

GNSS에서의 Cycle-slip 검출 기법들의 성능 비교

조 성룡¹ · 한 영훈¹ · 진 미현¹ · 최 현호¹ · 박 찬식² · 허 문범³ · † 이 상정

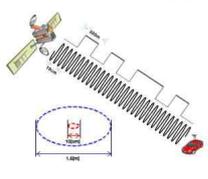
† ¹충남대학교, ²충북대학교, ³한국항공우주연구원, † 충남대학교

요 약 : GNSS를 이용한 위치 결정은 육상, 항만 및 해양 등의 많은 분야에서 공적·상업적인 목적으로 많이 연구되고 있다. 최근 코드 측정치 분해능이 한계를 가지는 것을 인지하고 반송파 위상 측정치를 이용한 위치 결정에 많은 관심을 가진다. 반송파 위상 측정치는 데이터 수집 환경에 의해서 코드 측정치보다 치명적인 영향을 받아 미지정수 결정과 별개로 반송파 위상 측정치 모니터링에 대한 연구가 필요하다. 반송파 위상 측정치는 다중경로, 수신기 내부 문제 등으로 인하여 Cycle-slip, Half Cycle와 같은 반송파 위상 측정치 이상 현상이 발생한다. 특히, Cycle-slip 현상은 반송파 위상 측정치의 바이어스 성분으로 사용자의 위치 결정에 악영향을 미친다. 본 논문에서는 Cycle-slip 현상에 대해서 설명하고, 기존에 연구된 Cycle-slip 현상에 대한 검출, 결정 및 확인 기법들의 장단점을 비교하였다. 마지막으로 시뮬레이션 기반의 Cycle-slip 검출, 결정 및 확인 기법들의 성능을 비교 분석하였다.

핵심용어 : GNSS, Cycle-slip, 반송파 위상 측정치, 검출 기법

서 론

- 연구배경
 - 육상교통 또는 해양항만 분야에서 GNSS를 이용한 정밀 측위에 대한 관심이 커짐.
 - 정밀 위치 결정을 위한 반송파 위상 측정치 사용이 필요함.
 - 반송파 위상을 이용한 정밀 측위는 미지정수 결정 기법, 반송파 측정치 이상 현상(Cycle-slip) 문제 해결에 대한 연구가 필요함.




<측정치에 따른 측위 정확도>
<육상 교통/해양항만 분야에서의 정밀 측위>

CNU
충남대학교

Cycle-slip 개념 (2/4)

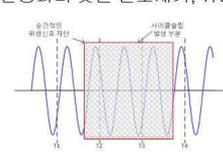
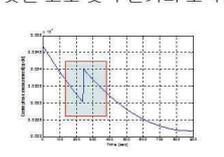
- Cycle-slip 미치는 영향(1/2)
 - Cycle-slip 생성 기법
 - : 임의의 시간 동안 신호단절을 통한 Cycle-slip 유도(시뮬레이션)
 - : 반송파 위상 측정치에 인위적으로 Cycle-slip 인가(실측치)
 - 신호 추적 루프 미치는 영향 분석
 - : 순간적인 오차 증가(코드), 다른 사이클 추적(반송파)
 - 의사거리 측정치 미치는 영향 분석
 - : Cycle-slip 크기만큼의 오차 증가함(반송파)
 - 항법 성능 미치는 영향 분석
 - : 잘못된 미지정수 결정으로 나빠짐(반송파)

⇒ 코드 측정치의 경우 미비한 영향을 받지만, 반송파 측정치의 경우 의사거리, 항법 성능에 바이어스 오차로 악영향을 미침.

CNU
충남대학교

Cycle-slip 개념 (1/4)

- Cycle-slip 정의
 - 반송파 위상 추적회로에서 위상값을 순간적으로 높침으로 바이어스 성분의 의사거리 오차가 발생하는 현상
 - 반송파 위상 측정치의 정수부분에 갑작스런 점프가 발생하는 현상
- Cycle-slip 현상의 원인
 - 주위의 지형지물로 인한 신호의 단절, 반송파에 포함된 잡음, 반송파의 낮은 신호세기, 위성의 낮은 고도 및 수신기의 오작동 등

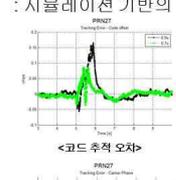
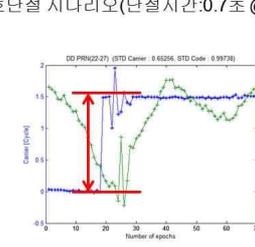



<Cycle slip 현상>
<Cycle-slip이 의사거리에 미치는 영향>

CNU
충남대학교

Cycle-slip 개념 (3/4)

- Cycle-slip 미치는 영향(2/2)
 - Cycle-slip 생성 기법
 - : 시뮬레이션 기반의 신호단절 시나리오(단절시간:0.7초 @ 6초)

<코드 추적 오차>
<Cycle-slip 생성 결과>

<반송파 추적 오차>

CNU
충남대학교

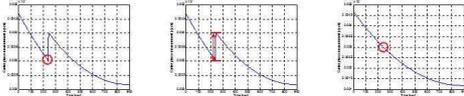
† 교신저자) eesjl@cnu.ac.kr

Cycle-slip 개념 (4/4)

■ Cycle-slip 대응 기법

- 검출 : Cycle-slip 현상의 발생 여부를 확인하는 단계
- 결정 : Cycle-slip 현상의 크기를 결정하는 단계
- 확인 : 계산된 Cycle-slip 크기를 이용하여 측정치를 확인하는 단계

⇒ 반송파 위상 측정치에 Cycle-slip 크기만큼 제거함



Cycle-slip 대응기법 (3/4)

■ 보조 센서를 이용한 대응기법

- INS를 이용한 Cycle-slip 검출 및 보정 기법[4]
 - : INS 위치 정보를 이용하여 위성과 수신기간의 이중 차분된 거리 비교를 이용한 검사
- DGPS 정보를 이용한 Cycle-slip 검출 및 보정 기법[5]
 - : DGPS 정보로 생성한 측정치와 GNSS 수신기의 반송파 위상/코드 측정치 비교를 이용한 검사

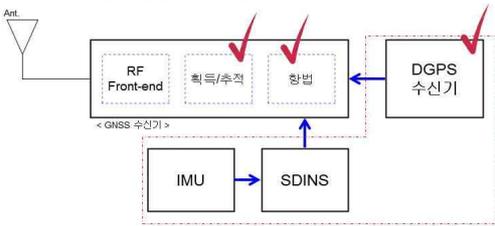
⇒ 보조센서(INS, DGPS 등)로부터의 위치 정보를 이용한 대응 기법으로 GNSS 수신기를 제외한 추가 하드웨어 구성 및 통합을 위한 시스템이 필요함.

[4] 박정현, "GPS/INS 통합을 위한 모호성소결정" 이 문헌은, "DGPS 방식을 이용한 정밀계도정정을 위한 Cycle-slip 검출 및 보정 알고리즘"

Cycle-slip 대응기법 (1/4)

■ Cycle-slip 대응기법의 분류

- 추적오차를 이용한 대응기법
- 의사거리 측정치를 이용한 대응기법
- 보조센서를 이용한 대응기법



Cycle-slip 대응기법 (4/4)

■ 육상교통 및 해양항만 환경에서의 정밀 측위

- 도심 지역이나 항만에서의 다중경로가 많이 발생함.
 - => Cycle-slip 현상이 자주 발생 ⇒ 대응기법이 필요
- GNSS 상용 수신기만을 이용한 정밀 측위를 요구함.
 - => 인프라 측면에서 대량생산이 가능한 상용 수신기 사용이 필요
- 하드웨어 수정 없이 소프트웨어 변경만 가능함.
 - => 의사거리 측정치를 이용한 검출 및 보정 후 항법이 가능



<육상 교통/해양항만 환경에서의 Cycle-slip 대응기법>

Cycle-slip 대응기법 (2/4)

■ 추적 오차를 이용한 대응 기법

- FLL의 이동평균선(Moving Average)을 이용한 검사[1]
 - : FLL의 주파수 추적 오차의 일정시간의 평균값 변화가 급격하게 변하는 부분을 검사

⇒ 추적 오차를 이용한 급격한 변화를 확인하여 검출은 쉽지만, Cycle-slip 크기 결정에 있어서는 수집 환경에 영향을 받음.

■ 의사거리 측정치를 이용한 대응기법

- 반송파 위상 측정치의 변화율 검사[2]-Method1
- 반송파 위상 측정치와 코드 측정치 차의 변화율 검사[2]-Method2
- 반송파 위상 측정치의 조합에 따른 변화율 검사[3]-Method3

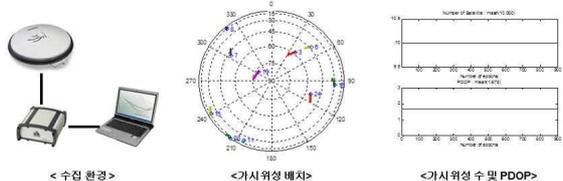
⇒ Cycle-slip 검출 및 결정은 쉽지만, 측정치 잡음 특성에 따라 임계값 설정이 어려움.

[1] Taehwan Kim, "GNSS Receiver Tracking Loss and Cycle Slip Detection using Frequency Lock Loop Phase Acceleration and Jerk Estimation"
 [2] 안석희, "GNSS 변송파를 이용한 정밀 측위에서 Cycle-slip 검출 기법"
 [3] Zhen Lin, "Cycle-slip Detection, Determination, and Validation for Triple-Frequency GPS"

성능 분석 (1/4)

■ 성능 분석 환경 (1/2)

- 상용 수신기를 이용한 데이터 수집
- 사용 수신기 : NovAtel Propak V3
- 수집 데이터 : 900 epoch @ 1Hz
- 데이터 수집 환경 : 가시위성(10개), PDOP(1.678)



<수집 환경>

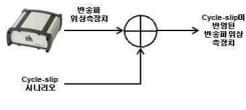
<가시위성 배치>

<가시위성 수 및 PDOP>

성능 분석 (2/4)

■ 성능 분석 환경 (2/2)

- 성능 분석 대응 기법
 - : 의사거리 측정치를 이용한 대응기법(Method 1, 2, 3)
- 반송파 위상 측정치에 인위적으로 Cycle-slip 인가
- Cycle-slip 인가 위성 : PRN 19
- Cycle-slip 인가 시나리오(L1 측정치)



<Cycle slip 인가 방법>

(단위 : Cycle)			
Epoch	Cycle-slip 크기	Epoch	Cycle-slip 크기
50	+1	400	5
100	-1	500	10
150	+2	600	50
200	-2	700	100
300	3	800	200

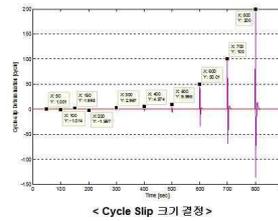
<Cycle slip 인가 시나리오>

성능 분석 (4/4)

■ Cycle slip 결정 성능 분석

- Cycle-slip 크기 결정

크기 결정	Method 1	Method 2	Method 3
	8회 결정	10회 결정	8회 결정



- 반올림 함수를 이용한 Cycle-slip 크기 결정함.
- 수신기 성능에 따른 잡음 특성이 나빠지면 크기를 잘못 결정할 수 있음.
- 크기가 결정된 Cycle-slip을 이용한 확인 과정이 필요함

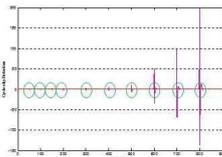
< Cycle Slip 크기 결정 >

성능 분석 (3/4)

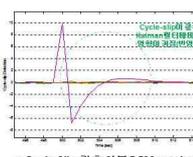
■ Cycle slip 검출 성능 분석

- Cycle-slip 검출 여부 판단(Kalman Filter 적용)

	Method 1	Method 2	Method 3
판단 여부	8회 판단	10회 판단	9회 판단



< Cycle Slip 검출 여부 >



< Cycle Slip 검출 여부@500epoch >

- 성능 분석 시나리오에서 모든 기법이 Cycle-slip을 검출함.
- 수신기 성능에 따른 잡음 특성이 나빠지면 잘못 검출할 수 있음.
- 잡음 특성에 따른 검출 임계값 설정이 필요함.

결론

■ 연구 내용 정리

- Cycle-slip의 정의, 현상 원인, 미치는 영향 분석
- Cycle-slip 대응 기법 개념 및 분류
- 육상교통/해양항만 환경에서의 대응 기법 성능 분석
 - ⇒ Cycle-slip의 경우 반송파 측정치에 바이어스 성분으로 항법 오차로 영향을 미치고, 육상교통/해양항만 환경에서의 의사거리 측정치를 이용한 대응기법의 성능이 우수한 것을 확인함.
 - ⇒ 대응기법의 경우 수신기 특성에 따른 임계값 설정이 필요하고, Cycle slip 결정 후 확인 과정이 필요함.

■ 추후 연구 내용

- 새로운 Cycle-slip 대응기법 연구
- Cycle-slip 대응기법들의 융합을 통한 다양한 분야 적용 연구

- 감사의 글 : 본 연구는 국토해양부 위성항법기반 교통인프라기술개발의 연구비 지원 (06교통핵심A03)에 의해 수행되었습니다.