



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년08월27일
 (11) 등록번호 10-1433908
 (24) 등록일자 2014년08월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01S 19/22 (2010.01) G01S 19/20 (2010.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0113559
 (22) 출원일자 2013년09월24일
 심사청구일자 2013년09월24일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2010210436 A
 KR101152399 B1
 KR101218354 B1
 KR101212119 B1

(73) 특허권자
 한국과학기술원
 대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
 (72) 발명자
 이지윤
 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
 (74) 대리인
 장수현

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 변영석

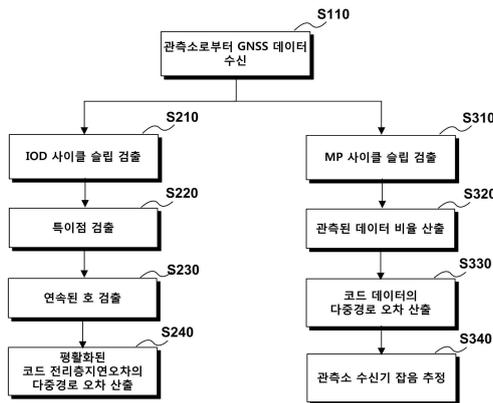
(54) 발명의 명칭 GNSS 데이터 품질 평가 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질 평가 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 각 지상국의 GNSS 데이터의 반송파 사이클 슬립(cycle slip)의 개수, 특이점(outlier)의 개수, 짧은 호의 개수, 수신기 잡음, 코드와 평활화(smoothing) 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 량 및 관측된 데이터의 비율 등 종합적인 품질 정보를 제공함으로써 각 지상국의 GNSS 데이터 품질을 평가할 수 있도록 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법 및 시스템에 관한 것이다.

본 발명에 의하면, 각 지상국의 GNSS 데이터의 데이터의 반송파 사이클 슬립(cycle slip)의 개수, 특이점(outlier)의 개수, 짧은 호의 개수, 수신기 잡음, 코드와 평활화(smoothing)된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 량 및 관측된 데이터의 비율 등 종합적인 품질 정보를 제공함으로써 각 지상국의 GNSS 데이터 품질을 평가할 수 있도록 한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

GNSS 데이터 품질 평가 시스템이 각 지상국의 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질을 평가하는 방법으로서,

- (a) 지상국으로부터 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 수신하는 단계;
 - (b) 수신한 GNSS 데이터로부터, 전리층 지연오차의 변화량(IOD)을 이용한 사이클 슬립(cycle slip)(이하 'IOD 사이클 슬립'라 한다)을 검출하는 단계;
 - (c) 수신한 GNSS 데이터로부터, 특이점(outlier)을 검출하는 단계;
 - (d) 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이하인 데이터 구간(이하 '짧은 호(short arc)'라 한다)를 검출하는 단계; 및
 - (e) 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이상인 데이터 구간(이하 '긴 호(long arc)'라 한다)에 대하여, 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 단계
- 를 포함하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 단계(b)의 IOD 사이클 슬립 검출은,
 IOD가 기 설정된 슬립 한계값을 넘거나,
 상기 단계(a)에서 수신한 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보에 신호 농침이 표시되거나,
 코드와 반송파 데이터 모두에서 데이터 공백(data gap)이 존재하는 경우,
 IOD 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단하는 것
 을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,
 상기 단계(b)의 IOD 사이클 슬립 검출은,
 명백한 사이클 슬립(apparent cycle slip)을 검출하기 위하여,
 일정 길이 이상이 되는 IOD를 검출한 후, 그 앞뒤 일정 시간 이내의 데이터를 확인하여 주위 IOD가 상기 일정 길이를 넘지 않는 경우, 그 점을 사이클 슬립으로 판단하는 것
 을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,
 상기 단계(e)는,
 (e1) 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 코드 전리층 지연오차의 평활화(smoothing)된 데이터를 산출하는 단계;
 (e2) 상기 평활화된 코드 전리층 지연오차와 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 선형결합 항을 산출하는 단계; 및
 (e3) 상기 선형결합 항에서 모호정수 결합 항을 제거한 후 남은 데이터의 RMS(root mean square)를 구함으로써

평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 코드 전리층 지연오차의 평활화(smoothing)된 데이터($I_{\rho_smoothed}$)는,

$$I_{\rho_smoothed}(t_i) = \frac{1}{N_i} I_{\rho}(t_i) + \frac{(N_i - 1)}{N_i} \left[I_{\rho}(t_i) + (I_{\phi}(t_i) - I_{\phi}(t_{i-1})) \right] = I + M_{\rho_smoothed} + \varepsilon_{\rho}$$

에 의해 결정되고,

여기서 필터의 길이 N_i 는,

$$N_i = \tau_s / T_s$$

와 같이 나타내어지며, τ_s 는 시간상수, T_s 는 데이터 비율, t 는 시간,

I_{ρ} 는 코드 전리층 지연오차, I_{ϕ} 는 반송파 전리층 지연오차,

$M_{\rho_smoothed}$ 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차, ε_{ρ} 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 수신기 잡음을 나타내는 것

을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 선형결합 항은,

$$MP_{smoothed} = I_{\rho_smoothed} - I_{\phi} = M_{\rho_smoothed} + \frac{N_{i2} - N_{i1}}{\gamma - 1} + \frac{m_{i2} - m_{i1}}{\gamma - 1} + \varepsilon_{\rho} + \varepsilon_{\phi}$$

에 의해 결정되고,

$\frac{N_{i2} - N_{i1}}{\gamma - 1}$ 는 모호정수 결합 항, $\frac{m_{i2} - m_{i1}}{\gamma - 1}$ 는 반송파 다중경로오차의 결합 항, ε_{ρ} 는 평활화된 코드 전

리층 지연오차의 수신기 잡음, ε_{ϕ} 는 반송파 전리층 지연오차의 수신기 잡음인 것

을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 단계(a) 이후,

(f) 수신한 GNSS 데이터로부터, MP(multipath) 사이클 슬립의 개수, 관측된 데이터의 비율 및 코드 데이터의 다중경로 오차를 추정하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 8

청구항 7 있어서,

상기 단계(f) 이후,

(g) 연속된 두 날짜(2 days)의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용하여 지상국의 수신기 잡음을 추정하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법.

청구항 9

각 지상국의 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질을 평가하는 시스템으로서,

지상국으로부터 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 수신하는 GNSS 데이터 수신모듈;

수신한 GNSS 데이터로부터, 전리층 지연오차의 변화량(IOD)을 이용한 사이클 슬립(cycle slip)(이하 'IOD 사이클 슬립'라 한다)을 검출하는 IOD 사이클 슬립 검출모듈;

수신한 GNSS 데이터로부터, 특이점(outlier)을 검출하는 특이점 검출모듈;

전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이하인 데이터 구간(이하 '짧은 호(short arc)'라 한다) 및, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이상인 데이터 구간(이하 '긴 호(long arc)'라 한다)을 검출하는 연속된 호(continuous arc) 검출모듈;

상기 긴 호에 대하여, 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 추정모듈; 및

GNSS 데이터 품질 평가 시스템의 상기 각 모듈을 제어하여 GNSS 데이터 품질 평가와 관련된 일련의 처리를 수행하는 제어부

를 포함하는 GNSS 데이터 품질 평가 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

수신한 GNSS 데이터로부터, MP(multipath) 사이클 슬립의 개수를 산출하는 MP 사이클 슬립 개수 산출모듈;

관측된 데이터의 비율을 산출하는 데이터 비율 산출모듈; 및,

코드 데이터의 다중경로 오차를 추정하는 코드 데이터 다중경로 오차 추정모듈

을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 시스템.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

연속된 두 날짜(2 days)의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용하여 지상국의 수신기 잡음을 추정하는 수신기 잡음 추정모듈

을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS 데이터 품질 평가 시스템.

명세서

기술분야

본 발명은 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질 평가 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 각 지상국의 GNSS 데이터의 반송파 사이클 슬립(cycle slip)의 개수, 특이점(outlier)의 개수,

[0001]

짧은 호(short arc)의 개수, 수신기 잡음, 코드 관측치의 다중경로 오차 량, 평활화(smoothing)된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 량 및 관측된 데이터의 비율 등 종합적인 품질 정보를 제공함으로써 각 지상국의 GNSS 데이터 품질을 평가할 수 있도록 하는 GNSS 데이터 품질 평가 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 지상기반 보강시스템(GBAS: Ground Augmentation System)은 사용자에게 GNSS 오차 보정정보와 무결성 정보를 사용자에게 제공함으로써 항공기의 정밀 공항 접근과 자동 착륙을 위해 개발된 시스템이다. 시스템의 운영 중에 극심한 전리층 폭풍이 발생하였을 경우 전리층 지연 값이 급변하게 되고 보강시스템 사용자가 이러한 전리층 이상현상이 발생했을 때의 보정정보를 사용할 경우, 사용자의 위치 추정치 정확도는 크게 저하된다.
- [0003] 전리층 위협모델의 범주에 속하는 전리층 이상현상이 지상 모니터링을 통해 적시에 감지 및 경보되지 못한다면 사용자는 큰 위험에 처할 수 있다. 앞으로 다음 태양극대기(2013년 - 2015년)가 다가옴에 따라 지속적인 전리층 분석을 통해 현재 개발된 위협모델의 검증이 필요하며, 전 세계의 안전한 GNSS 보강시스템 운용을 위해 전 지구적, 지역적 전리층 위협모델을 개발해야 한다.
- [0004] GNSS 보강시스템의 전리층 분석 및 위협모델 개발은 GNSS 관측 데이터를 기반으로 하기 때문에 각 관측소의 데이터 품질은 전체 시스템의 성능에 영향을 미친다. 따라서 전리층 분석에 앞서서 지상국들의 품질을 평가하여 품질이 떨어지는 데이터를 미리 제거한다면 개발될 위협모델의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다. 그러므로 각 지상국 GNSS 데이터의 품질을 평가하고 품질정보를 제공하는 기술이 개발되어야 한다.
- [0005] 위와 같이 GNSS 데이터의 품질을 평가하기 위해 널리 사용되는 프로그램으로 UNAVCO(University Navstar Consortium)에서 개발한 TEQC(Translation, Editing, and Quality Check) 소프트웨어가 있다. TEQC 소프트웨어에서는 GNSS 코드와 반송파 관측치 데이터를 이용하여 사이클 슬립을 검출한다. GNSS 코드(P_{L1}, P_{L2})와 반송파(ϕ_{L1}, ϕ_{L2}) 데이터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0006]
$$\rho_{L1} = r_i^k + I_i^k + M_{L1} + \varepsilon_{\rho 1}$$

수학식 2

[0007]
$$\rho_{L2} = r_i^k + \gamma I_i^k + M_{L2} + \varepsilon_{\rho 2}$$

수학식 3

[0008]
$$\phi_{L1} = r_i^k - I_i^k + N_{L1} + m_{L1} + \varepsilon_{\phi 1}$$

수학식 4

[0009]
$$\phi_{L2} = r_i^k - \gamma I_i^k + N_{L2} + m_{L2} + \varepsilon_{\phi 2}$$

수학식 5

$$\gamma = \frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}$$

[0010]

r_i^k 은 k번째 위성과 i번째 수신기의 실제 거리, 대류층 지연 오차, 수신기 시계 오차 및 위성시계 오차의 합을 나타낸다. I 는 전리층 지연 오차, M_i 는 코드의 다중경로 오차, m_i 는 반송파의 다중경로 오차를 나타낸다. 반

[0011]

송파 측정치는 모호정수 M_i 를 포함하고 있으나, 코드 측정치보다 작은 잡음을 가지고 있다($\varepsilon_\phi \ll \varepsilon_p$). 이중 주파수 반송파 관측치를 이용하여 다음 식과 같이 반송파 데이터를 이용한 전리층 지연 오차(반송파 전리층 지연 오차) I_ϕ 와 전리층 지연오차의 시간 변화량 IOD를 산출할 수 있다. TEQC에서는 IOD가 분당 400cm를 넘어가면 사이클 슬립이라 판단하여 검출한다. IOD를 이용하여 검출한 사이클 슬립을 IOD 사이클 슬립이라 한다.

수학식 6

$$I_\phi = \frac{\phi_{L1} - \phi_{L2}}{\gamma - 1} = I + \frac{N_{L1} - N_{L2}}{\gamma - 1} + \frac{m_{L1} - m_{L2}}{\gamma - 1} + \varepsilon_\phi$$

[0012]

수학식 7

$$IOD = I_\phi(k) - I_\phi(k-1)$$

[0013]

TEQC 소프트웨어의 기법은 또한 MP(multipath) 사이클 슬립의 개수, 관측된 데이터의 비율, 다중경로 오차를 추정한다. MP 사이클 슬립은 L1과 L2 주파수의 다중경로 오차를 이용하여 검출한 추가적인 사이클 슬립으로 IOD 사이클 슬립과 MP 사이클 슬립의 합계로 반송파 데이터에 발생한 총 사이클 슬립을 나타낸다. 코드와 반송파 관측치의 선형결합을 통해 MP 슬립을 검출한다. 코드와 반송파의 선형결합 항은 다음과 같다.

[0014]

수학식 8

$$MP1 \equiv \rho_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\gamma - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2}{\gamma - 1}\right) \phi_{L2} = M_{L1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\gamma - 1}\right) m_{L1} + \left(\frac{2}{\gamma - 1}\right) m_{L2} + \varepsilon_1$$

[0015]

수학식 9

$$MP2 \equiv \rho_{L2} - \left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1} - 1\right) \phi_{L2} = M_{L2} + B_2 - \left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1}\right) m_{L1} + \left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1} - 1\right) m_{L2} + \varepsilon_2$$

[0016]

수학식 10

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\gamma - 1}\right)N_{L1} + \left(\frac{2}{\gamma - 1}\right)N_{L2}$$

[0017]

수학식 11

$$B_2 = -\left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1}\right)N_{L1} + \left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1} - 1\right)N_{L2}$$

[0018]

[0019] 사이클 슬립이 일어나면 바이어스 항인 B_1 과 B_2 값이 변화하므로 $MP1$ 과 $MP2$ 의 변화량을 측정함으로써 MP 슬립을 검출한다.

수학식 12

$$|MP1(t+1) - MP1(t)| > threshold$$

[0020]

[0021] TEQC 소프트웨어는 사이클 슬립 검출 후 사이클 슬립이 마다 각 데이터를 구분한다. 구분된 $MP1$ 과 $MP2$ 데이터 각각에서 바이어스 항인 B_1 과 B_2 값을 상수로 취급하여 제거해준 후 $MP1$ 과 $MP2$ 의 RMS(root mean square)을 취해줌으로써 다중경로 오차를 추정한다. 또한 TEQC에서는 관측한 시간을 고려하여 관측이 가능한 데이터의 개수와 L1/L2 코드와 반송파 데이터가 실제로 관측된 데이터 개수의 비율인 관측된 데이터의 비율을 산출한다.

[0022] 하지만 TEQC의 품질 평가는 전리층 분석을 위한 품질평가에는 한계점이 있다. 전리층 이상현상 발생시 전리층은 짧은 시간에 심하게 변동함으로 전리층 지연오차의 변화량 (IOD)을 이용한 사이클 슬립 검출 과정은 더욱 세밀해져야 한다. 또한 이 소프트웨어는 수신기의 다중경로 오차만 산출함으로 수신기 잡음에 대한 정보를 알 수 없다. 따라서 전리층 분석을 위해 더욱 세밀하고 종합적인 품질 정보를 제공해줄 수 있는 방법 및 시스템이 개발되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0023] (특허문헌 0001) KR 10-2009-0042193 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0024] 본 발명은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 각 지상국의 GNSS 데이터의 반송파 사이클 슬립(cycle slip)의 개수, 특이점(outlier)의 개수, 짧은 호의 개수, 수신기 잡음, 코드 관측치의 다중경로 오차량, 평활화(smoothing)된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차량 및 관측된 데이터의 비율 등 종합적인 품질 정보를 제공함으로써 각 지상국의 GNSS 데이터 품질을 평가할 수 있도록 하는 GNSS 데이터 품질 평가하는 시스템 및 방법을 제공함을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0025] 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 GNSS 데이터 품질 평가 시스템이 각 지상국의 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질을 평가하는 방법은, (a) 지상국으로부터 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 수신하는 단계; (b) 수신한 GNSS 데이터로부터, 전리층 지연오차의 변화량(IOD)을 이용한 사이클 슬립(cycle slip)(이하 'IOD 사이클 슬립'라 한다)을 검출하는 단계; (c) 수신한 GNSS 데이터로부터, 특이점(outlier)을 검출하는 단계; (d) 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이하인 데이터 구간(이하 '짧은 호(short arc)'라 한다)를 검출하는 단계; 및 (e) 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이상인 데이터 구간(이하 '긴 호(long arc)'라 한다)에 대하여, 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 단계를 포함한다.

[0026] 상기 단계(b)의 IOD 사이클 슬립 검출은, IOD가 기 설정된 슬립 한계값을 넘거나, 상기 단계(a)에서 수신한 데이터에 포함된 LLI(loss of lock indicator) 정보에 신호 농침이 표시되거나, 코드와 반송파 데이터 모두에서 데이터 공백(data gap)이 존재하는 경우, IOD 사이클 슬립이 발생한 것으로 판단할 수 있다.

[0027] 상기 단계(b)의 IOD 사이클 슬립 검출은, 명백한 사이클 슬립(apparent cycle slip)을 검출하기 위하여, 일정 길이 이상이 되는 IOD를 검출한 후, 그 앞뒤 일정 시간 이내의 데이터를 확인하여 주위 IOD가 상기 일정 길이를 넘지 않는 경우, 그 점을 사이클 슬립으로 판단할 수 있다.

[0028] 상기 단계(e)는, (e1) 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 코드 전리층 지연오차의 평활화(smoothing)된 데이터를 산출하는 단계; (e2) 상기 평활화된 코드 전리층 지연오차와 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 선형결합 항을 산출하는 단계; 및

[0029] (e3) 상기 선형결합 항에서 모호정수 결합 항을 제거한 후 남은 데이터의 RMS(root mean square)를 구함으로써 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 코드 전리층 지연오차의 평활화(smoothing)된 데이터($I_{p_smoothed}$)는,

$$I_{p_smoothed}(t) = \frac{1}{N_s} I_p(t) + \frac{(N_s - 1)}{N_s} \left[I_p(t) + (I_\phi(t) - I_\phi(t-1)) \right] = I + M_{p_smoothed} + \epsilon_p$$

에 의해 결정되고, 여기서 필

터의 길이 N_s 는, $N_s = \tau_s / T_s$ 와 같이 나타내어지며, τ_s 는 시간상수, T_s 는 데이터 비율, t 는 시간, I_p 는

코드 전리층 지연오차, I_ϕ 는 반송파 전리층 지연오차, $M_{p_smoothed}$ 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의

다중경로 오차, ϵ_p 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 수신기 잡음을 나타낸다.

[0031] 상기 선형결합 항은,

$$MP_{smoothed} = I_{p_smoothed} - I_\phi = M_{p_smoothed} + \frac{N_{t2} - N_{t1}}{\gamma - 1} + \frac{m_{t2} - m_{t1}}{\gamma - 1} + \epsilon_p + \epsilon_\phi$$

에 의해 결정되고, $\frac{N_{t2} - N_{t1}}{\gamma - 1}$ 는 모호정수

결합 항, $\frac{m_{t2} - m_{t1}}{\gamma - 1}$ 는 반송파 다중경로오차의 결합 항, ϵ_p 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 수신기 잡

음, ϵ_ϕ 는 반송파 전리층 지연오차의 수신기 잡음이다.

[0033] 상기 단계(a) 이후, (f) 수신한 GNSS 데이터로부터, MP(multipath) 사이클 슬립의 개수, 관측된 데이터의 비율 및 코드 데이터의 다중경로 오차를 추정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0034] 상기 단계(f) 이후, (g) 연속된 두 날짜(2 days)의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용하여 지상국의 수신기 잡음을 추정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0035] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 각 지상국의 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질을 평가하

는 시스템은, 지상국으로부터 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 수신하는 GNSS 데이터 수신모듈; 수신한 GNSS 데이터로부터, 전리층 지연오차의 변화량(IOD)을 이용한 사이클 슬립(cycle slip)(이하 'IOD 사이클 슬립'라 한다)을 검출하는 IOD 사이클 슬립 검출모듈; 수신한 GNSS 데이터로부터, 특이점(outlier)을 검출하는 특이점 검출모듈; 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이하인 데이터 구간(이하 '짧은 호(short arc)'라 한다) 및, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이상인 데이터 구간(이하 '긴 호(long arc)'라 한다)을 검출하는 연속된 호(continuous arc) 검출모듈; 상기 긴 호에 대하여, 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 추정모듈; 및 GNSS 데이터 품질 평가 시스템의 상기 각 모듈을 제어하여 GNSS 데이터 품질 평가와 관련된 일련의 처리를 수행하는 제어부를 포함한다.

[0036] 상기 GNSS 데이터 품질 평가 시스템은, 수신한 GNSS 데이터로부터, MP(multipath) 사이클 슬립의 개수를 산출하는 MP 사이클 슬립 개수 산출모듈; 관측된 데이터의 비율을 산출하는 데이터 비율 산출모듈; 및, 코드 데이터의 다중경로 오차를 추정하는 코드 데이터 다중경로 오차 추정모듈을 더 포함할 수 있다.

[0037] 상기 GNSS 데이터 품질 평가 시스템은, 연속된 두 날짜(2 days)의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용하여 지상국의 수신기 잡음을 추정하는 수신기 잡음 추정모듈을 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0038] 본 발명에 의하면, 각 지상국의 GNSS 데이터의 데이터의 반송파 사이클 슬립(cycle slip)의 개수, 특이점(outlier)의 개수, 짧은 호의 개수, 수신기 잡음, 코드와 평활화(smoothing)된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 량 및 관측된 데이터의 비율 등 종합적인 품질 정보를 제공함으로써 각 지상국의 GNSS 데이터 품질을 평가할 수 있도록 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명에 따른 GNSS 데이터 품질 평가 방법의 프로세스를 도시한 도면.

도 2는 명백한 사이클 슬립(apparant cycle slip)의 예를 나타내는 도면.

도 3은 본 발명에 따른 GNSS 데이터 품질 평가 시스템의 구성을 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 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.

[0041] 도 1은 본 발명에 따른 GNSS 데이터 품질 평가 방법의 프로세스를 도시한 도면이고, 도 2는 명백한 사이클 슬립(apparant cycle slip)의 예를 나타내는 도면이다. 이하 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한다.

[0042] 본 발명에 따른 종합적인 GNSS 데이터 품질 평가 시스템은, 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 분석하여 품질 정보를 제공하는 방법이다. 이 알고리즘의 입력 값으로 각 관측소에서 관측된 RINEX(Receiver Independent Exchange Format) 이중주파수 관측 데이터가 사용되며(S110), 출력 값은 그 관측소의 데이터 품질정보이다. 도 1에 나타나 있듯이 이 알고리즘은 크게 4가지 요소로 구성되어있다.

[0043] 첫 번째 구성요소로서 전리층 분석 알고리즘의 전처리 과정을 이용한다. 이 과정에서 IOD 사이클 슬립(S210), 특이점(S220), 짧은 호의 개수를 품질정보로 제공한다. 두 번째로 TEQC 품질평가 소프트웨어의 알고리즘을 이용한다. 이 알고리즘 구현을 통해 코드 데이터의 다중경로 오차, 관측된 데이터의 비율, MP 사이클 슬립을 추정한다. 세 번째로는 적응형 필터(adaptive filter)를 이용하여 수신기 잡음을 산출한다. 마지막으로 평활화 과정을 거친 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정한다.

[0044] 기존 전리층 분석 알고리즘의 전처리 과정에서는 반송파 전리층 지연 오차 추정치의 변화량, IOD 이용하여 검출한 반송파 데이터의 사이클 슬립을 IOD (derivative of ionospheric delay) 사이클 슬립이라 한다. 전처리 과정에서 IOD가 슬립 한계값, 예를 들어 2 m(30 초 간격)을 넘거나 RINEX 데이터에 포함된 LLI(Loss of Lock Indicator)정보에 신호 놓침이 표시되거나 코드와 반송파 관측치 모두에서 데이터 공백이 존재하면 사이클 슬립으로 판단한다. 본 발명에서는 여기에 판단 기준을 하나 더 추가하였다. 이는 명백한 사이클 슬립(apparent cycle slip)을 검출하기 위한 것이다. 도 2에 나타나 있듯이 명백한 사이클 슬립은 작은 IOD 값을 갖는 사이클 슬립이지만 주위 다른 값들과 비교해봤을 때 값의 차이가 확연한 사이클 슬립을 의미한다. 이러한 사이클 슬립을 검출하기 위해 먼저 일정 길이, 예를 들어 0.5 m 이상이 되는 IOD를 검출한 후 그 앞뒤 일정 시간, 예를 들어 15분 이내의 데이터를 확인하여 주위 IOD가 상기 일정길이, 즉 0.5 m를 넘지 않으면 이 점을 사이클 슬립으로 결정한다(S210).

[0045] 전리층 지연오차 추정치에 발생된 특이점 또한 전리층을 분석하는 과정에서 분석 성능을 저하시키는 중요한 요인이므로 관측 데이터의 품질을 평가하는 지표로 사용된다(S220). 특이점 검출은, 전리층지연오차 데이터에서 연속된 특정 구간의 데이터에 대하여 다항식 적합(polynomial fitting)을 수행하고, 상기 구간에서 다항식 적합된 값과 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,

수학식 13

[0046]
$$OF(t_p) = \sum_{q \text{ adjacent set}} W_{pq} \cdot |I_p - I_q|$$

[0047] 에 의해 산출되며, 상기 W_{pq} 는,

수학식 14

[0048]
$$W_{pq} = \frac{1/|I_p - I_q|}{\sum_{r \text{ adjacent set}} 1/|I_p - I_r|}$$

[0049] 전처리 과정에서 추가적으로 연속된 호(continuous arc)에 대한 정보, 즉 짧은 호(short arc)에 대한 정보 및 긴 호(long arc)에 대한 정보도 산출한다(S230). 전리층 지연오차 추정치 데이터에서 사이클 슬립으로 인한 모호정수의 변화가 있기 전까지의 연속된 데이터 즉, 같은 크기의 모호정수를 가지고 있는 연속된 데이터 구간을 호(arc)로 정의한다. 호의 데이터 개수가 10개 이하(300초 이하)인 짧은 데이터 구간의 경우 짧은 호라고 정의하고 이보다 긴 데이터 구간의 경우 긴 호라고 정의하며, 알고리즘에서는 이를 검출한다. 반송파 데이터의 수준화(Leveling)과정은 각 호마다 시행되므로 데이터 수가 적은 짧은 호의 경우 큰 수준화 오차를 야기할 수 있다. 사이클 슬립이 빈번하게 발생할수록 짧은 호가 발생할 확률도 높아지므로 짧은 호의 개수와 사이클 슬립의 개수는 서로 큰 상관관계를 갖는다. 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 긴 호(long arc) 데이터에 대하여는, 단계(S240)에 대한 설명에서 후술하는 바와 같이 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하게 된다.

[0050] 두 번째로 TEQC 품질평가 소프트웨어의 알고리즘을 이용한다(S310,S320,S330). 이는 반드시 전술한 전처리 과정 다음에 수행되어야 하는 것은 아니며, TEQC 소프트웨어 알고리즘과 이하 수신기 잡음 추정과정은 위 전처리 과정과 별도로 수행될 수 있다.

[0051] TEQC 소프트웨어의 기법을 구현하여 MP(multipath) 사이클 슬립의 개수(S310), 관측된 데이터의 비율(S320), 다중경로 오차(S330)를 추정한다. 관측된 데이터의 비율은 관측한 시간을 고려하여 관측이 가능한 데이터의 개수

와 L1/L2 코드와 반송파 데이터가 실제로 관측된 데이터 개수의 비율이며, MP 사이클 슬립은 L1과 L2 주파수의 다중경로 오차를 이용하여 검출한 추가적인 사이클 슬립으로 IOD 사이클 슬립과 MP 사이클 슬립의 합계로 반송파 데이터에 발생한 총 사이클 슬립의 개수를 산출한다. 종래 기술에서 설명했듯이, MP 사이클 슬립을 수학식 8부터 수학식 12의 코드와 반송파 데이터의 선형 결합 항을 통해 추정하며, 선형결합의 상수 항을 제거함으로써 코드 데이터의 다중경로 오차를 추정한다.

[0052] 세 번째 적응형 필터를 설계함으로써 수신기 잡음을 추정한다(S340). 적응형 필터의 입력 값으로 연속된 두 날의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용한다. 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항 수학식 8과 수학식 9에서 바이어스 항을 제거함으로써 다음 수학식 15와 같이 다중경로 오차와 수신기잡음만으로 구성된 값을 쉽게 추정할 수 있다.

수학식 15

$$MPi_{new} = MP_i + \epsilon_i$$

[0053]

[0054] 다중경로 오차의 경우 관측소 주변 환경의 영향을 받으므로 연속된 두 날의 다중경로 오차는 큰 상관관계를 갖는 반면 두 날의 수신기 잡음은 상관관계가 적다. 따라서 적응형 필터를 통해 연속된 두 날에서 상관관계가 큰 다중경로 오차와 상관관계가 없는 수신기 잡음을 구별해낼 수 있다. 하지만 관측소 주변 환경과 수신기/안테나 종류에 따라 다중경로 오차의 상관관계가 잘 드러나지 않는 경우가 존재한다. 이러한 경우에는 수신기 잡음을 구별해낼 수 없으므로 수신기 잡음에 대한 품질정보는 N/A(not available)로 표시된다.

[0055] 마지막으로 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 산출한다(S240). 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차의 산출은, 전술한 전처리 과정(S210, S220, S230) 다음에 수행될 수 있다. 코드 전리층 지연오차의 평활화는 다음과 같이 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 산출한다.

수학식 16

$$I_{\rho_smoothed}(t_i) = \frac{1}{N_i} I_{\rho}(t_i) + \frac{(N_i - 1)}{N_i} \left[I_{\rho}(t_i) + (I_{\phi}(t_i) - I_{\phi}(t_{i-1})) \right] = I + M_{\rho_smoothed} + \epsilon_{\rho}$$

[0056]

수학식 17

$$I_{\rho_smoothed}(t_i) = I_{\rho}(t_i)$$

[0057]

[0058] 여기서 필터의 길이 N_s 는,

수학식 18

$$N_s = \tau_s / T_s$$

[0059]

[0060] 와 같이 나타내어지며, N_s 는 시간상수 τ_s , 데이터 비율 T_s 로 이루어져 있으며, t 는 시간, I_{ρ} 는 코드 전리층 지연오차, I_{ϕ} 는 반송파 전리층 지연오차이다.

[0061] $M_{p_smoothed}$ 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차, ϵ_p 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 수신기 잡음을 나타낸다. 평활화된 코드 전리층 지연오차를 구한 후 평활화된 코드 전리층 지연오차와 반송파 전리층 지연 오차를 이용하여 다음과 같은 선형결합 항, $MP^{smoothed}$ 를 산출한다.

수학식 19

[0062]
$$MP^{smoothed} = I_{p_smoothed} - I_\phi = M_{p_smoothed} + \frac{N_{L2} - N_{L1}}{\gamma - 1} + \frac{m_{L2} - m_{L1}}{\gamma - 1} + \epsilon_p + \epsilon_\phi$$

[0063] $MP^{smoothed}$ 에서 모호정수 결합항인 $\frac{N_{L2} - N_{L1}}{\gamma - 1}$ 는 상수로 취급하여 제거한 후 남은 데이터의 RMS를 구함으로 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정한다. $\frac{m_{L2} - m_{L1}}{\gamma - 1}$ 는 반송파 다중경로오차의 결합 항, ϵ_p 는 평활화된 코드 전리층 지연오차의 수신기 잡음, ϵ_ϕ 는 반송파 전리층 지연오차의 수신기 잡음이다.

표 1

[0064]

품질정보	예	설명
Date	19 June 2004	데이터가 수집된 날짜
Station ID	DANG	
Receiver type	TRIMBLE 4000SSI	
Antenna type	Unknown External	
Possible observation (>10deg)	22951	관측한 시간을 고려해서 관측 가능한 데이터 개수
Complete observations (>10deg)	22387	L1/L2 코드와 반송파 데이터가 실제로 관측된 데이터 개수
Percentage of observations	98%	(Complete observation/possible observation) x 100
Mean of SNR on L1 (>10deg)	N/A	L1 코드의 SNR(Signal to Noise) 평균값
Mean of SNR on L2 (>10deg)	N/A	L2 코드의 SNR(Signal to Noise) 평균값
# of IOD slips (>10.0deg)	46	관측한 시간동안 모든 위성에서 발생한 총 IOD 사이클 슬립의 개수
# of MP slips (>10.0deg)	16	관측한 시간동안 모든 위성에서 발생한 총 MP 사이클 슬립의 개수
# of outliers (>10.0deg)	8	관측한 시간동안 모든 위성에서 발생한 총 특이점의 개수
# of short arcs (>10.0deg)	22	관측한 시간동안 모든 위성에서 발생한 총 짧은 호의 개수
Mean of multipath on L1 code (>10deg)	0.0962(m)	L1 코드 다중경로 오차의 평균값
Mean of multipath on L2 code (>10deg)	0.4624(m)	L2 코드 다중경로 오차의 평균값

Mean MP smoothed with 150s (>10deg)	0.2331(m)	150초 평활화 필터를 이용하여 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차의 평균값
Mean MP smoothed with 300s (>10deg)	0.1566(m)	300초 평활화 필터를 이용하여 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차의 평균값
Receiver noise on L1 code (>10deg)	0.0486(m)	L1 코드 수신기 잡음의 평균값
Receiver noise on L2 code (>10deg)	N/A	L2 코드 수신기 잡음의 평균값

[0065] Table 1는 데이터 품질평가 알고리즘 출력 값의 한 예로 2004년 6월 19일 당사도(DANG) 상시관측소에서 수집된 데이터의 품질정보를 보여주고 있다. 수신기 종류와 안테나 종류는 수집된 RINEX 파일의 헤더 부분에서 확인이 가능하며, SNR(Signal to Noise) 값 또한 RINEX 관측 데이터에 기록이 되어있다. 하지만 RINEX 버전에 따라 SNR기록 방법이 다르며, 일부 관측소에서만 SNR을 기록을 하고 있다. 고도가 낮은 위성의 신호는 세기가 약하고 상대적으로 많은 신호 끊김과 오차를 포함하고 있기 때문에 각 관측소의 서로 다른 품질특성을 반영하기 어렵다. 따라서 데이터의 품질 평가 과정에서 GPS 데이터의 고도각을 10도로 제한하였다. IOD 사이클 슬립, 짧은 호, 특이점의 개수는 전리층 분석 알고리즘의 전처리 과정을 통해 산출되었고 관측된 데이터의 비율, 코드의 다중경로 오차, MP 사이클 슬립의 개수는 TEQC 기법을 이용하여 산출하였다. 평활화된 코드 전리층 지연 오차의 다중경로 오차량은 150초 평활화 필터를 이용하였을 때와 300초 평활화 필터를 이용하였을 때의 오차량을 품질 정보로 제공한다. 마지막으로 기록이 되어있는 코드의 수신기 잡음은 적응형 필터를 통해 계산 되었다.

[0066] 도 3은 본 발명에 따른 GNSS(global navigation satellite system) 데이터 품질 평가 시스템(100)의 구성을 나타내는 도면이다.

[0067] GNSS 데이터 품질 평가 시스템(100)이 수행하는 방법에 대하여는 도 1 및 도 2를 참조하여 상세히 기술한 바 있으므로, 이하에서는 그러한 방법을 수행하는 각 모듈의 기능에 대하여만 간략히 서술하기로 한다.

[0068] 제어부(101)는 GNSS 데이터 품질 평가 시스템(100)의 이하 각 모듈을 제어하여 GNSS 데이터 품질 평가와 관련된 일련의 처리를 수행한다.

[0069] GNSS 데이터 수신모듈(102)은 지상국으로부터 코드 데이터 및 반송파 데이터로 이루어지는 GNSS 데이터를 수신한다.

[0070] IOD 사이클 슬립 검출모듈(103)은 수신한 GNSS 데이터로부터, 전리층 지연오차의 변화량(IOD)을 이용한 사이클 슬립(cycle slip)(이하 'IOD 사이클 슬립'라 한다)을 검출한다. 상기 IOD 사이클 슬립 검출의 여러가지 방법에 대하여는 도 1을 참조하여 기술한 바 있다.

[0071] 특이점 검출모듈(104)은 수신한 GNSS 데이터로부터, 특이점(outlier)을 검출한다.

[0072] 연속된 호(continuous arc) 검출모듈(105)은 전리층 지연오차 추정치 데이터에서, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이하인 데이터 구간(이하 '짧은 호(short arc)'라 한다) 및, 연속된 데이터 개수가 일정 값 이상인 데이터 구간(이하 '긴 호(long arc)'라 한다)을 검출한다.

[0073] 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차 추정모듈(106)은 상기 긴 호에 대하여, 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정한다. 상기 다중경로 오차 추정방법은, 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 코드 전리층 지연오차의 평활화(smoothing)된 데이터를 산출하고, 상기 평활화된 코드 전리층 지연오차와 반송파 전리층 지연오차를 이용하여 선형결합 항을 산출하고, 상기 선형결합 항에서 모호정수 결합 항을 제거한 후 남은 데이터의 RMS(root mean square)를 구함으로써 평활화된 코드 전리층 지연오차의 다중경로 오차를 추정하는 단계를 포함하며, 그 경우의 관련 수식은 수학식 16 내지 수학식 19를 이용하여 기술한 바 있다.

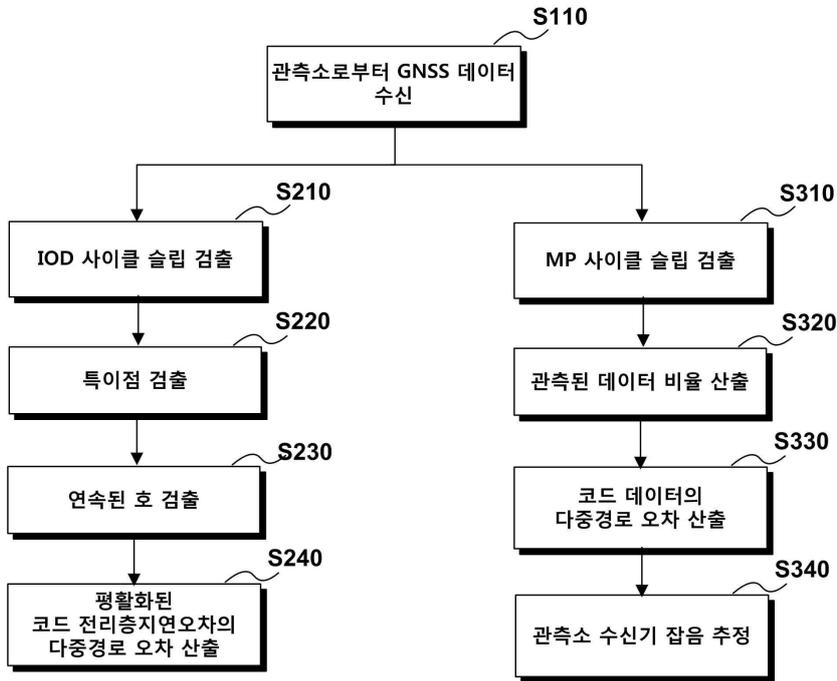
[0074] 또한 TEQC 알고리즘을 수행하는 모듈로서, 수신한 GNSS 데이터로부터, MP(multipath) 사이클 슬립의 개수를 산출하는 MP 사이클 슬립 개수 산출모듈(107), 관측된 데이터의 비율을 산출하는 데이터 비율 산출모듈(108) 및, 코드 데이터의 다중경로 오차를 추정하는 코드 데이터 다중경로 오차 추정모듈(109)을 더 포함할 수 있으며, 연속된 두 날짜(2 days)의 코드와 반송파 관측치의 선형결합 항을 사용하여 지상국의 수신기 잡음을 추정하는 수신기 잡음 추정모듈(110)을 더 포함할 수 있다.

부호의 설명

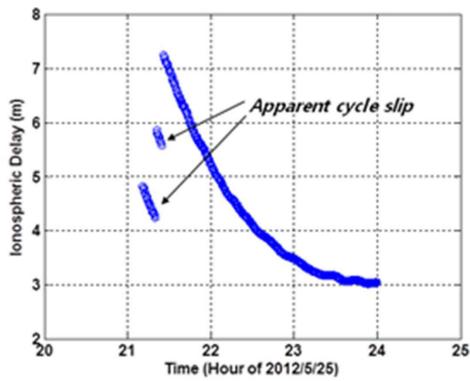
[0075] 100: GNSS 데이터 품질 평가 시스템

도면

도면1



도면2



도면3

