전리층기울기는 하기의 수학식 1과 같이 두 지상국에서 산출된 전리층 지연오차의 차이를 두 지상국 사이의 거리로 나눔으로써 산출된다.

수학식 1

$$\nabla I(t) = \frac{|I_i^k(t) - I_j^k(t)|}{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|}$$

[0041]

[0042] 산출된 전리층기울기가 극심한 값을 나타낼 때 전리층 이상현상이라 판단하며, 해당 데이터가 실제현상인지 아니면 수신기 고장이나 자료처리 오차로부터 산출된 것인지를 추후 과정에서 판단한다.

[0043] 전리층이상현상 감지부(50)가 수행하는 기능 중 '오토 스크리닝(auto screening)'이란, 전리층 이상현상으로 판단된 후보들 중 실제 전리층 이상현상이 아닌 후보들을 자동화하여 제거한다. 이러한 오토 스크리닝(Auto Screening) 모듈(51)은 네가티브 딜레이 체크(Negative Delay Check), 익세시브 바이어스 체크(Excessive Bias Check), L1 씨엠씨 체크(L1 CMC Check) 기능을 수행한다. 특히 익세시브 바이어스 체크(Excessive Bias Check)에서는 전리층 지연오차 산출부(IDE)(30)에서 산출된 플래그(flag)가 사용된다.

[0044] 네가티브 딜레이 체크(Negative Delay Check)는 극심한 전리층기울기를 나타내었을 때 두 지상국의 전리층 지연오차 중 음수값을 갖는 경우가 있을 경우 해당 데이터는 무시한다.

[0045] 익세시브 바이어스 체크(Excessive Bias Check)는 수신기 고장이 일어났을 경우 전리층 지연오차 값은 극심한 바이어스를 띄는 것으로 나타나는 경우가 있다. 그 결과 전리층기울기 또한 극심한 값을 나타내기 때문에 이러한 데이터들은 극심한 전리층 이상현상에서 제외된다. 이러한 현상을 검출하는 방법은 다음과 같다.

[0046] 1. 극심한 전리층기울기를 포함하는 연속된 아크를 선정한다.

- [0047] 2. 연속된 아크는 두 지상국의 Simple Truth 데이터에서 플래그(flag)를 추출하여 선정된다.
- [0048] 3. 도 2를 참조하여 후술되는 설명 중에서의 플래그 정의의 실시예의 경우에, 두 지상국의 플래그(flag)를 더했을 경우 10 이상인 지점이 연속된 데이터의 시작점이다.
- [0049] 4. 극심한 전리층기울기가 일어난 시각 이전 데이터 중 가장 가까운 시각의 데이터가 해당 아크의 시작점이다.
- [0050] 5. 다음 아크의 시작 시각 이전의 데이터중 플래그(flag)의 일자리수가 0인(데이터가 NaN이 아닌) 데이터 중 가장 늦은 시각의 데이터가 해당 아크의 마지막 데이터이다.
- [0051] 6. 연속된 아크에서 평균 전리층기울기 값에 대하여 모든 데이터가 사용자가 정한 범위를 넘지 않는 경우 이상 현상이 아니라고 판단한다.
- [0052] L1 씨엠씨 체크(L1 CMC Check)는 Simple Truth 데이터의 L1 CMC를 이용한 전리층기울기(gradient)와의 비교를 통한 자동화 스크리닝(screening) 과정이다. 극심한 전리층기울기가 감지된 시점을 기준으로 1.5 시간 전후의 구간에 대하여 L1 CMC 기울기와 비교한 후 150 mm/km 이상 차이가 나는 데이터 수가 5개가 넘을 때 실제 전리층 이상현상이 아닌 것으로 판단하도록 설정된다. 이때, 데이터의 질(quality)이 나쁘거나 데이터처리 오차가 클 경우 두 종류의 전리층기울기가 많은 차이를 보인다는 가정이 전제된다.
- [0053] 전리층이상현상 감지부(50)가 수행하는 기능 중 '검출된 전리층이상현상의 수동검토(manual validation)'(53)란, 검출된 전리층이상현상(극심한전리층기울기)이 실제현상인지 판단하기 위한 최종작업이다. L1 주파수는 상대적으로 사이클슬립이 일어나는 빈도가 적기 때문에, L1 단일주파수전리층기울기를 사용하여 데이터의 연속성등을 판단한 후 해당 전리층이상현상의 유효성을 판단한다. 이때 사용되는 L1 단일주파수전리층 데이터는 simple Truth data가 아닌 전처리 이전 데이터이다.
- [0054] 전리층 위협 포인트 생성(55)은 수동 유효성(Manual Validation) 수동검토(53)에 의해 실제 전리층 이상현상으로 판단된 전리층 경사도값들을 전리층 위협 포인트로 선별하여 생성하는 단계이다.
- [0055] 전리층 위협모델 구축(70)은 전리층 위협 포인트 생성(55)에 의해 생성된 전리층 위협 포인트에 기초하여 전리층 위협모델을 생성하는 단계이다.
- [0056] 도 2는 본 발명에 따른 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터를 제공하는 방법의 순서도이다.
- [0057] 이하에 기재된 각 모듈은, 도 3의 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템(100)의 구성에 도시되어 있다.
- [0058] GPS 데이터 수신모듈(120)이, GPS 데이터 관측장치(200)에서 관측된 GPS 데이터를 수신하여 데이터 저장부에 저장한다(S210). 수신한 GPS 데이터에는 코드 데이터 및 반송파 데이터가 포함되어 있다. 이와 같이 수신된 GPS 데이터의 반송파 데이터로부터, 전리층지연오차 산출모듈(130)이, 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출한다(S220).
- [0059] GPS 데이터 수신모듈(120)이 수신하는 GPS 데이터는 L1과 L2 두 개의 주파수 대역의 반송파를 사용하며, 각각의 반송파에는 코드 데이터가 포함되어 전송된다. 또한, 전리층지연오차는 주파수에 반비례하며, 반송파 데이터에는 위상 앞섬(phase advanced), 코드 데이터에는 군지연(group delay) 현상을 일으켜 다음과 같은 관측치로부터 추정될 수 있다.

수학식 2

$$I_{\rho} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma - 1} = I + \frac{c}{\gamma - 1} (IFB_i + \tau_{gd}^k) + \varepsilon_{\rho}$$

$$I_{\phi} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\gamma - 1} = I + \frac{c}{\gamma - 1} (IFB_i + \tau_{gd}^k) + \frac{N_1 - N_2}{\gamma - 1} + \varepsilon_{\phi}$$

$$I_{CMC} = \frac{\rho_1 - \phi_1}{2} = I - \frac{N_1}{2} + \varepsilon_{CMC}$$

$$\gamma = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

[0060]

[0061]

상기 수학식 2에서, 아래첨자 1과 2는 L1 신호와 L2 신호를 나타내며, ρ 와 ϕ 는 각각 코드 데이터와 반송파 데이터를 의미한다. I 는 L1 주파수 전리층 지연오차를 의미하며, IFB_i 는 i 번째 수신기의 주파수간 바이어스(IFB: inter-frequency bias)를 의미하고, τ_{gd}^k 는 k 번째 위성의 주파수간 바이어스를 의미한다. c 는 진공에서의 빛의 속도이며, ε 는 다중경로오차를 포함한 잡음을 나타낸다.

[0062]

특히, N 은 반송파 데이터에 존재하는 모호정수(ambiguity integer)를 나타내며, 사이클 슬립(cycle slip)이 발생하였을 경우 모호정수값의 변화가 일어나게 된다.

[0063]

I_{ρ} 는 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 의미하고, I_{ϕ} 는 상기 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 의미한다. 반송파 전리층지연오차 데이터는 코드 전리층지연오차 데이터에 비해 작은 다중경로오차와 열잡음오차(thermal noise error)를 포함하고 있다 ($\varepsilon_{\phi} \ll \varepsilon_{\rho}$).

[0064]

이하에서 코드 전리층지연오차 데이터는 위 수학식 2 중,
$$I_{\rho} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma - 1}$$
에 의해 산출되는 데이터를 의미하며, 반송파 전리층지연오차 데이터는 위 수학식 2 중,
$$I_{\phi} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\gamma - 1}$$
에 의해 산출되는 데이터를 의미한다. 이하에서는 이러한 I_{ϕ} 에서 사이클 슬립을 검출한 경우 수준화 과정을 통하여 모호정수를 제거하고, 또한 I_{ϕ} 에서 특이점을 검출한 경우 그 특이점을 제거한 후, 플래그에 기록하는 과정에 대하여 상세히 설명한다.

[0065]

데이터 분석모듈(140)은, 산출된 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여 특이 상황 발생여부를 파악하고, 그 분석결과에 따라 플래그 처리모듈(160)이 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황이 발생한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부(170)에 저장하게 된다 (S252, S263, S273).

[0066]

검출되는 특이 상황에는, 분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부에 대한 정보(이하 '시작점 정보'라 한다)를 포함할 수 있다. 이와 같이 호의 시작점을 검출한 경우(S251), 상기 플래그에 시작점임을 나타내는 정보를 기록한다(S252).

[0067]

검출되는 다른 특이 상황에는, 전술한 바와 같은 사이클 슬립(cycle slip) 발생을 포함할 수 있다. 이러한 사이

클 슬립의 검출(S261)은, 이하에 설명하는 바와 같이 여러가지 방법으로 이루어질 수 있다.

- [0068] 우선 하나의 방법으로는 GPS 데이터 관측장치로부터 수신된 GPS 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보로부터 사이클 슬립이 일어났음을 판단할 수 있다.
- [0069] 이 외의 방법으로는, 반송파 전리층지연오차 데이터에서, 특정 시점에 데이터의 크기가 기 설정된 기준값 이상의 급격한 상승 또는 하강(data jump)하여 상기 시점 좌우의 데이터가 계단형 곡선을 이루는 경우, 상기 특정 시점에 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단할 수 있다.
- [0070] 또는 데이터의 공백(data outage)이 발생한 경우에 사이클 슬립이 검출된 것으로 판단할 수도 있다. 이때 데이터 공백 발생 여부의 판단은, 상기 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템(100)이 직접 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 분석 과정(S230)에서 특정 시점의 데이터 공백을 감지함으로써 데이터의 공백이 있는 것으로 판단하여 사이클 슬립이 검출된 것으로 판단할 수도 있다.
- [0071] 한편, GPS 데이터 수신모듈(120)이 GPS 데이터 관측장치(200)에서 관측된 GPS 데이터를 수신하였을 때(S210), 전술한 바와 같이 수신한 GPS 데이터에는 코드 데이터 및 반송파 데이터가 포함되어 있는데, 이때 전리층지연오차 산출모듈(130)은 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 뿐 아니라, 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출할 수 있고, 이로부터 데이터 처리모듈(150)은, 반송파 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행할 수 있다(미도시).
- [0072] 이 경우, 전술한 바와 같이 데이터 분석모듈(140)에 의해 사이클 슬립이 발생된 것으로 판단된 경우에는, 데이터 처리모듈(150)은, 사이클 슬립 발생을 제거한 데이터를 산출하기 위하여 반송파 전리층지연오차 데이터에 대해 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행하게 된다(S262).
- [0073] 수준화란, 반송파 전리층지연오차 데이터에 포함된 모호정수와 관련된 항을 제거하기 위한 것으로서, 모호정수가 포함되지 않은 코드 전리층지연오차 데이터를 이용하여 수행한다. 이를 위해 전리층지연오차 산출모듈(130)은, 전술한 바와 같이 먼저 상기 수신된 GPS 데이터로부터 상기 코드 전리층지연오차 데이터를 산출하여야 한다.
- [0074] 이로부터 상기 수준화 과정은, 상기 사이클 슬립 발생 구간에서, 상기 코드 전리층지연오차값과 상기 반송파 전리층지연오차값의 차이의 평균값을 산출하고, 산출된 평균값을 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에 더하거나 빼줌으로써 반송파 전리층지연오차 데이터의 수준화(leveling)를 수행하게 된다.
- [0075] 이러한 평균값을 산출하는 식은 이하 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$L = \frac{\sum_{i=1}^N (I_{\rho}(t_i) - I_{\phi}(t_i)) \sin^2 e l_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 e l_i}$$

- [0076]
- [0077] 여기서 $e l$ 은 수신기와 위성을 잇는 선과 지표면이 이루는 각(이하 '안각'이라 한다)을 의미하며, t_i 는 특정 시점을 의미한다.
- [0078] 이후 플래그 처리모듈(160)은, 사이클 슬립(cycle slip)의 검출 여부에 대한 정보를 플래그에 기록한다(S263).
- [0079] 검출되는 또 다른 특이 상황에는, 특이점(outlier) 발생을 포함할 수 있다.
- [0080] 특이점이란 그 시점 좌우의 데이터들로부터 연속성 없이 급작스런 상승 또는 하강되어 있는 시점이다. 이러한

특이점의 검출(S271)은,

- [0081] 1) 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하고,
- [0082] 2) 상기 구간에서 다항식 적합된 값과 상기 반송파 전리층지연오차 데이터 값의 차이가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점의 차이 값이 기 설정된 기준값을 초과하는 시점을 제1 특이점 후보 시점으로 결정하고,
- [0083] 3) 상기 구간의 각 데이터 값에 대한 특이점 팩터(outlier factor)를 산출하고,
- [0084] 4) 상기 구간에서 상기 특이점 팩터가 가장 큰 시점을 도출하고, 그 시점을 제2 특이점 후보 시점으로 결정하고,
- [0085] 5) 상기 제1 특이점 후보 시점 및 상기 제2 특이점 후보 시점이 동일 시점인 경우, 그 시점을 특이점으로 판단함으로써 이루어진다.

[0086] 상기 특이점 팩터는,

수학식 4

$$OF(t_p) = \sum_{q \in Adjacent} w_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

[0088] 에 의해 산출되며, w_{pq} 는,

수학식 5

$$w_{pq} = \frac{1/|t_p - t_q|}{\sum_{r \in Adjacent} 1/|t_p - t_r|}$$

[0090] 로 정해진다. 여기서 첨자 p,q,r 등은 데이터상의 특정 시점을 의미한다.

[0091] 이와 같이 특이점을 검출한 후, 데이터 처리모듈(150)은 데이터상에서 판단된 시점의 데이터를 제거하게 된다 (S272). 이후 플래그 처리모듈(160)은, 특이점(outlier) 검출 또는 제거 여부에 대한 정보를 플래그에 기록한다 (S273).

[0092] 이하에서는 플래그에 기록하는 정보의 실시예를 설명한다.

[0093] 플래그에 기록하는 정보는 일실시예로서 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0094] 즉, 이하에서, GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템(100)이 수행하는 전처리과정(pre-processing)의 히스토리(history)를 담고 있는 플래그(flag)는 1개의 2진수와 2개의 8진수 조합으로 표현되며, 각 숫자는 10진수로 변환되어 총 세자리의 십진수로 나타낸다.

[0095] 1) conf_flag: start point of a continuous arc (세자리 중 왼쪽 십진수)

[0096] - 0 - the normal point

- [0097] - 1 - the start on an arc

- [0098] 2) slip_flag: flag for the cycle slip detection (세자리 중 가운데 십진수)
- [0099] - bit0 - data jump
- [0100] - bit1 - LLI(loss of lock indicator)
- [0101] - bit2 - data gap

- [0102] 3) out_flag: flag for the outlier removal and the "NaN" valued data (세자리 중 오른쪽 십진수)
- [0103] - bit0 - outage of data on the observation file
- [0104] - bit1 - short arc removal
- [0105] - bit2 - interpreted as an outlier

- [0106] 이와 같은 정의하에서 플래깅(Flagging)의 예를 들면 다음과 같다.
- [0107] 1. 시간에 대하여 연속된 아크의 시작점으로서, 전처리 과정에서 사이클슬립이 아니며 특이점도 아닐경우 - 100
- [0108] 2. 시간에 대하여 연속된 아크의 시작점이 아닌 데이터 중, 데이터점프로 인한 사이클슬립($2^0=1$)이 감지되었으며, 동시에 반송파데이터에 대한 공백이 감지($2^2=4$)되었을경우 - 050
- [0109] 3. 시간에 대하여 연속된 아크의 시작점이 아닌 데이터 중, LLI 정보에 의해 사이클 슬립이 감지되었을 경우 - 020
- [0110] 4. 사이클슬립이 없으며 시간에 대하여 연속된 아크의 데이터 중 아크의 시작점이 아니며 특이점으로 판단되어 제거된 경우 - 004
- [0111] 와 같이 나타낼 수 있다.

- [0112] 전리층 지연오차 산출부(30)에서 생성되는 전리층지연오차 데이터인 simple truth 데이터의 형식의 일실시예는 표 1과 같다.

표 1

Column	Description	Unit
1	Second of day	Seconds
2	PRN of a satellite	
3	Dual-frequency code-derived measurement	Meters
4	Dual-frequency carrier-derived measurement	Meters
5	Leveling uncertainty	Meters
6	Preprocess flag	
7	L1 code-minus-carrier measurement	Meters
8	Leveling uncertainty	Meters
9	Preprocess flag	
10	Elevation of a satellite	Degrees
11	Azimuth of a satellite	Degrees

[0113]

[0114] 이중주파수 반송파 전리층 지연오차(수학식 2의 I_{ϕ})를 simple truth 데이터의 대표값으로 사용할 수 있으며, 이중주파수 코드 전리층 지연오차(I_{ρ}) 및 단일주파수 전리층 지연오차(CMC, Code - Carrier, I_{CMC}) 또한 산출할 수 있다. 표 1의 실시예에서는 각 데이터별로 11개의 열(column)로 구성되어 있으며, 각각의 데이터별로 column 6에 전처리과정에서 생성한 플래그(flag)를 포함시킨다. I_{CMC} 도 L1 주파수의 반송파 정보를 포함하고 있기 때문에(수학식 2 참고), 단일주파수 추정치를 얻는 과정 역시 전처리 과정이 수행되며, 플래그(flag)가 기재된다.

[0115] 도 3은 본 발명에 따른 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터를 제공하는 시스템(100)의 구성을 나타내는 도면이다.

[0116] 앞에서, 도 2를 참조하여 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템(100)의 각 구성요소에 의한 플래그 데이터 제공방법을 이미 상세히 기술한 바 있으므로, 이하에서는 그 구성요소들의 역할을 간략히 정리하여 서술하기로 한다.

[0117] 제어부(110)는 이하 GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템(100)의 각 구성요소를 제어하여 GPS 데이터의 분석, 처리 및 플래그 산출을 위한 일련의 처리를 수행한다.

[0118] GPS 데이터 수신모듈(120)은, GPS 데이터 관측장치로부터 관측된 GPS 데이터를 수신한다. GPS 데이터에는 코드 데이터 및 반송파 데이터가 포함된다.

[0119] 전리층지연오차 산출모듈(130)은, 상기 수신된 GPS 데이터로부터, 상기 반송파 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '반송파 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출한다. 또한 필요에 따라 상기 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출할 수도 있다. 예를 들어 사이클 슬립 발생을 제거한 데이터를 산출하기 위하여 반송파 전리층지연오차 데이터에 대하여 수준화(leveling) 과정을 수행하는 경우, 상기 수신된 코드 데이터를 이용한 전리층지연오차(ionospheric delay) 데이터(이하 '코드 전리층지연오차 데이터'라 한다)를 산출하게 된다.

[0120] 데이터 분석모듈(140)은, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터를 분석하여, 상기 전리층지연오차 데이터 상에서 특이 상황 발생 여부를 체크한다. 특이 상황이란, 그 실시예로서, 분석되는 특정 시점의 데이터가, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 연속되는 호(arc)의 시작점인지 여부를 판단하거나, 상기 반송파 전리층지연오차 데

이터에서 사이클 슬립(cycle slip)을 검출하거나, 상기 반송파 전리층지연오차 데이터에서 특이점(outlier)을 검출하는 것을 말한다.

[0121] 데이터 처리모듈(150)은, 전술한 바와 같은 특이 상황 발생시 데이터에서 해당 특이 상황을 제거 처리하는 역할을 담당한다. 예를 들어 반송파 전리층지연오차 데이터에 대해 수준화 과정을 수행하거나, 데이터 상에서 특이 점을 제거하는 등의 역할을 수행한다. 특히 도 2를 참조하여 전술한 바와 같이, 사이클 슬립이 발생한 경우에는 반송파 전리층지연오차 데이터에 대해 사이클 슬립 발생 시점 이전 구간과 이후 구간을 구별하여, 각 구간에 대하여 별도의 수준화 과정을 수행하게 된다.

[0122] 플래그 처리모듈(160)은, 상기 특이 상황 발생 또는 제거시, 발생 또는 제거한 시점 정보 및, 그 시점의 특이 상황에 해당하는 정보를 플래그에 기록하여 데이터 저장부에 저장한다.

[0123] 데이터 저장부(170)는, 상기 수신된 GPS 데이터, 반송파 전리층지연오차 데이터, 코드 전리층지연오차 데이터 및, 상기 전리층지연오차 데이터의 분석 및 처리를 위한 데이터를 저장한다. 그러한 데이터에는 플래그 데이터도 포함된다.

[0124] 도 4는 도 1의 전리층 이상현상 모니터링 시스템(300)으로 위협 포인트가 추가된 전리층 위협공간의 일예를 나타내는 도면이며, 도 4는 논문(J. Lee, S. Jung, M. Kim, J. Seo, S. Pullen and S. Close, "Results from Automated Ionospheric Data Analysis for Ground-Based Augmentation Systems (GBAS)", Proceedings of the 2012 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, Newport Beach, CA, January 2012, pp. 1451-1461)에 실렸던 자료이다.

[0125] 2003년 11월 20일은 전리층폭풍일(Storm Day)로서, 전리층 이상현상이 발생했던 대표적인 날이다. 이 날의 데이터를 전리층 이상현상 모니터링 시스템(300)을 통해 처리한 결과를 상기 표 2에 나타내었다. 2003년 11월 20일 CONUS(Conterminous U.S.) 지역에서 GPS 데이터가 수집된 CORS(Continuously Operating Reference Station) 지상국은 총 368개이며, 이 지상국 중 서로 100km 이내에 있는 지상국은 274개이다. 서로 떨어져 있는 거리가 100km 이내의 지상국 쌍(pair)에 대하여 전리층기울기를 산출하여 전리층 이상현상을 감지한다. 전리층 이상현상 모니터링 시스템(300)의 자동화 알고리즘을 통해 각 지상국에 대한 GPS 관측데이터가 수집되며, 전리층 지연오차를 추정된 후 두 지상국간의 전리층기울기값을 산출한다. 이렇게 계산된 전리층기울기값 중 설정된 한계값(200 mm/km)를 넘어가는 경우 이를 전리층 이상현상의 후보라 한다. 2003년 11월 20일의 데이터를 처리한 결과, 198개가 전리층 이상현상 예비후보로 결정되었다. 이 후보들 중 실제 현상이 아닌 수신기 고장이나 자료처리 오차로 인해 산출된 경우는 자동화된 스크리닝(automated screening) 과정을 통해 제거된다. 198개의 후보 중 네가티브 딜레이 체크(negative delay check)를 통해 2개, 익세시브 바이어스 체크(excessive bias check)를 통해 56개의 후보가 제거되었고, L1 CMC check를 통해 31개의 후보들이 제거되었다. 자동화된 스크리닝(automated screening) 과정 후 남아 있는 109개의 후보들 중 전리층이상현상의 수동검토(manual validation)를 통해 58개의 경우가 실제 전리층 이상현상으로 결정되었다. 플래그(flag) 기법을 이용하는 자동화된 스크리닝(auto screening)을 통해 자동적으로 잘못된 후보를 걸러냄으로써 수동 유효성 판단(manual validation)의 부담을 감소시켰으며, 마지막 전리층이상현상의 수동검토(manual validation) 과정을 제외한 나머지 일련의 과정들이 자동적으로 처리됨으로써 모든 작업을 직접 눈으로 했던 이전과는 달리 많은 노력과 시간이 단축된다. 또한 전리층이상현상의 수동검토(manual validation) 과정에서도 도 2를 참조하여 전술한 바와 같은 전처리 과정에서 기록된 플래그(flag)를 통하여 연속된 구간의 시작점을 그림에 표시함으로써 육안으로 연속된 구간을 좀 더 쉽게 구분할 수 있다. 전술한 전리층 폭풍일(storm day)는 이례적인 날(anomalous day)이라고도 하며, 극심한 전리층기울기(ionospheric gradient) 혹은 이상현상(ionospheric anomaly)이 발견된 날을 의미한다.

[0126] 기존의 전리층 이상현상 검출작업 및 연구는 CAT-I GBAS(Ground-Based Augmentation System) 전리층 위협모델 구축을 위한 작업이었으며, 위협모델을 도식화한 것이 전리층 위협공간(threat space)이다. 본 발명에서는 위협공간 중에 전리층기울기와 연관된 위협공간과 관련되어 있는 작업으로서 그 결과가 도 2와 같다. 기존연구에서 고려한 총 10개의 날에 대한 자료처리를 수행하였으며, 97개의 전리층 위협현상(도 2에서 ◆로 표시된 점)이 새로 발견되었다. 전리층 위협공간은 전리층기울기, 위성의 고도, 전리층 프론트(front)의 속력으로 구성되어 있는 3차원 공간이며, 2차원 평면으로 나눌 경우 기울기-고도 평면과 속도-기울기 평면 등 두 개의 평면으로 구분된다.

[0127] 이하에서는 첨부된 도 5 및 도 6을 참조하여, 실제 전리층 이상현상(True Ionospheric Anomaly)에 대해 살펴보기로 한다.

[0128] 도 5는 PAPT와 PIT1 지상국의 위성신호 PRN11에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면이고, 도 6은 위성신호 PRN11에 해당하는 PAPT와 PIT1 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면이다.

[0129] 실제 전리층 이상현상이라 판단된 후보의 전리층 지연량과 지상국간 전리층 기울기를 도 5와 도 6에 나타내었다. 도 5는 PAPT와 PIT1 지상국의 위성신호 PRN11에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면이고, 도 6은 위성신호 PRN11에 해당하는 PAPT와 PIT1 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면이다. 도 6은 2003년 11월 20일날 미국 CONUS 지역의 두 지상국 PAPT와 PIT1에 수집된 데이터를 이용하였으며, 위성신호 PRN 11에 해당하는 지상국간 전리층기울기를 나타내고 있다. 도 5는 도 6의 지상국간 전리층기울기를 산출하기 위해 사용된 각 지상국의 전리층 지연오차를 나타내며, 이 전리층 지연오차는 전술한 바와 같이 전리층 이상현상 모니터링 시스템(300)의 전리층지연오차 산출부(30)에서 계산된다.

[0130] 실제 전리층 이상현상은 전리층 선형으로 증가 및 감소하는 경향을 나타낸다. 전리층이상현상 감지부(50)에서는 전리층 지연오차 산출부(30)에서 계산된 데이터의 플래그(flag)를 확인해 봄으로써 해당 데이터가 실제 전리층 이상현상인지 아닌지를 판단할 수 있다. 플래그(flag)가 10 이상인 데이터를 빨간색 + 와 ×으로 도 4에 표시하였으며, + 는 PAPT 지상국 데이터의 플래그(flag)가 10 이상인 것을 표시하고 있으며, ×는 PIT1 지상국 데이터에서 10 이상인 플래그(flag)를 표시하고 있다. 하기의 표 2는 PAPT 지상국의 simple truth data 값 중 1-6열과 10-11열을 나타낸다.

[0131] 도 6의 ①과 표 2의 ①은 시간 18.59167 hour of day에 기록된 같은 데이터를 나타낸다. 데이터①의 플래그(flag)를 확인해 보면 100으로 전술한 바와 같이 아크의 시작점임을 나타내고 있다. 시작점 ① 이후 데이터들의 플래그(flag)가 모두 0임으로 사이클 슬립과 특이점이 발생하지 않았다. 따라서 이 경우에는 수신기 고장이나 자료처리오차로부터 발생한 잘못된 데이터가 아닌 실제 전리층 이상현상임을 알 수 있다.

표 2

Hour of day	PRN of a satellite	Dual-frequency code-derived measurement	Dual-frequency carrier-derived measurement	Leveling uncertainty	Preprocess flag	Elevation of a satellite	Azimuth of a satellite
18.58333	11	NaN	NaN	0	1	10.12767	163.9462
① 18.59167	11	40.08570681	43.36459	0.042309	100	10.30436	163.8409
18.6	11	40.43813275	43.15333	0.042309	0	10.4814	163.7357
18.60833	11	40.96522592	42.96904	0.042309	0	10.65878	163.6304
18.61667	11	41.07651832	42.80157	0.042309	0	10.83651	163.5252
18.625	11	41.22954537	42.57963	0.042309	0	11.01458	163.42
18.63333	11	41.23572828	42.41834	0.042309	0	11.19298	163.3148
18.64167	11	41.10434142	42.27052	0.042309	0	11.37172	163.2096
18.65	11	40.97295456	42.10505	0.042309	0	11.5508	163.1043
18.65833	11	40.85393352	41.9719	0.042309	0	11.73021	162.9991
23.58333	11	5.078064046	6.166523	0.042309	0	10.31746	52.5652
23.59167	11	4.824564692	6.255839	0.042309	0	10.1356	52.61463

[0132] 표 2에서 데이터 간 시간간격은 30[sec]이며, 두 지상국 데이터 중 한 개의 지상국에 대한 데이터만 기재하였다.

[0134] 도 6에 나타난 바와 같이, 전리층 기울기(slope) 값이 200을 초과하면 극심한 전리층 기울기를 나타낸다. 즉, 도 6에 나타난 아크는 전리층 기울기(slope) 값이 200을 포함하면서 전리층 기울기(slope) 값이 일정하지 않으므로, 실제 전리층 이상현상이다.

[0135] 이하에서는 첨부된 도 7 및 도 8을 참조하여, 잘못된 전리층 이상현상(Faulty Ionospheric Anomaly)에 대해 살

퍼보기로 한다.

[0136] 도 7은 GRAR와 SOWR 지상국의 위성신호 PRN 08에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면이고, 도 8은 위성신호 PRN 08에 해당하는 GRAR와 SOWR 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면이다.

[0137] 실제 전리층 이상현상은 전술한 도 6에서 확인할 수 있듯이, 전리층기울기가 선형으로 증가하거나 감소하는 경향을 나타낸다.

[0138] 전술한 오토 스크리닝(auto screening) 과정을 통해 실제 이상현상이 아닌 것으로 판단되어 제거된 전리층 이상현상 후보의 전리층 지연오차량과 기울기를 도 7과 도 8에 나타내었다. 도 8은 2003년 11월 20일, 미국 CONUS 지역의 두 지상국 GRAR와 SOWR에 기록된 데이터를 이용하였으며, 위성신호 PRN 8에 해당하는 지상국 간 전리층 기울기를 나타내고 있다. 도 8의 회색원으로 표시된 부분이 전리층기울기가 극심한 값이라 판단된 부분이다. 도 8과 표 3의 ① 부분 데이터를 확인해 보면 42의 플래그(flag)가 기록되어 있다. 이 플래그(flag)는 데이터가 앞선 시간의 데이터가 비어 있어 '데이터 갭(data gap)'으로 판단된 사이클 슬립이며(이전 데이터의 플래그(flag)가 1인 것으로 보아 데이터의 공백이 일어났음을 알수 있다), 또한 '소아크(short arc)'로 판단되었다는 것을 알려주고 있다.

표 3

Hour of day	PRN of a satellite	Dual-frequency code-derived measurement	Dual-frequency carrier-derived measurement	Leveling uncertainty	Preprocess flag	Elevation of a satellite	Azimuth of a satellite
17.725	8	NaN	NaN	0	1	10.63395	296.4421
17.73333	8	NaN	NaN	0	1	10.80689	296.552
17.74167	8	NaN	NaN	0	1	10.98009	296.6616
17.75	8	4.555418244	4.10172	0.004763	100	11.15355	296.7709
17.75833	8	4.9928592	4.00304	0.004763	0	11.32726	296.8799
17.76667	8	4.750179936	4.315286	0.004763	0	11.50122	296.9886
21.18333	8	NaN	NaN	0	1	64.09755	201.9348
① 21.19167	8	9.898999172	NaN	0	42	63.87167	201.6341
② 21.2	8	8.42128342	8.76827	0.006436	20	63.64492	201.3393
21.20833	8	8.102863496	8.132687	0.006436	0	63.41732	201.0503
21.21667	8	7.483026656	7.53277	0.006436	0	63.18891	200.7669
21.41667	8	5.853829573	5.964933	0.006436	0	57.52059	195.3621
21.425	8	6.2278957	6.349112	0.006436	0	57.27869	195.1846
21.44167	8	6.405654398	NaN	0.006436	6	56.79392	194.839
21.45	8	6.787449156	NaN	0.006436	6	56.55109	194.6706
21.45833	8	NaN	NaN	0	1	56.30798	194.5052
③ 21.46667	8	7.271261947	NaN	0	42	56.06459	194.3426
21.475	8	NaN	NaN	0	1	55.82095	194.1828
21.48333	8	8.326994024	8.639777	0.010583	50	55.57706	194.0257

[0139]

[0140] 시간순으로 표 3의 ① 다음의 데이터인 ②의 경우 20의 플래그(flag)를 가지고 있고, 이는 LLI 정보에 의해 사이클슬립이 감지되었다는 것을 나타내고 있다. 또한, 표 3의 ③의 경우 42의 플래그(flag) 값을 가지고 있다. 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)에서는 10 이상인 플래그(flag)를 기준으로 아크를 구분함으로 ②부터 ③까지의 데이터를 하나로 이어진 아크로 구분하게 된다. 극심한 전리층기울기값을 가지고 있는 아크(②~③)의 전리층기울기값을 확인해 봤을 때, 도 6과 같이 아크(②~③) 전반적으로 변화가 거의 없다면, 즉 아크(②부터③ 이전까지)의 전리층기울기 평균값과 각각 포인트들의 전리층기울기값이 차이가 거의 없다면, 이는 수신기 고장이나 자료처리오차로 인해 전리층 이상현상이라고 잘못 판단된 경우이며, 이 전리층 이상현상 후보는 오토 스크리닝(auto screening) 과정을 통해 제거된다.

[0141] 전술한 바와 같이, 오토 스크리닝(auto screening) 과정을 거쳐서 검출된 전리층 이상현상이 실제 현상인지를 판단하기 위해 수동 유효성 판단(manual validation) 작업을 한다. 수동 유효성 판단(manual validation) 작업에서도 simple truth 데이터의 플래그(flag)는 실제 전리층 이상현상 검출에 중요한 역할을 담당한다.

[0142] 도 9는 HTCC와 ZDC1 지상국의 위성신호 PRN 11에 대한 전리층 지연오차를 나타내는 도면이고, 도 10은 위성신호

PRN 11에 해당하는 HTCC와 ZDC1 지상국간의 전리층 기울기를 나타내는 도면이다..

[0143] 도 9와 도 10은 오토 스크리닝(auto screening) 과정에서도 제거되지 않은 후보들 중, 수동 유효성 판단(manual validation)을 거쳐 실제 이상현상으로 판단된 도면 중 하나로서(이 후보의 경우 이중주파수반송파값(I_{ϕ})이 아닌 단일주파수값(I_{CMC})을 사용하여 최종 유효성 판단된 경우이다.), 2003년 11월 23일의 CONUS 지역의 지상국 HTCC와 ZDC1에 대한 도면이다. 도 10의 ① 데이터는 표 5 ①에 나타나 있으며, 플래그(flag)는 10으로 '데이터 점프(data jump)'로 인한 사이클슬립이 감지되었다는 것을 나타내고 있다. 도 8 ②의 플래그(flag)는 50으로 표시되어 있고, 이는 데이터에 '데이터 갭(data gap)'과 '데이터 점프(data jump)' 현상이 일어났음을 나타내고 있다.

[0144] 도 11은 도 10의 HTCC와 ZDC1 지상국간의 전리층 기울기의 수동 유효성 판단의 일예를 나타내는 도면이다.

[0145] 앞서 설명했던 것과 같이 ①부터 ② 데이터까지를 하나의 연속된 아크로 구분하게 되며, 이 아크는 극심한 전리층 기울기 값을 가지고 있다. 또한, 아크(①-②)의 전반적인 기울기값의 변화가 크기 때문에 앞서 설명한 익세시브 바이어스 체크(excessive bias check)에서도 실제 전리층 이상현상으로 판단하였다. 그러나 도 11에서 확인할 수 있듯이, 이 후보는 단일주파수 전리층 지연오차인 I_{CMC} 를 이용한 전리층기울기와의 비교(manual validation)시, 해당 아크에서 불일치하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 전술한 레벨링(leveling) 과정에서 발생한 오차로 인한 결과이다. 비록 I_{CMC} 와의 비교분석을 통해 해당 후보가 실제 현상이 아닌 것으로 확인되었지만, 도 9에서 해당 아크 이외의 아크에서 두 전리층기울기가 정확히 일치하기 때문에 이러한 경우는 실제 전리층 이상현상으로 판단하며, 대표 전리층기울기값은 I_{CMC} 로 결정하게 된다.

[0146] 이하에서는 다른 애플리케이션(application)의 예에 대해 설명하기로 한다.

[0147] 1. 전리층 충전자수(TEC) 지도

[0148] GPS 신호의 전리층 지연오차는 전리층 충전자수(TEC, Total Electron Contents)에 비례하며, 그 관계는 하기의 수학적 식 6과 같다.

수학적 식 6

$$I = I_1 = \frac{40.3}{f_1^2} \int N_e dl = \frac{40.3}{f_1^2} \text{TEC}$$

[0149]

[0150] 따라서 추정된 전리층 지연오차는 전리층의 충전자수(TEC)로 환산될 수 있으며, 전리층 TEC 지도를 그리는데 활용될 수 있다. 그러나 극심한 오차를 갖는 데이터들이 포함될 경우 실제 전리층 이상현상이 아님에도 불구하고 TEC 지도에 반영되어 전리층 이상현상으로 나타날 수 있다. 이를 방지하기 위해 다음과 같은 두가지 방법을 통해 플래그(flag) 데이터를 활용할 수 있다.

[0151] - 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)에서 제외된 데이터의 지상국을 제거(이미 플래그(flag)가 사용된 결과를 활용하는 경우).

[0152] - 각 지상국 데이터의 허용 사이클슬립 수와 유효데이터(NaN이 아닌: 플래그(flag)의 첫자리가 0인 경우)를 설정하여 많은 오차를 야기할 것으로 추정되는 지상국 제거.

[0153] 2. 고정밀 GPS 자료처리

[0154] 고정밀 GPS 자료처리에는 GPS 상시관측소(지상국)의 정밀좌표계산, GPS 위성의 정밀궤도결정, GPS 위성과 수신

기의 정밀시계오차 산출, 대류층 지연오차추정 및 지구회전계수(ERP, Earth Rotation Parameter) 추정이 포함된다. 고정밀 GPS 자료처리시에 요구되는 지상국 위치정밀도와 GPS 위성의 궤도정밀도는 수 cm 미만으로, 반드시 반송파데이터를 사용해야 하며, 이에 따라 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)과 같이 전처리 과정이 반드시 수반되어야 한다. 단, 고정밀 GPS 자료처리시에는 전리층 지연오차 추정을 위한 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)이 상기 수학적 식 4의 관측치를 사용한 것과 다르게 하기의 수학적 식 7와 같이 전리층 오차항이 제거된 전리층 자유 결합(Ionosphere Free Combination) 관측치를 사용한다.

수학적 식 7

$$\left(\phi_1 - \frac{f_2}{f_1} \phi_2 \right) \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = \alpha f_1 + \left(N_1 - \frac{f_2}{f_1} N_2 \right) \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}$$

[0155]

[0156]

상기 수학적 식 7에서 알 수 있듯이, 전리층 자유 결합(Ionosphere Free Combination)을 활용한다 하더라도 모호정수항(N)이 존재하기 때문에 사이클슬립 감지, 특이점 제거 및 모호정수 해결을 위한 전처리 과정이 수반되어야 한다. 따라서, 전처리과정에서 플래그(flag)를 함으로써 사이클슬립 복원의 효율성을 높이고 추후 각종 파라미터(parameter) 추정 과정에서의 정확도를 높일 수 있다. 또한 플래그(flag) 정보를 이용하여 일부 데이터 혹은 지상국을 삭제함으로써 파라미터(parameter) 추정에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다.

[0157]

3. 실시간 정밀측위(RTK: Real Time Kinematic)

[0158]

실시간 정밀측위(RTK: Real Time Kinematic)는 사용자와 지상국에서 수집한 코드 및 반송파 데이터를 이용하여 수 cm 수준의 정밀측위를 가능하게 하는 기법이다. 기본적으로 RTK는 반송파를 기반으로 하기 때문에 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)과 같은 전처리 과정이 반드시 수반되어야 한다. 또한, 이중차분(double difference) 기법을 사용하여 대부분의 신호오차를 제거할 수 있으나 이중차분 이후에도 남아 있는 모호정수항(N)에 대한 해를 정확하게 결정하는 것이 정밀측위의 관건이다. 따라서 전처리 과정에서의 플래깅(flagging) 기법을 사용하여 사이클슬립 감지 및 복원성능을 높이고 모호정수 해결을 위한 처리속도를 개선한다. 특히, 후처리(post-processing)의 시간적 여유가 큰 측량 및 측지 분야에서는 데이터에 대한 엄격한 전처리 과정을 거친다면 수 mm 수준의 측위가 가능하다.

[0159]

- 플래깅(Flagging) 결과를 활용하여 사이클슬립을 효과적으로 감지하고 복원.

[0160]

- 특이점 및 복원 불가능한 사이클슬립 등으로 인한 오차를 포함하는 위성을 측정치에서 제거하여 모호정수 및 항법해의 정확도 향상.

[0161]

4. GPS 데이터 품질 확인 소프트웨어

[0162]

전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)의 전처리기법과 플래그(flag)는 GPS 데이터의 일반적인 데이터 품질 확인 소프트웨어로의 적용이 가능하다. 기존 GPS 데이터 품질 확인 소프트웨어는 데이터에 존재하는 사이클슬립의 개수를 제공하여 주지만, 실제 사이클슬립이 일어난 시점 등의 세부정보는 제공하여 주고 있지 않는다. 이에 따라, 데이터품질 확인 소프트웨어의 출력(output)으로 각 데이터들의 플래그(flag)를 제공함으로써 데이터 품질을 확인하고자 하는 사용자에게 사이클슬립 개수, 데이터 공백(data outage)의 개수 및 소아크(short arc)의 개수 등 더 세밀한 정보를 제공해 줄 수 있으며, 사용자가 직접 출력 파일(output file)로부터 원하는 정보를 산출할 수 있다.

[0163]

현재 전리층 이상현상 모니터링 시스템(LTIAM)의 전처리의 경우 소아크(duration이 5분 미만으로 설정)의 데이터는 레벨링(Leveling) 과정에서 많은 오차를 야기하여 결국 잘못된 전리층 이상현상(faulty ionospheric anomaly)으로 해석됨에 따라 "NaN"으로 삭제하고 처리하고 있으나, 사용자의 데이터 처리목적에 따라 해당 데이터들을 삭제하지 않고 남겨둘 경우도 고려할 수 있다.

[0164]

이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않

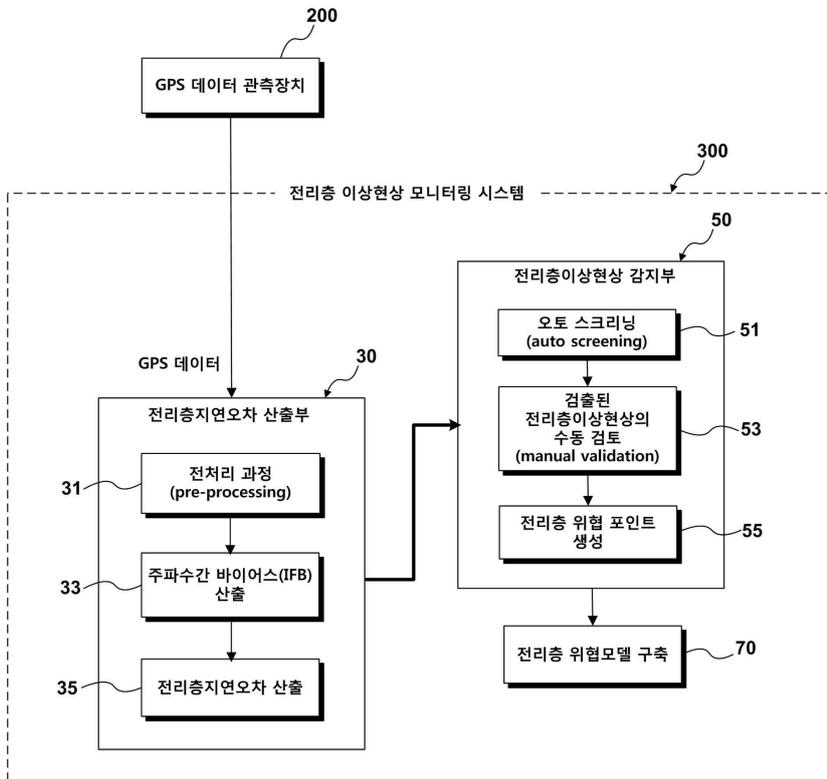
으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허 청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

부호의 설명

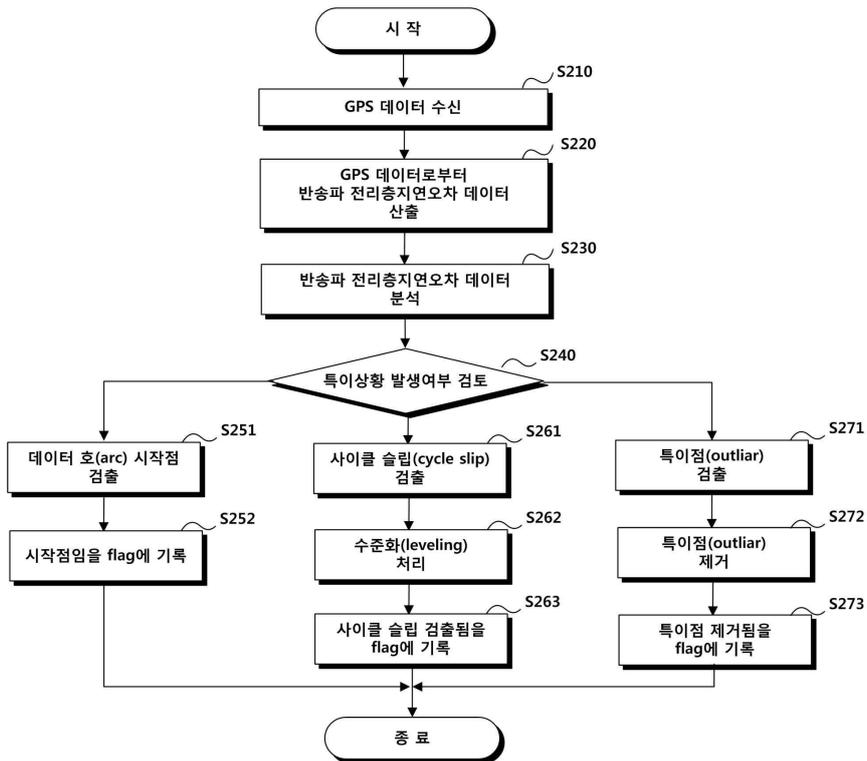
- [0165] 100 : GPS 데이터 분석에 의한 플래그 데이터 제공 시스템
- 200 : GPS 데이터 관측장치
- 300 : 전리층이상현상 모니터링 시스템
- 30 : 전리층지연오차 산출부
- 50 : 전리층이상현상 감지부
- 70 : 전리층위협모델 생성부

도면

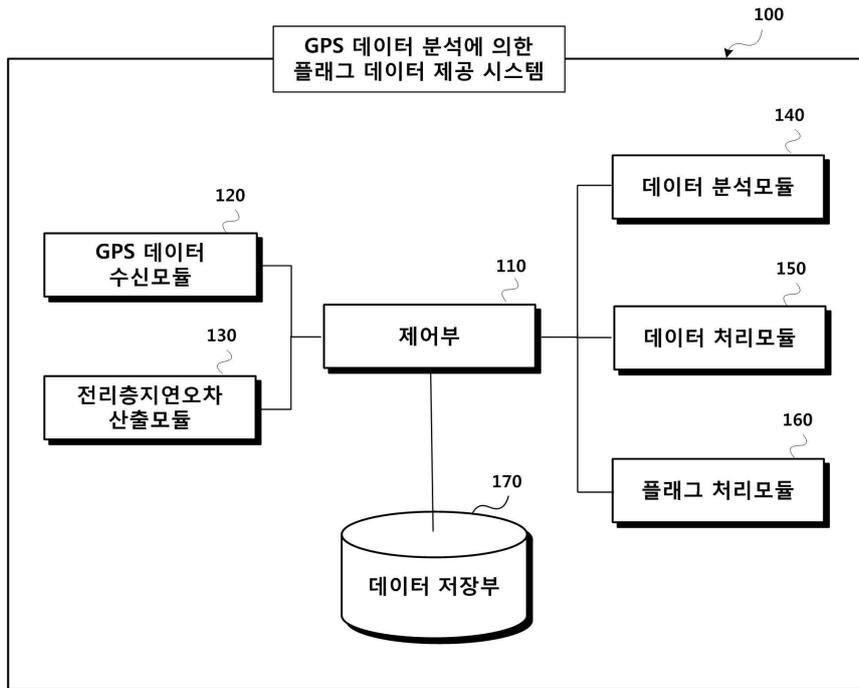
도면1



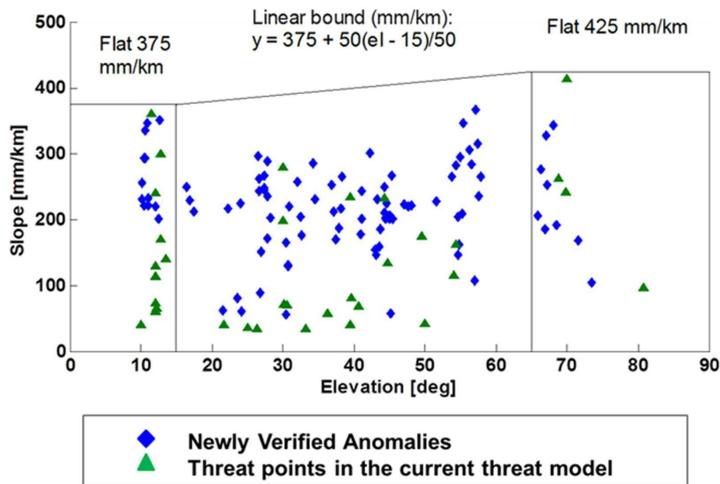
도면2



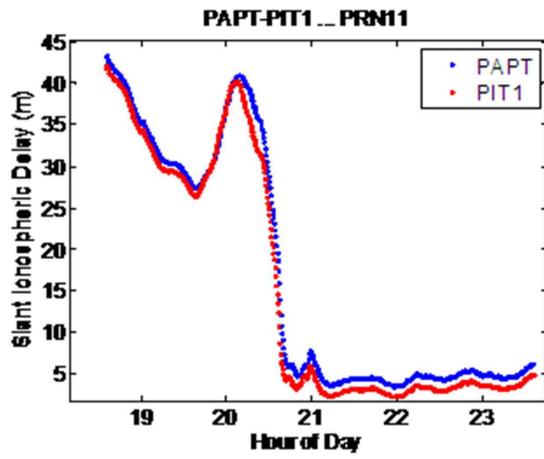
도면3



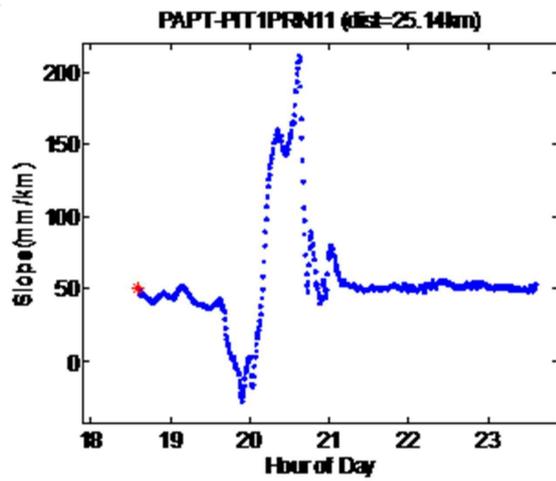
도면4



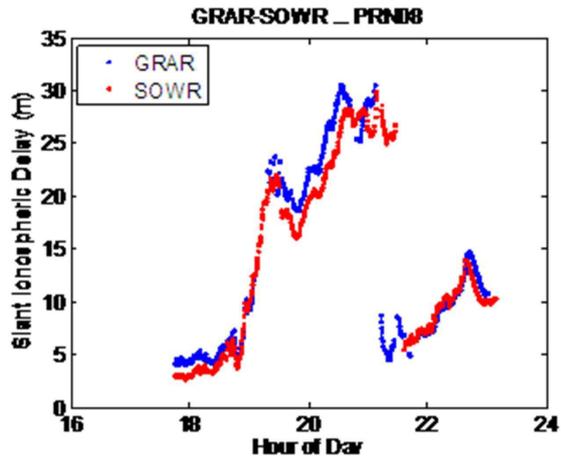
도면5



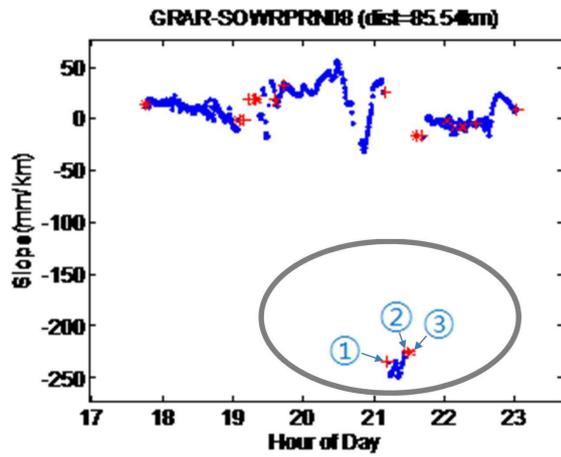
도면6



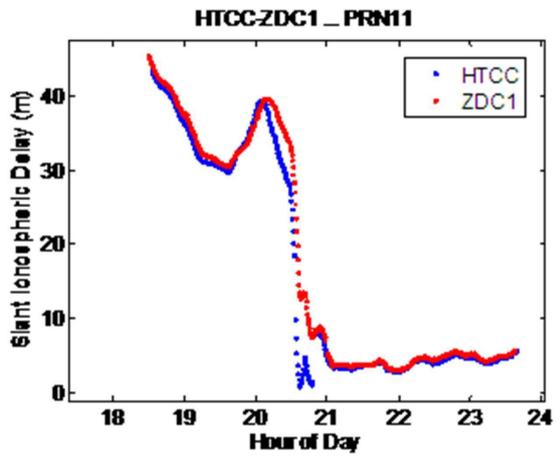
도면7



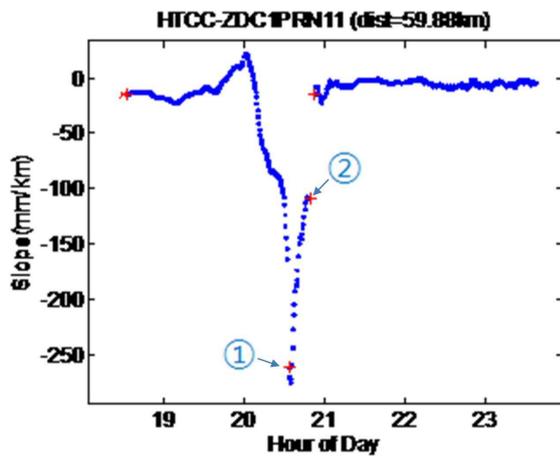
도면8



도면9



도면10



도면11

