



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년09월20일

(11) 등록번호 10-2580909

(24) 등록일자 2023년09월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01S 19/43 (2010.01) G01S 19/20 (2010.01)

G01S 19/23 (2010.01)

(52) CPC특허분류

G01S 19/43 (2013.01)

G01S 19/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0111641

(22) 출원일자 2021년08월24일

심사청구일자 2021년08월24일

(65) 공개번호 10-2023-0030108

(43) 공개일자 2023년03월06일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140002137 A\*

KR1020190093817 A\*

KR1020210069355 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

박병운

서울특별시 양천구 목동서로2길 22, 108동 901호  
(목동, 한신청구아파트)

이동경

186 High Country Dr, Lafayette, Colorado,  
United States, 80026

이예빈

광주광역시 광산구 송정로 80, 101동 906호(송정  
동, 온세계아이조움아파트)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 최희주

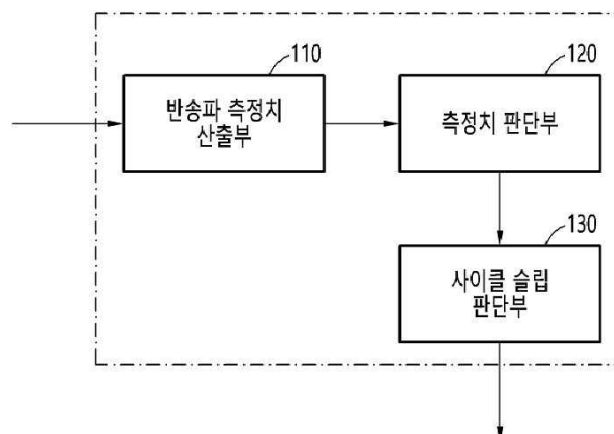
(54) 발명의 명칭 위성항법 반송파 측정치의 사이클 슬립 검출장치 및 그 방법

## (57) 요약

본 발명은 사이클 슬립 검출장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출하는 반송파 측정치 산출부와, 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단하는 측정치 판단부 및 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 사이클 슬립 판단부를 포함한다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

**G01S 19/23** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126109
과제번호	2018-0-01423-004
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1525010921
과제번호	202004512
부처명	해양수산부
과제관리(전문)기관명	해양수산과학기술진흥원
연구사업명	해양PNT고도화기술개발(R&D)
연구과제명	지상기반 센티미터급 해양 정밀 PNT 기술개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트 연구소
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출하는 반송파 측정치 산출부;

상기 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단하는 측정치 판단부 및

상기 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 상기 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 상기 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 상기 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 상기 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 사이클 슬립 판단부

를 포함하고,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 버터워스 필터링 기반의 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 상기 복수의 위성 중 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된(detrended) 반송파 측정치가 기설정된 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 상기 복수의 위성 중 상기 어느 하나의 위성을 제외한 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치 사이의 유사성 분석을 수행하고, 상기 유사성 분석의 수행 결과에 기초하여 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단하는

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 GFC 기반의 검출 기법을 적용한 결과가 사이클 슬립이 발생되지 않은 것으로 나타나면, 상기 산출된 반송파 측정치에 상기 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용하는

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 버터워스 필터링 기반의 검출 기법은,

상기 산출된 반송파 측정치를 버터워스 하이 패스 필터에 적용하여 디트렌드된 반송파 측정치를 산출하여 상기 판단 임계값과 비교하며, 상기 판단 임계값과의 비교 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법인

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 상기 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된

것으로 나타나면, 상기 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치 및 기설정된 유사성 임계값에 기초하는 상기 유사성 분석을 수행하는

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 수학식4에 기초하는 상기 유사성 분석을 수행하는,

[수학식4]

$$\sqrt{\sum_{i=1, i \neq j}^n |\phi_{BW}^i - \phi_{BW}^j|^2} < Th$$

여기서,  $\phi_{BW}^i$ 는 i번째 위성의 반송파 측정치,  $\phi_{BW}^j$ 는 j번째 위성의 반송파 측정치,  $Th$ 는 기설정된 유사성 임계값인

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치의 시간 변화에 대응되는 통계 데이터에 따른 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파의 변동량에 기초하여 상기 사이클 슬립의 발생량을 산출하는

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 GFC 기반의 검출 기법은,

상기 산출된 반송파 측정치가 제1 주파수와 제2 주파수에 기반하는 다중 주파수 측정치인 경우에, 상기 제1 주파수에 대응되는 반송파 측정치와 상기 제2 주파수에 대응되는 반송파 측정치의 선형 조합의 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법인

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 사이클 슬립 판단부는,

상기 선형 조합의 결과에 대한 시간 차분을 수행하고, 상기 시간 차분된 선형 조합의 결과에 기초하여 상기 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는

사이클 슬립 검출장치.

#### 청구항 10

반송파 측정치 산출부에서, 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출하는 단계;

측정치 판단부에서, 상기 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단하는 및

사이클 슬립 판단부에서, 상기 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 상기 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 상기 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 상기 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 상기 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 단계는,

상기 사이클 슬립 판단부에서, 상기 버터워스 필터링 기반의 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 상기 복수의 위성 중 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된(detrended) 반송파 측정치가 기설정된 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 상기 복수의 위성 중 상기 어느 하나의 위성을 제외한 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치 사이의 유사성 분석을 수행하고, 상기 유사성 분석의 수행 결과에 기초하여 상기 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단하는

사이클 슬립 검출방법.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 사이클 슬립 검출장치 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 위성항법 시스템에서 반송파 측정치를 이용하여 사이클 슬립을 검출하는 기술적 사상에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 위성항법 시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)에서 산출되는 위성항법 측정치 중 거리 단위로 환산한 반송파 측정치( $\phi$ )는 하기 수학식1과 같이 표현될 수 있다.

[0003] [수학식1]

$$\phi_{A,f}^i = d_A^i + B_A - b^i + T_A^i - I_{A,f}^i + N_{A,f}^i \lambda_f + \epsilon_{A,f}^i$$

[0005] 여기서, 하첨자 A는 수신기 A, f는 주파수를 의미하고, 상첨자 i는 i번째 위성을 의미하며, d, T, I, N 및  $\epsilon$  각각은 수신기 A에서의 i번째 위성의 거리, 대류층 오차, 전리층 오차, 미지정수 및 측정치 잡음을 각각 의미한다.

[0006] 또한, B는 수신기 A의 시계오차, b는 i번째 위성의 시계오차,  $\lambda$ 는 반송파 측정치의 파장 길이를 의미한다.

[0007] 위성항법 수신기는 위성 신호를 초기에 추적(tracking)한 시점으로부터 반송파 위상의 변동량만을 연산할 수 있기 때문에, 수신기에서 획득한 반송파 측정치에는 수학식1과 같이 미지정수(N)가 포함될 수 밖에 없는데, 이러한 미지정수(N)를 정확히 추정하여야 반송파 측정치를 의사거리와 같은 측위에 사용할 수 있다.

[0008] 또한, 반송파 측정치는 그 신호의 세기가 매우 약하고, 주위 지형지물에 쉽게 영향을 받아 추적 루프(tracking loop) 상에서 위상을 순간적으로 놓칠 수 있는데, 이를 사이클 슬립(cycle slip)이라 한다.

[0009] 위성항법 시스템에서는 반송파 측정치를 사용하는 위치, 속도, RTK(Real Time Kinematic) 및 PPP(Precise Point Positioning)와 같은 항법해의 산출 과정에서 보다 안정적인 해를 산출하기 위해서 이러한 사이클 슬립의 발생 여부를 실시간으로 정확히 감시하고 검출해야 하는데, 실제 환경에서는 환경적 제약이 많아 사이클 슬립을 검출하는데 한계를 보이고 있다.

## 선행기술문헌

## 특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2016-0147775호, "대기 관측을 위한 무선항법 신호 처리를 위한 방법 및 장

치"

## 비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) Niu, Fei & Morton, Yu & Wang, Jun. (2012). GPS Carrier Phase Detrending Methods and Performances for Ionosphere Scintillation Studies. Institute of Navigation International Technical Meeting 2012, ITM 2012. 2.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출 과정을 이중화 함으로써, 사이클 슬립의 검출 성능을 향상시킬 수 있는 사이클 슬립 검출장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.
- [0013] 또한, 본 발명은 사이클 슬립의 검출 과정을 통해 각 주파수에서 발생한 사이클 슬립의 발생량을 판단하고 이를 바탕으로 보다 정확하게 사이클 슬립을 리페어(repair)할 수 있는 사이클 슬립 검출장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출하는 반송파 측정치 산출부와, 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단하는 측정치 판단부 및 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 사이클 슬립 판단부를 포함할 수 있다.
- [0015] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 GFC 기반의 검출 기법을 적용한 결과가 사이클 슬립이 발생되지 않은 것으로 나타나면, 산출된 반송파 측정치에 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용할 수 있다.
- [0016] 일측에 따르면, 버터워스 필터링 기반의 검출 기법은 산출된 반송파 측정치를 버터워스 하이 패스 필터에 적용하여 디트렌드된(detrended) 반송파 측정치를 산출하고, 디트렌드된 반송파 측정치를 기설정된 판단 임계값과 비교하며, 판단 임계값과의 비교 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법일 수 있다.
- [0017] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 복수의 위성 중 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 복수의 위성 중 어느 하나의 위성을 제외한 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 판단 임계값의 비교 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.
- [0018] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치 사이의 유사성 분석을 수행하고, 유사성 분석의 수행 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.
- [0019] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 하기 수학적식4에 기초하는 유사성 분석을 수행할 수 있다.

- [0020] [수학적식4]

$$\sqrt{\sum_{i=1, i \neq j}^n |\phi_{BW}^i - \phi_{BW}^j|^2} < Th$$

[0021]

- [0022] 여기서,  $\phi_{BW}^i$ 는 i번째 위성의 반송파 측정치,  $\phi_{BW}^j$ 는 j번째 위성의 반송파 측정치,  $Th$ 는 기설정된 유사성

임계값을 의미한다.

[0023] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 디트렌드된 반송파 측정치의 시간 변화에 따른 통계 데이터에 따른 디트렌드된 반송파의 변동량에 기초하여 사이클 슬립의 발생량을 산출할 수 있다.

[0024] 일측에 따르면, GFC 기반의 검출 기법은 산출된 반송파 측정치가 제1 주파수와 제2 주파수에 기반하는 다중 주파수 측정치인 경우에, 제1 주파수에 대응되는 반송파 측정치와 제2 주파수에 대응되는 반송파 측정치의 선형 조합의 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법일 수 있다.

[0025] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부는 선형 조합의 결과에 대한 시간 차분을 수행하고, 시간 차분된 선형 조합의 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 반송파 측정치 산출부에서 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출하는 단계와, 측정치 판단부에서 기 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단하는 및 사이클 슬립 판단부에서 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 측정치 여부를 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0027] 일실시예에 따르면, 본 발명은 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출 과정을 이중화 함으로써, 사이클 슬립의 검출 성능을 향상시킬 수 있다.

[0028] 일실시예에 따르면, 본 발명은 사이클 슬립의 검출 과정을 통해 각 주파수에서 발생한 사이클 슬립의 발생량을 판단하고 이를 바탕으로 보다 정확하게 사이클 슬립을 리페어(repair)할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 2a 내지 도 2b는 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치를 통해 수행되는 버터워스 기반의 검출기법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0031] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0032] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0033] 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 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해



석되어야 한다.

- [0034] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 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 존재함으로 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.
- [0035] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0037] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0039] 도 1은 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0040] 도 1을 참조하면, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치(100)는 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출 과정을 이중화 함으로써, 사이클 슬립의 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0041] 또한, 사이클 슬립 검출장치(100)는 사이클 슬립의 검출 과정을 통해 각 주파수에서 발생한 사이클 슬립의 발생량을 판단하고 이를 바탕으로 보다 정확하게 사이클 슬립을 리페어(repair)할 수 있다.
- [0042] 이를 위해, 사이클 슬립 검출장치(100)는 반송파 측정치 산출부(110), 측정치 판단부(120) 및 사이클 슬립 판단부(130)를 포함할 수 있다.
- [0043] 일실시예에 따른 반송파 측정치 산출부(110)는 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출할 수 있다.
- [0044] 예를 들면, 사이클 슬립 검출장치(100)는 위성항법 시스템의 수신기에 구비될 수 있다.
- [0045] 또한, 반송파 측정치 산출부(110)는 적어도 하나의 위성으로부터 수신되는 항법 메시지에 기초하여 반송파 측정치를 산출할 수 있으며, 여기서 항법 메시지는 위성항법 위성의 궤도정보, 시계보정량 정보 및 기타 시스템 오차 및 잡음 성분에 대한 정보를 포함할 수 있으나, 일실시예에 따른 항법 메시지는 이에 한정되지 않고 위성항법 위성에서 제공하는 기공지된 항법 정보들을 포함할 수 있다.
- [0046] 일실시예에 따른 측정치 판단부(120)는 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단할 수 있다.
- [0047] 일측에 따르면, 산출된 반송파 측정치는 단일 주파수 또는 적어도 둘 이상의 다중 주파수에 대응되는 반송파 측정치일 수 있다.
- [0048] 예를 들면, 산출된 반송파 측정치는 L1 주파수(1575.42 MHz), L2 주파수(1227.60 MHz), L3 주파수(1381.05 MHz) 및 L5 주파수(1176.45 MHz) 중 적어도 하나에 대응되는 반송파 측정치일 수 있다.
- [0049] 일실시예에 따른 사이클 슬립 판단부(130)는 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용할 수 있다.
- [0050] 또한, 사이클 슬립 판단부(130)는 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0051] 일측에 따르면, GFC 기반의 검출 기법은 산출된 반송파 측정치가 제1 주파수와 제2 주파수에 기반하는 다중 주파수 측정치인 경우에, 제1 주파수에 대응되는 반송파 측정치와 제2 주파수에 대응되는 반송파 측정치의 선형 조합의 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법일 수 있다.
- [0052] 구체적으로, 제1 주파수와 제2 주파수의 측정치의 선형 조합을 이용하면, 위성궤도, 대류층 오차와 같이 수신기와 위성간의 기하학적 관계에 의해 형성되는 측정치들은 모두 사라지게 되어, 하기 수학적식2와 같은 GFC(Geometry-free linear combination, 지오메트리-프리 선형 결합)을 획득할 수 있으며, 사이클 슬립 판단부



(130)는 하기 수학적식2에 기초하는 GCF를 이용하여 산출된 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.

[수학적식2]

$$\frac{(\phi_{A,1} - \phi_{A,2})}{\gamma - 1} = I + \frac{1}{(\gamma - 1)}(\lambda_1 N_{A,1} - \lambda_2 N_{A,2}) + \epsilon_{GF}$$

여기서,  $\gamma$ 는 제2 주파수의 제곱/제1 주파수의 제곱(즉,  $f_2^2/f_1^2$ ),  $\epsilon_{GF}$ 는 지오메트리-프리(Geometry-free)의 잡음을 의미하고, 하첨자 1은 L1 측정치, 하첨자 2는 L2 측정치를 의미한다.

보다 구체적으로, 사이클 슬립 판단부(130)는 선형 조합의 결과에 대한 시간 차분을 수행하고, 하기 수학적식3과 같은 시간 차분된 선형 조합의 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.

[수학적식3]

$$\frac{(\phi_{A,1}(t) - \phi_{A,2}(t)) - (\phi_{A,1}(t-1) - \phi_{A,2}(t-1))}{\gamma - 1} = (I(t) - I(t-1)) + \epsilon_{TDGF}$$

즉, 수학적식2를 시간(t, t-1)에 대해 차분하면 정상적인 경우 제1 미지정수( $N_1$ )와 제2 미지정수( $N_2$ )가 일정하므로, 수학적식3과 같이 전리층의 변화량( $I(t) - I(t-1)$ )과 잡음( $\epsilon_{TDGF}$ ) 성분만 남게 되며, 일반적으로 전리층의 변화는 최대 2cm/s에 불과하므로, 기존 위성항법 시스템은 수학적식3을 검출 메트릭(metric)으로 사용하여 사이클 슬립의 발생을 검출할 수 있다.

예를 들면, 사이클 슬립 판단부(130)는 수학적식3을 통해 도출된 시간에 따른 전리층의 변화량( $I(t) - I(t-1)$ )과 기설정된 변화량 임계값을 비교하여 사이클 슬립의 발생을 검출할 수 있다.

상술한 GFC 기반의 검출 기법은 선형 조합에 의해 위성 및 사용자의 역학 정보가 상쇄됨으로써 사용자 및 위성의 움직임과 관계없이 사용 가능하다는 장점이 있으나, 두개 이상의 주파수 반송파 신호가 제공될 때만 적용할 수 있고, 주파수의 배수인 (154, 120) 조합의 사이클 슬립은 검출이 불가하다는 문제가 있다.

이에, 일실시예에 따른 사이클 슬립 판단부(130)는 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출 과정을 이중화 함으로써, GFC 기반의 검출기법의 적용에 따른 상술한 문제를 해결할 수 있다.

일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부(130)는 GFC 기반의 검출 기법을 적용한 결과가 사이클 슬립이 발생되지 않은 것으로 나타나면, 산출된 반송파 측정치에 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용할 수 있다.

다시 말해, 사이클 슬립 판단부(130)는 산출된 반송파 측정치가 다중 주파수의 측정치인 경우, 수학적식3을 이용하여 사이클 슬립 여부를 우선 판단하고, 수학적식3에 의한 검출 결과가 사이클 슬립이 발생되지 않은 것(즉, 'pass' 판정)으로 나타나면, 버터워스 필터링 기반의 검출기법을 통한 이중 검증을 통해 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.

일측에 따르면, 버터워스 필터링 기반의 검출 기법은 산출된 반송파 측정치를 버터워스 하이 패스 필터에 적용하여 디트렌드된(detrended) 반송파 측정치를 산출하고, 디트렌드된 반송파 측정치를 기설정된 판단 임계값과 비교하며, 판단 임계값과의 비교 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단하는 기법일 수 있다.

일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부(130)는 복수의 위성 중 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 복수의 위성 중 어느 하나의 위성을 제외한 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 판단 임계값의 비교 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.

다시 말해, 사이클 슬립 판단부(130)는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값 보다 작은 경우에는 사이클 슬립이 없는 것으로 최종 판단(즉, 'pass' 판정)하고, 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것(즉, 'fail' 판정)으로 나타나면 타 위성들의 디트렌드된 반송파 측정치에서도 모두 'fail' 판정이 되었는지를 확인하는 과정을 통해, 사이클 슬립의 판단 결과를 검증할 수 있다.

[0068] 즉, 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 통해 사이클 슬립이 검출(즉, 'fail' 판정) 되더라도, 이는 사이클 슬립이 아니라 사용자(수신기) 시계 오차 내의 불안정한 점프(jump)와 같은 이상 현상에 의한 것일 수 있고 이는 모든 위성에서 공통적으로 일어날 수 있으므로, 사이클 슬립 판단부(130)는 다른 위성의 측정치에 기초한 검증 과정을 통해 이러한 이상 현상의 여부를 검증할 수 있으며, 이를 통해 사이클 슬립의 검출 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0069] 구체적으로, 사이클 슬립 판단부(130)는 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치( $\phi_{BW}^j$ )와 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치( $\phi_{BW}^i$ ) 사이의 유사성 분석을 수행하고, 유사성 분석의 수행 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.

[0070] 바람직하게는, 사이클 슬립 판단부(130)는 하기 수학식4에 기초하는 유사성 분석을 수행할 수 있다.

[0071] [수학식4]

$$\sqrt{\sum_{i=1, i \neq j}^n |\phi_{BW}^i - \phi_{BW}^j|^2} < Th$$

[0072] 여기서,  $\phi_{BW}^i$ 는 i번째 위성의 반송파 측정치,  $\phi_{BW}^j$ 는 j번째 위성의 반송파 측정치,  $Th$ 는 기설정된 유사성 임계값을 의미한다.

[0073] 즉, 사이클 슬립 판단부(130)는 수학식4를 이용한 연산 결과가 유사성 임계값( $Th$ )보다 작으면(즉, 'pass' 판정), 디트렌드된 반송파 측정치간에 유사성이 있는 것으로 판단하여, 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치(즉, 개별 위성 반송파)에서 사이클 슬립이 발생된 것이 아니라 시계 오차와 같이 모든 위성에 공통된 오차로 간주하고, 사이클 슬립이 미발생되었다고 최종 판정할 수 있다.

[0074] 반면, 사이클 슬립 판단부(130)는 수학식4를 이용한 연산 결과가 유사성 임계값( $Th$ )을 초과하면(즉, 'fail' 판정), 디트렌드된 반송파 측정치간에 유사성이 없는 것으로 판단하여, 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치에서 사이클 슬립이 발생된 것으로 최종 판단할 수 있다.

[0075] 일측에 따르면, 사이클 슬립 판단부(130)는 사이클 슬립이 발생된 것으로 최종 판단되면, 기설정된 사용자에게 알람(alarm) 신호를 제공할 수 있다.

[0076] 한편, 사이클 슬립 판단부(130)는 디트렌드된 반송파 측정치의 시간 변화에 따른 통계 데이터에 따른 디트렌드된 반송파의 변동량에 기초하여 사이클 슬립의 발생량을 산출할 수 있으며, 산출된 사이클 슬립의 발생량에 기초하여 사이클 슬립을 보다 정확하게 리페어할 수 있다.

[0077] 이하에서는, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치(100)의 검출 성능을 검증하는 검출 시뮬레이션의 수행 결과에 대해 설명하기로 한다.

[0078] 구체적으로, 이하에서 설명하는 검출 시뮬레이션에서는 사이클 슬립 검출장치(100)의 이중화된 사이클 슬립 검출 과정에서 각 모듈들이 상호 보완적으로 잘 적용되는지 확인을 위하여 단일 검출 과정에서는 검출하기 어려운 특정 상황에 대해 검증을 수행하였다. 즉, 실제 환경(open-sky 환경)에서 총 2,500 에폭(epoch)의 GNSS 다중 주파수 측정치를 취득한 후, 여러가지 이상 현상들을 추가하였으며, 이러한 환경에서 사이클 슬립을 검출할 수 있는지 검증하였다.

[0079] 보다 구체적으로, 검출 시뮬레이션에서는 하기 표1에 개시된 바와 같이 사이클 슬립과 불연속 클럭(Clock discontinuity)을 인가하였는데, 300, 600, 900 에폭에는 5 사이클(cycle)의 1m 수준의 비교적 큰 사이클 슬립을 L1 주파수에 인가하였고, 1,200 에폭에서는 1 사이클의 작은 사이클 슬립을 추가하였으며, 1,500 에폭에서는 10ns의 클럭 점프(clock jump)를 추가하였고, 마지막으로 L1 주파수와 L2 주파수 비율인 {77,60}의 사이클을 L1 주파수와 L2 주파수에 각각 인가하였다.

표 1

epoch	simulated Anomaly	cycle slips {L1/L2} / clock error
300	cycle slip	{5,0}
600	cycle slip	{-5,0}
900	cycle slip	{5,0}
1,200	small cycle slip	{1,0}
1,500	clock error	10ns
1,800	multiple of frequency ratio	{77,60}

표1과 같이 설정된 여러 현상들을 각 검출 기법으로 검출한 결과는 하기 표2와 같다.

표 2

epoch	simulated Anomaly	GFC	butterworth
300	Cycle slip	detect	detect
600	Cycle slip	detect	detect
900	Cycle slip	detect	detect
1,200	Small cycle slip	detect	marginally detect
1,500	Clock error	undetected	false alarm
1,800	Multiple of frequency ratio	undetected	detect

표2에 따르면, 300, 600, 900 에폭에서 5 사이클 가량 발생한 일반적인 사이클 슬립의 경우에는 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법에서 모두 검출되었다. 또한, 1200 에폭에 설정된 1 사이클의 작은 사이클 슬립은 GFC 기반의 검출기법에서는 충분히 검출되었으나, 버터워스 기반의 검출기법에서는 디트렌드된 반송파가 가까스로 판단 임계값을 넘어 검출이 되기는 하였으나 미검출될 우려가 있다.

또한, 사이클 슬립이 아닌 불연속 클럭이 인가된 경우, 버터워스 기반의 검출기법을 통해서도 이를 사이클 슬립으로 간주하여 오검출하였으나, GFC 기반의 검출기법에서는 L1 주파수와 여타 주파수 반송파에서 해당 불연속 클럭이 동시에 인가되었기 때문에 사이클 슬립으로 판정하지 않았다. 마지막으로 L1과 L2에 각기 77과 60 사이클에 슬립이 발생된 경우, GFC 기반의 검출기법에서는 그 영향이 상쇄되어 검출이 불가하나 버터워스 기반의 검출기법에서는 검출 가능한 것으로 확인되었다.

도 2a 내지 도 2b는 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치를 통해 수행되는 버터워스 기반의 검출기법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 2a 내지 도 2b를 참조하면, 참조부호 210은 일실시예에 따른 버터워스 기반의 검출기법에서 사용되는 버터워스 하이 패스 필터의 주파수/이득(frequency / gain) 특성을 도시하고, 참조부호 220은 일실시예에 따른 버터워스 기반의 검출기법을 이용하여 사이클 슬립을 검출하는 예시를 도시한다.

버터워스 하이 패스 필터는 통과대역(pass band)에서 가능한 한 평탄한 주파수 응답을 갖도록 설계된 신호 필터로, 참조부호 210에 도시된 바와 같이 차수( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ )가 증가함에 따라 천이대역이 좁아지면서 컷-오프 주파수(cut-off frequency)를 기준으로 천이가 급격해지는 필터이다.

예를 들면, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 6차 버터워스 하이 패스 필터( $n = 6$ )를 활용하여 반송파 측정치의 다항식 추세를 제거하고 잡음만 남게할 수 있으며, 위성 역학과 같이 측정치의 높은 차수의 요소들을 제거할 수 있다.

이와 같이 버터워스 하이 패스 필터로 위성 역학으로 인한 성분을 제거하고 처리한 데이터를 디트렌드된 반송파라고 부르는데, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 디트렌드된 반송파에 이상점이 발생되면 문제가 있는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 사이클 슬립을 검출할 수 있다.

한편, 버터워스 하이 패스 필터는 데이터가 누적되어야 그 추세를 파악할 수 있으므로 수렴되는 시점까지 시간이 소요되고, 동일한 컷-오프 주파수에 대해서 수신기마다의 성능이 상이하다는 점과 잔여오차 수준이 클 경우

작은 크기의 사이클 슬립의 검출이 불가능하다는 단점이 있지만, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 적용되는 수신기의 특성에 맞게 교정(calibration)을 수행함으로써 반송파 측정치 잡음 수준으로 디트렌드된 반송파 측정치를 생성할 수 있다.

- [0093] 예를 들면, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 적정 기간 취득한 측정치의 통계값을 통해 수신기의 주파수 특성을 확인한 후, 확인된 주파수 특성에 기초하여 버터워스 하이 패스 필터의 컷-오프 주파수를 조정하는 필터 교정(filter calibration)을 수행할 수 있으며, 이 경우 측정치 조합없이 단일 측정치, 단일 주파수만으로 측정치 감시가 가능할 뿐만 아니라, GCF 기반의 검출기법을 통해 검출할 수 없는 조합도 확인할 수 있다.
- [0094] 한편, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 반송파 측정치를 버터워스 하이 패스 필터에 적용하여 참조부호 220에 도시된 바와 같이 디트렌드된 반송파 측정치(참조부호 220의 'Butterworth')를 산출하고, 디트렌드된 반송파 측정치를 기설정된 판단 임계값(참조부호 220의 'threshold')과 비교하며, 판단 임계값과의 비교 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0095] 일측에 따르면, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 디트렌드된 반송파 측정치 중 판단 임계값을 초과하는 측정치에 대하여 사이클 슬립이 발생한 것으로 추정할 수 있으며, 사이클 슬립이 발생한 것으로 추정되는 위성을 제외한 나머지 위성에 대해서도 사이클 슬립의 발생 여부를 판단한 후, 판단 결과에 기초하여 유사성 분석을 수행하여, 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.
- [0096] 또한, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치는 참조부호 220과 같은 디트렌드된 반송파 측정치의 시간 변화에 따른 통계 데이터에 기초하여 디트렌드된 반송파의 변동량에 기초하여 사이클 슬립의 발생량을 산출할 수 있으며, 산출된 사이클 슬립의 발생량에 기초한 보정을 통해 사이클 슬립을 리페어할 수 있다.
- [0098] 도 3은 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0099] 다시 말해, 도 3은 도 1 내지 도 2b를 통해 설명한 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출장치의 동작방법을 설명하기 위한 도면으로, 이하에서 도 3을 통해 설명하는 내용 중 도 1 내지 도 2b를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0100] 도 3을 참조하면, 310 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 반송파 측정치 산출부에서 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출할 수 있다.
- [0101] 다음으로, 320 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 측정치 판단부에서 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단할 수 있다.
- [0102] 다음으로, 330 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 측정치 여부의 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 적용하며, 검출 기법의 적용 결과에 기초하여 사이클 슬립의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0103] 일측에 따르면, 330 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 GFC 기반의 검출 기법을 적용한 결과가 사이클 슬립이 발생되지 않은 것으로 나타나면, 산출된 반송파 측정치에 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용할 수 있다.
- [0104] 일측에 따르면, 330 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 복수의 위성 중 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용하고, 이를 통해 도출되는 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 복수의 위성 중 어느 하나의 위성을 제외한 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 판단 임계값의 비교 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.
- [0105] 바람직하게는, 330 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치가 판단 임계값을 초과하여 사이클 슬립이 발생된 것으로 나타나면, 나머지 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치와 어느 하나의 위성에 대응되는 디트렌드된 반송파 측정치 사이의 유사성 분석을 수행하고, 유사성 분석의 수행 결과에 기초하여 어느 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치에 대한 사이클 슬립의 발생 여부를 최종 판단할 수 있다.



- [0106] 한편, 330 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 디트렌드된 반송파 측정치의 시간 변화에 따른 통계 데이터에 따른 디트렌드된 반송파의 변동량에 기초하여 사이클 슬립의 발생량을 산출할 수 있다.
- [0107] 다시 말해, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출을 이중화함으로써 검출 성능을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 각 주파수에서 발생한 사이클 슬립의 발생량도 추정할 수 있다.
- [0108] 즉, 이중화된 사이클 슬립 검출방법 중에서 처음으로 수행하는 GFC 기반의 검출기법의 경우, 작은 사이클 슬립의 검출에 용이하다는 장점은 있으나, 수학적 2와 수학적 3에서 확인할 수 있듯이 다중 주파수의 조합(일례로, L1/L2 또는 L1/L5 조합) 중 어느 측정치에 사이클 슬립이 발생하였는지, 그리고 얼마만큼의 사이클이 슬립이 일어났는지 알 수 없다. 그러나 버터워스 기반의 검출기법을 통해 디트렌드된 반송파 측정치의 변동량을 확인하면 사이클 슬립이 일어난 주파수와 그 양을 각각 확인할 수 있다.
- [0109] 또한, GFC 기반의 검출기법에서는 미검출되었으나, 버터워스 기반의 검출기법을 통해 검출되는 사이클 슬립은 L1/L2의 경우 {77,60}의 배수이며, 이러한 상황만으로는 정확히 L1/L2에 발생한 사이클 슬립의 크기를 알 수 없으나, 이 역시 버터워스 기반의 검출기법을 통해 디트렌드된 반송파 측정치의 변동량을 이용하면 정확히 알 수 있다.
- [0110] 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 이후 실시예 도 4를 통해 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0112] 도 4는 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0113] 이하에서 도 4를 통해 설명하는 410 단계 내지 470 단계는 도 3을 통해 설명한 310 단계 내지 330 단계에서 수행될 수 있다.
- [0114] 도 4를 참조하면, 410 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 반송파 측정치 산출부에서 복수의 위성 중 적어도 하나의 위성에 대응되는 반송파 측정치를 산출할 수 있다.
- [0115] 다음으로, 420 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 측정치 판단부에서 산출된 반송파 측정치의 단일 주파수 측정치 여부를 판단할 수 있다.
- [0116] 일측에 따르면, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 420 단계에서 판단 결과가 단일 주파수 측정치가 아닌 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 기초하여 GFC(Geometry-Free Combination) 기반의 검출 기법을 수행하는 430 단계를 수행할 수 있다.
- [0117] 또한, 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 420 단계에서 판단 결과가 단일 주파수 측정치인 것으로 나타나면 산출된 반송파 측정치에 기초하는 버터워스(Butterworth) 필터링 기반의 검출 기법을 수행하는 440 단계를 수행할 수 있다.
- [0118] 구체적으로, 430 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 산출된 반송파 측정치에 기초하여 GFC 기반의 검출 기법을 수행할 수 있으며, 수행 결과가 'fail'이면 사이클 슬립이 발생한 것으로 최종 판단할 수 있다(470 단계).
- [0119] 반면, 430 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 수행 결과가 'pass'가 되더라도 특정 조합의 사이클 슬립은 놓칠 수 있기 때문에 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 적용하는 440 단계를 수행할 수 있다.
- [0120] 440 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 사이클 슬립 판단부에서 산출된 반송파 측정치에 기초하는 버터워스 필터링 기반의 검출 기법을 수행할 수 있으며, 수행 결과가 'pass'이면 사이클 슬립이 발생하지 않은 것으로 최종 판단할 수 있다(460 단계).
- [0121] 다시 말해, 440 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 GFC 기반의 검출 기법과 버터워스 필터링 기반의 검출 기법의 수행 결과가 모두 'pass'가 되면 사이클 슬립이 발생하지 않은 것으로 최종 판단할 수 있다.
- [0122] 반면, 440 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 수행 결과가 'fail'이 되면 다른 위성에서도 동일한 점프(jump)가 있는지 확인하는 유사성 분석을 수행할 수 있다(450 단계).
- [0123] 구체적으로, 450 단계에서 일실시예에 따른 사이클 슬립 검출방법은 유사성 분석의 수행 결과가 'pass'이면 사이클 슬립이 발생하지 않은 것으로 최종 판단하고(460 단계), 유사성 분석의 수행 결과가 'fail'이면 사이클 슬립이 발생한 것으로 최종 판단할 수 있다(470 단계).

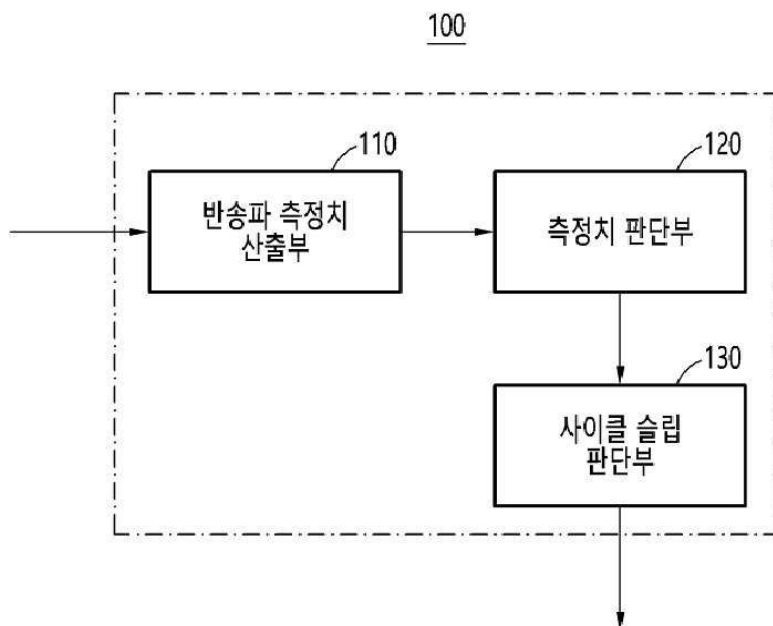
- [0125] 결국, 본 발명을 이용하면, GFC 기반의 검출기법과 버터워스 기반의 검출기법을 결합하여 사이클 슬립의 검출 과정을 이중화 함으로써, 사이클 슬립의 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0126] 또한 본 발명을 이용하면, 사이클 슬립의 검출 과정을 통해 각 주파수에서 발생한 사이클 슬립의 발생량을 판단 하고 이를 바탕으로 보다 정확하게 사이클 슬립을 리페어할 수 있다.
- [0128] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로 세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴 퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령 (instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소 프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0129] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또 는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0130] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한 다.

## 부호의 설명

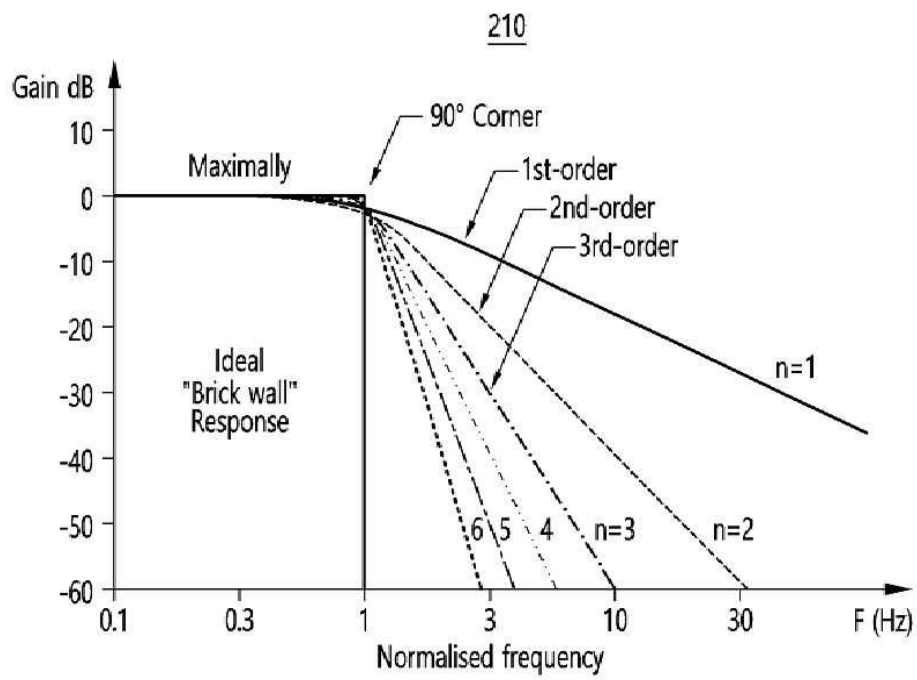
- [0131] 100: 사이클 슬립 검출장치      110: 반송파 측정치 산출부  
120: 측정치 판단부  
130: 사이클 슬립 판단부

## 도면

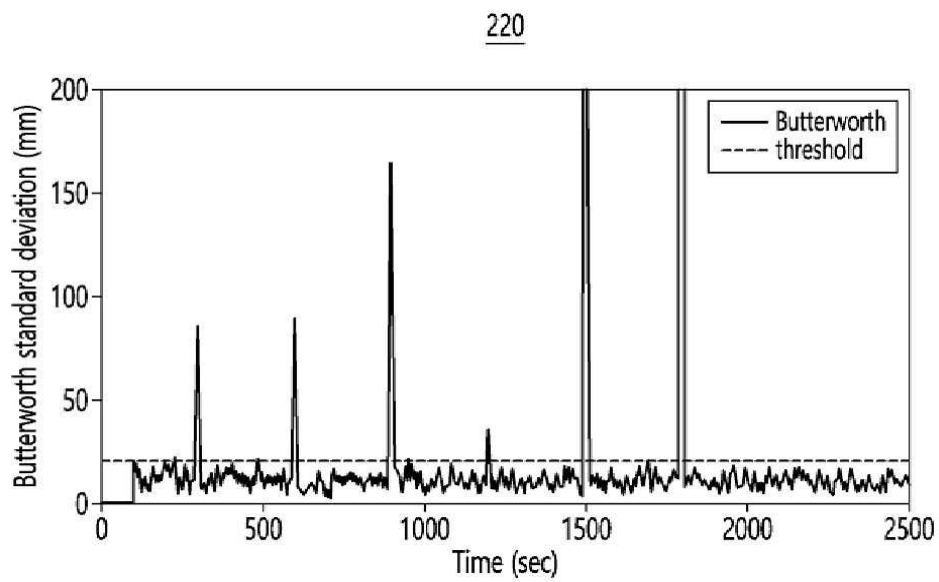
### 도면1



도면2a

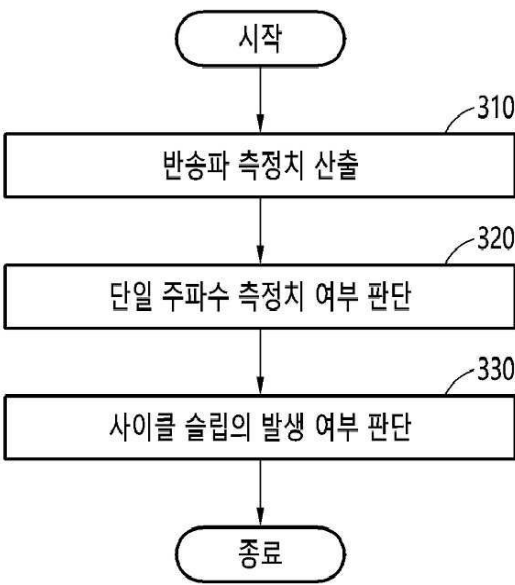


도면2b





도면3



도면4

