

GPS L_1 과 L_1/L_2 수신기 조합을 이용한 가상 L_2 산출

Creating Virtual L_2 Using a Combination of L_1 and L_1/L_2 Receivers

홍정수¹⁾ · 박운용²⁾ · 이용희³⁾ · 임영빈⁴⁾

Hong, Jung Soo · Park, Woon Yong · Lee, Yong Hee · Lim, Young Bin

0) 동아대학교 토목공학과 박사과정.E-mail: jungsoo0515@hanmail.net

2) 정회원.동아대학교 토목해양공학부 교수.공학박사.E-mail: uypark@daunet.donga.ac.kr

3) 정회원.양산대학 토목조경과 교수.공학박사.E-mail: yhlee@yangsan.ac.kr

4) 정회원.한밭대학교 토목,환경,도시공학부.공학박사.E-mail: ybnim@daum.net

Abstract

장시간 동안 모호정수를 해석하는 것은 결과의 정확도와 전체적인 변형 모니터링 시스템의 신뢰도에 심각한 영향을 미칠 수 있는 문제이다. 그러므로 이주파수수신기를 사용해 모호정수 해석의 가속화된 방식이 필요하게 되었다. 여기에서 묘사한 것은 가상의 이주파 데이터를 산출하여, 이 모호정수 해석을 빠르게 실시할 수 있도록 하는 방법 중의 하나이다. 본 논문은 현장테스트와 이론에 근거한 연구를 통해 산출하였으며, real과 virtual L_2 데이터는 static과 OTF 방식에 의한 전처리과 후처리과정을 통해 비교하였다. 일 · 이주파 수신기를 혼용으로 사용하여 일주파 위상에 대해 더욱 빠른 모호정수를 분석하기 위해 virtual L_2 를 생성하여 해석방법과 데이터 처리에 관한 연구를 하고자 한다. 방법을 설명하기 위한 이론을 개략적으로 기술하였으며, 몇몇 시도적인 결과를 kinematic과 static 방법에서 획득하였다. 초기의 결과는 주기의 몇 백분의 1 또는 천만분의 1일 때 아주 우수한 것으로 증명되고 있다.

1. 서론

저가의 일주파 GPS 수신기를 사용하는 주된 목적은 전형적인 이주파 수신기에 비해 가격면에서 저렴하다는 것이다. 이주파 수신기는 일주파 수신기보다 빠르게 OTF(On The Fly) 검색 방식을 가지고 있으며, 또한 wide lane 위상관측은 이주파 데이터 결과치의 조합에 의해 이루어진다. 예전에는 높은 정확도를 요구하는 교량 모니터링에 주로 이주파 수신기를 사용해 왔으나, 정확도 면에서 일주파 수신기가 교량의 거동을 모니터링하는 부분에서 이주파 수신기와 거의 차이가 없는 것으로 알려져왔다(Young 1998). 일주파 수신기와 이주파 수신기의 큰 차이는 모호정수 해석부분에 있다. 그 차이는 한 망을 구성하여 관측을 실시할 때 OTF 방법을 통한 모호정수를 결정하기 위한 시간이 오래 걸리며, 후 사이클 슬립이 발생한다는 것이다. 전형적인 L_1 alone 데이터에서, 모호정수의 결정은 30분 이상을 실시해야 해석이 가능한 반면에 L_1 과 L_2 데이터에서의 결정은 대부분의 경우 1분 이내에 해석이 가능하며, 사이클 슬립의 소거가 가능하다.

또한 일반적인 상용소프트웨어는 kinematic 모드에서 일주파 수신기에 대한 모호정수를 결정할 수 없으며, OTF에 대한 데이터를 처리할 수 없는 단점이 있다. Young(1998)은 일주파수수신기를 사용하여 사이클 슬립의 발생 가능성 장소를 추출하였으며, 현수교의 타워와 케이블이 사이클슬립을 많이 일으킨다는 것을 알게 되었다. 장시간 동안 모호정수를 해석하는 것은 결과의 정확도와 전체적인 변형 모니터링 시스템의 신뢰도에 심각한 영향을 미칠 수 있는 문제이다. 그러므로 이주파수수신기를 사용해 모호정수 해석의 가속화된 방식이 필요하게 되었다. 여기에서 묘사한 것은 이 모호정수 해석을 빠르게 실시할 수

있도록 하는 방법 중의 하나이다.

본 논문은 현장테스트와 이론에 근거한 연구를 통해 산출하였으며, 일·이주파 수신기를 혼용으로 사용하여 일주파 위상에 대해 더욱 빠른 모호정수를 분석하기 위해 virtual L_2 를 생성하여 해석방법과 데이터 처리에 관한 연구를 하고자 하며, 결과의 정확도 및 데이터의 신뢰도에 대한 분석도 이루고자 한다. real과 virtual L_2 데이터는 static과 OTF 방식에 의한 전처리과 후처리과정을 통해 비교하였다. 방법을 설명하기 위한 이론을 개략적으로 기술하였으며, 몇몇 시도적인 결과를 kinematic과 static 방법에서 획득하였다.

2. 차분 GPS

차분 GPS의 이론은 일반적으로 넓은 지역에 분포한 기준국수신기(Base)와 이동국수신기(Rover)가 GPS 전리층 오차를 포함하고 있다는 가정에서부터 시작된다. 이 가정에 포함된 것은 동일한 전리층을 통과한 각 위성의 신호들이 둘 다의 수신기에 도달한다는 것이다. 그리고 이와 같은 전리층 지연은 두 수신기에 동일하게 적용된다는 것이다. 이 전리층 지연은 기준국 수신기로부터 다른 이동국수신기가 15km 이상의 기선길이를 넘어서면 지연에 대한 차이가 생긴다고 알려져 있다. 또한 전리층 자유 관측에 이주파 데이터를 사용하는 것은 전리층의 영향을 완화시킬 수 있으며, 그 형태를 파악할 수 있기 때문이다. 이주파 모호정수 검색 방법은 wide lane 기술에 의해 일주파 모호정수 검색방법보다 더 훨씬 빠르게 이루어진다. wide lane은 L_1 과 L_2 위상의 선형조합에 의해 이루어지며, 이 wide lane의 파장 길이는 86.2cm이다. 이 선형조합은 L_1 (19.0cm)과 L_2 (24.4cm)의 파장 길이보다 훨씬 크게 나타난다. 이 wide lane 모호정수 검색 부분에서, 파장 길이는 평균 파장 길이보다 증가하게 된다.

다른 방법으로 모호정수 검색 시간을 줄일 수 있다. 현재 실시한 이 실험은 현수교를 중심으로 이루어졌으며, 이 교량은 사전 실험에서 최대 수직변위는 약 6cm 정도이며, 큰 변위는 아니지만 모호정수 해석으로 평가할 수 있었다. 이주파 기준국 수신기로부터 얻은 데이터는 실험지역에서 GPS의 전리층 영향분석에 사용되며, 이 기준 데이터는 virtual L_2 를 생성하기 위해 일주파 수신기와 같이 사용된다. virtual L_2 는 이동국의 L_1 위상으로부터 정보를 추출하여 이루어지며, 또한 전리층에 대한 영향도 분석하게 된다. virtual L_2 는 선형화된 wide lane 조합 후 생성되게 되며, 이 데이터로 인해 모호정수 검색이 더욱 빨리지게 된다. 기준국과 이동국의 두 데이터는 rinex 형식으로 사용되며, 두 rinex 파일은 관측시간동안 동일한 시간 간격을 가진다. 식 (1)은 순수한 반송파 위상에 대한 관측방정식을 나타내고 있다.

$$\Phi_i^j = D_i^j + c \cdot (t_i - t^j) + \frac{c}{f} N_i^j + T_i^j + I_i^j + E_i^j + v_i^j \quad (1)$$

여기서, Φ_i^j 는 수신기 i 와 위성 j 사이의 반송파 위상을 나타낸다. 이것은 파장 길이의 우수리 부분도 포함이 되어 있다. 모호정수의 추정치는 수신기 자체에서 만들어지게 되며, 식 (1)로부터 두 수신간격 사이의 반송파 위상 차이를 다음 식으로 유도할 수 있다.

$$\Phi(t)_i^j - \Phi(t-1)_i^j = \Delta D_i^j + c \cdot (\Delta t_i - \Delta t^j) + \Delta T_i^j + \Delta I_i^j + \Delta E_i^j + \Delta v_i^j \quad (2)$$

여기서, Δ 는 수신간격 t_i 과 t 사이의 차분값을 나타내고 있다. virtual L_2 방법에서 사용되는 교량 모니터링실험에서 몇 가지의 가정을 얻을 수 있다. 교량 모니터링에 사용되는 데이터의 비율은 주로 10Hz이며, 본 연구에서 사용한 데이터는 1Hz 비율로 하였다. 대류권의 영향을 많이 나타내지 않는 ΔI_i^j 와 ΔT_i^j 은 무시해도 가능하며, 대류권의 영향을 무시해도 가능한 측량 구역에서 수신간격의 추정을 가능하게 하였다. 위의 방정식에서 동일한 것은 수신기 시계오차, 위성의 시계오차 그리고 궤도오차를 추정할 수 있다는 것이다. 두 시간간격 사이에 많은 편향은 보이지 않으며, 변수 α 는 다음 식에 의해 기준국 수신기에서 구해진다.

$$\alpha = \frac{\delta L_{2ref}}{\delta L_{1ref}} = \frac{\Phi_{L_{2ref}}(t)_i - \Phi_{L_{2ref}}(t-1)_i}{\Phi_{L_{1ref}}(t)_i - \Phi_{L_{1ref}}(t-1)_i} \quad (3)$$

여기서 δL_{ref} 는 기준국 수신기에 대해 첫 수신간격의 L_i 위상값과 두 번째 수신간격을 차분한 반송파 값이다. 기준국과 이동국 수신기가 가깝게 설치된 후 둘 다의 기준국, 이동국 수신기 데이터에서 동일한 α 를 추정할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\delta L_{2rov}}{\delta L_{1rov}} \quad (4)$$

여기서, δL_{rov} 는 이동국 L_i 에서 처음 수신간격과 두 번째 수신간격에 대한 위상의 차이값이다. 식 (3), (4) 그리고 재배열을 통해 다음 식을 유도할 수 있다.

$$\delta L_{2rov} = \frac{\delta L_{1rov} \delta L_{2ref}}{\delta L_{1ref}} \quad (5)$$

여기서, δL_{2rov} 는 virtual L_2 데이터에 대한 처음과 두 번째 수신간격과 L_2 사이의 차이값을 나타낸다. Java프로그램은 real L_1 데이터와 virtual L_2 데이터를 동시에 가지는 rinex 파일을 생성하기 위해 사용하였다. rinex 파일에서 virtual P_2 가 생성되며, 이 virtual P_2 는 다음 식에 의해 만들어진다.

$$P_{2rov} = \frac{C_{1rov} P_{2ref}}{C_{1ref}} \quad (6)$$

3. 연구방법

현장실험이 이루어질 현수교 주위에 네트워크 망을 구성하였다. 세 대의 이주파 수신기와 일주파 수신기를 사전계획에 맞게 교량 주위에 배치하였으며, 이주파 수신기의 한 대는 기준국의 목적을 가지고 있다. 그림 1은 실험대상지역의 GPS 수신기 배치현황을 나타내고 있다. 이 테스트의 데이터는 static 과 kinematic 방법으로 각각 처리를 하였다. 두 이주파 수신기로부터 취득한 데이터는 real L_2 와 virtual L_2 를 비교하기 위해 사용하였으며, virtual δL_{2rov} 와 real L_{2rov} 의 비교는 결과를 유도할 수 있었다. real과 virtual값 사이의 차이는 매우 적게 나타났다. 테스트 데이터의 취득은 1Hz의 비율로 하였으며, 최대 차이량은 L_1 주기의 7/100이었다(약 0.017m). 대부분의 차이량은 아래에 잘 나타나 있으며 평균 차이에 대한 값은 주기의 약 1/100로 나타나고 있다(약 0.002m). 그림 2는 11번 위성에 대한 real과 virtual L_2 와의 비교치를 나타내고 있으며, 두 L_2 데이터의 작은 차이를 그래프로 보이고 있다.

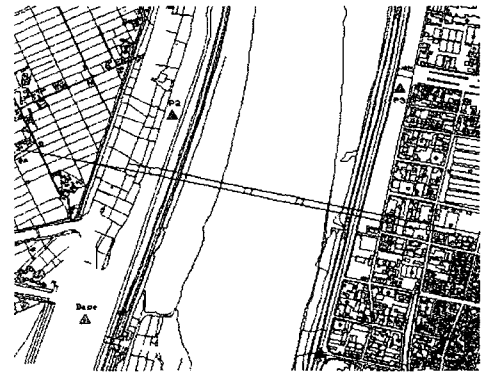


그림 1. 기준점 및 이동국 배치도

Series 1은 단지 하나의 real 데이터를 나타내고 있으며, Series 2는 virtual 데이터를 나타내고 있다. 두 데이터 사이의 차이는 그래프에서 보듯이 선으로 표시되며, 이것은 한 주기의 real과 virtual L_2 사이에 대한 우수리 차이를 보여준다. 한 수신주기에서 다음 수신주기까지의 반송파를 비교하였더니 그 차이량을 그래프로 나타내기에는 너무 부족하였다. 그림 3에서의 Series 1은 매 수신간격에서 real과 virtual L_2 사이의 차이와 함께 Scaled L_2 와의 비교를 나타낸 것이며, 식 (7)에 의해 구해진다. Series 2는 real L_2 와 Scaled L_1 의 차이를 보여주고 있다.

$$L_{1SCALE} = \frac{L_1 \times \lambda_{L1}}{\lambda_{L2}} \quad (7)$$

여기서, L_1 은 L_1 주기의 수를 나타내며, λ_{L_1} 은 L_1 의 파장 길이이다. L_{1SCALE} 은 전리층에서 얻을 수 없는 새로운 virtual L_2 의 영향을 나타낸다.

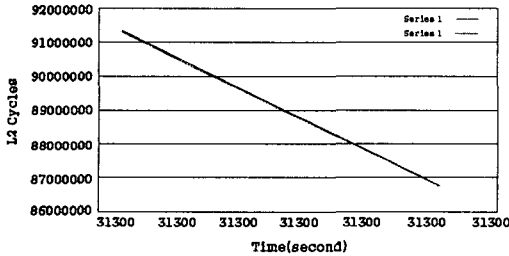


그림 2. 위성 11에 대한 real과 virtual L_2 비교

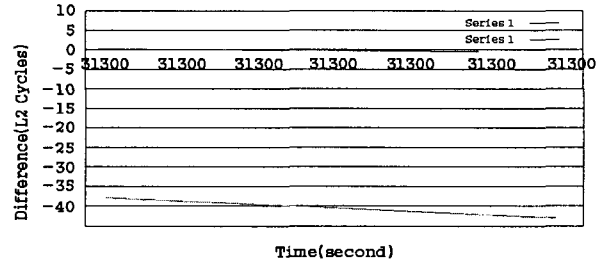


그림 3. real L_2 와 Scaled L_1 사이의 차이와 real과 virtual L_2 사이의 차이 비교

그리고 이 수들은 측량 기간의 계속적으로 증가하게 된다. virtual L_2 는 전리층의 평가에서 얻을 수 있으며 그것은 상대적인 일정함과 작은 량의 true L_2 로부터의 이동치를 그래프로 나타낸다. 시간 이상의 일정함과 작은 값을 나타내는 real과 virtual L_2 사이의 차이를 위의 그림 3에서 나타내었다. 반면, 그림 4에서는 데이터에서 700초에 대한 real과 virtual L_2 사이의 차이를 보이고 있다. 이 그래프로부터의 차이는 데이터 값이 일반적으로 상승하고 있는 것을 볼 수 있다. 이 편차는 기준국과 이동국 수신기 양쪽에서 수신기 시계 편차에 기인한다는 것을 알 수 있다. real과 virtual L_2 사이의 평균적인 차이는 약 0.44m이다. 이것은 virtual L_2 보다 정확도 면에서 많이 떨어지는 것을 알 수 있다.

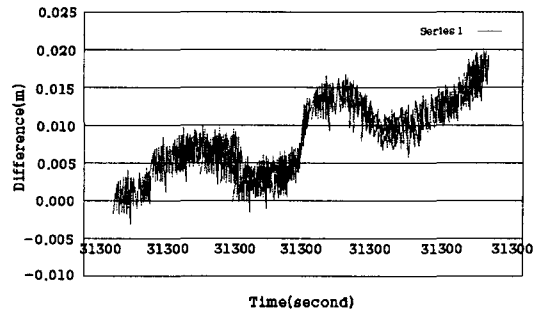


그림 4. 수신간격사이의 real과 virtual L_2 차이

4. 연구분석

이 테스트는 $\delta L_{2,rov}$ 의 정확도를 위해 실시하였다. 이 테스트에서 이주파 데이터는 기준국과 이동국 수신기 양쪽에 모두 적용되었다. 원 데이터를 static과 kinematic 방법 두 가지 방법으로 처리하였다. 이러한 이주파 이동국 데이터로부터 얻은 L_2 를 알고 있는 시작값으로 사용하게 되면 새로운 L_2 가 만들어지게 된다. 알고 있는 시작값과 함께 이 virtual L_2 가 상용 프로그램에서 처리되었을 때 모호정수는 static과 kinematic방법 둘 다에서 해석된다. 이 원 데이터를 통해 비교하면, 모호정수 해는 동일한 시간에 걸쳐 얻이지며, L_1 에 대한 모호정수는 모두 동일한 값으로 해석된다. L_2 모호정수에서는 몇몇의 차이가 있다. 그러나 이 차이는 L_1 모호정수에 따라 많은 차이가 있으며 L_2 는 wide lane 관측을 획득하기 위해 사용된다. $\delta L_{2,rov}$ 의 의미는 얻어진 환경설정에 대해서 모호정수 재해석을 위한 충분한 정확도를 나타낸다. 그 측정의 마지막 좌표는 real 데이터와 virtual 데이터를 사용한다. 그리고 static 모드에서 처리한 것은 표 1에 나타나 있다. 사실 불분명한 L_2 모호정수는 좌표 차이의 이유가 되는 마지막 위치해를 해석하기 위해 사용된다. 표 2는 데이터가 kinematic 모드에서 처리되었을 때 양쪽의 L_2 의 평균좌표를 나타낸다. 결과는 cm 수준에서 일치하는 것을 보여준다.

표 1 static 처리

	P_4 -real	P_4 -virtual	difference
X	148213.031	148213.016	0.015
Y	202356.377	202356.370	0.007
Z	32.462	32.448	0.014

표 2 kinematic 처리

	P_4 -real	P_4 -virtual	difference
X	148213.039	148213.031	-0.008
Y	202356.379	202356.377	-0.002
Z	32.472	32.462	-0.010

그림 5와 6은 real과 virtual 데이터의 X, Y 그리고 Z 좌표를 보여준다. 각각의 경우 두 값 사이에 편향이 있음을 보여주며, 항상 동일한 형식의 값이 아님을 알 수 있으며, 요구된 Z 좌표에 표시된 것을 보면 최소한의 정확도 요소만을 나타내고 있다. 그림 4는 관측 session 동안 이루어진 real과 virtual 데이터의 형상을 보여준다. 그것은 데이터 차이에 의해 얻어진 좌표에서 보여 지는 작은 차이를 기대하였다. 이 차이는 그림 5와 7에서 보여 진다. 그러나 그림 6에서는 그 차이가 명확하지 않다.

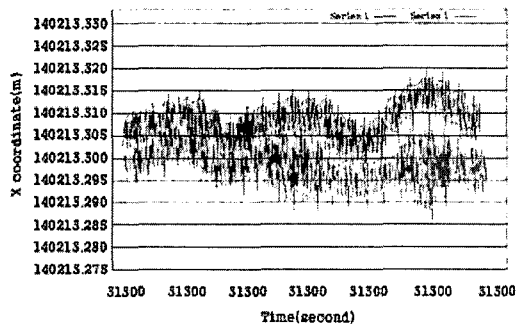


그림 5. P_4 에 대한 real 과 virtual의 X 좌표

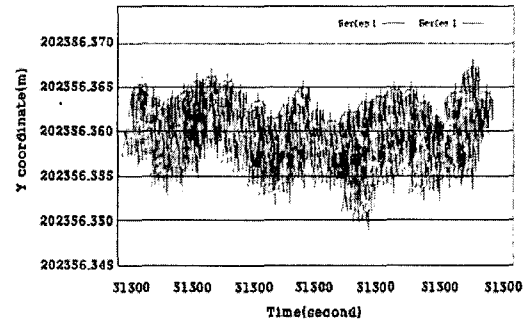


그림 6. P_4 에 대한 real 과 virtual의 Y 좌표

5. 결론

본 연구는 초기의 현장 테스트와 결론을 보여주고 있다. 나타내어진 결과로부터 사용가능한 이주파 수신기의 데이터를 사용하여 일주파 수신기에 대한 virtual L_2 를 산출할 수 있었다. δL_{2real} 는 우수한 정확도를 보여주었으며, 모호정수 해석이 가능한 알고 있는 L_2 값을 사용한다. 결과 좌표는 작은 값에 의해 real 좌표로부터 차이를 이 방법으로 해석하게 된다. kinematic 처리를 실시해본 결과, 이 결과는 평균 0.007m의 차이가 있으며, static으로 처리한 차이는 0.012m를 나타내고 있다. virtual L_2 는 L_1 위상에 대해 모호정수를 해석이 더욱 빠른 시간에 이루어진다.

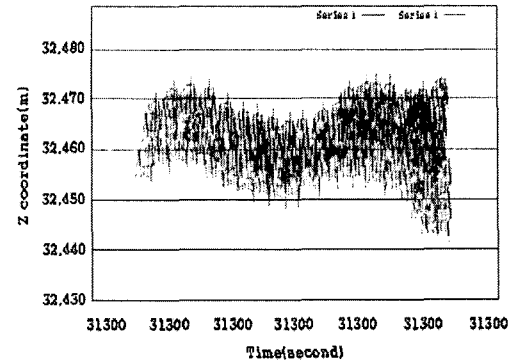


그림 7. P_4 에 대한 real 과 virtual의 Z 좌표

참고문헌

1. Young, C(1998). "Single Frequency OTF Kinematic GPS Bridge Deflection Monitoring", MSc thesis, University of Nottingham, Nottingham.
2. Ashkenazi, V., Dodson, A. H., Moore, T., and Roberts, G. W. (1996). "Real Time OTF GPS Monitoring of the Humber Bridge", *Surveying World*, 4(4).
3. Hofmann-Wellenhof, B., Lichenegger, H., and Collins, J. (1997). *GPS, Theory and Practice*, Springer Veriag, Austria.
4. Chape (1999). Sharpe XR GPS Receiver User Manual, Version 2.2 Symmetricom Ltd.