

GPS 코드 시각 전달에서 고도에 의한 대류층 매핑 함수 비교

유동희*

*부산가톨릭대학교

Comparison of Tropospheric Mapping Functions on Altitude in Time Transfer of GPS code

Dong-hui Yu*

*Catholic University of Pusan

E-mail : dhyu@cup.ac.kr

요 약

본 논문에서는 GPS 코드를 이용한 시각 전달에 대해 소개하고 이 중 대류층 지연 계산에 적용되는 매핑 함수 중 Chao 매핑 함수와 Niell 매핑 함수를 적용한 결과를 비교 분석한다.

ABSTRACT

This paper introduce the process of time transfer from GPS satellites and analyze the results the tropospheric delay estimation results according to Chao mapping function and Niell mapping function, respectively.

키워드

GPS, 시각 비교, 대류층 지연, Chao 매핑함수, Niell 매핑함수

1. 서 론

세계협정시인 UTC(Universal Time Coordinated)는 세계 각국의 표준시에 의해 결정되며, 그 중 한 방법으로 GPS(Global Positioning System)와 같은 위성항법시스템을 이용한 시간주파수 전달 기술이 있다[1].

GPS에서 송출되는 코드 신호를 이용해서 GPS 위성 시계와 지상의 수신기 시계의 시각 오프셋을 구하는데, 기본적으로 위성에서 송출된 GPS 신호가 지상의 GPS 수신기까지 전달되는데 걸린 시간을 정확히 구해 그 시각 오프셋을 구한다.

그런데 실제 여러 가지 요인에 의해 시간 지연이 발생하며 이는 시각오프셋의 오차로 작용한다.

이에 해당하는 오차들로는 그림 1과 같이 위성 시계 오차, 위성 궤도 오차, 수신기 시계오차, 다중경로 오차, 대기를 통과할 때 발생하는 이온층 지연 및 대류층 지연 등이 있다[2].

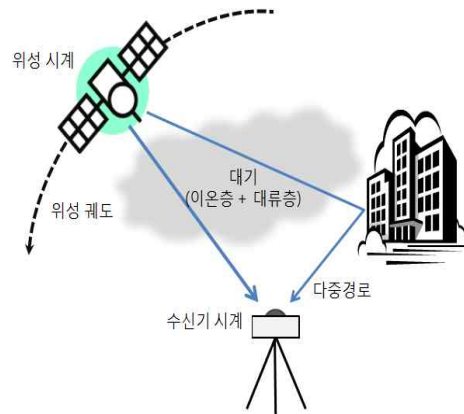


그림 1. GPS 신호 관측 모델

본 논문에서는 이 중 대류층 지연의 매핑 함수를 소개하고 두 가지 매핑 함수 적용에 따른 대류층 지연 예측 결과를 분석한다.

II. 대류층 지연

대류층 지연은 대류층의 굴절에 의해 발생한다. 그림 2와 같이, 대류층의 지연오차는 크게 두 가지로 나뉘는데 건조공기에 의한 건조지연(dry delay)과 습윤공기에 의한 습윤지연(wet delay)으로 구별된다. 지표로부터 11~12km 사이에 수증기가 존재하는 습윤층, 그 상층의 40~50km 까지를 건조층으로 대류층 지연을 계산한다.

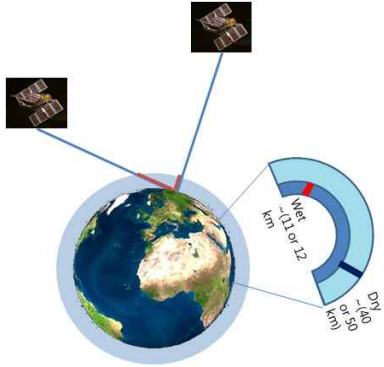


그림 2. 대류층 지연

대류층 지연량은 중간 대기층을 통과하는 라디오파에 의해 여행한 거리에 관계되므로 위성 고도각의 함수이다.

대류층 신호 지연은 천정방향시 가장 작고, 고도각이 낮아질수록 점점 커지는데 임의 고도각에 대한 지연오차는 천정지연(ZPD, Zenith Path Delay)과 매핑 함수(Mapping Function)의 곱으로 나타나며 식 1과 같다[3].

$$\text{Tropo_Delay} = \text{mfhydro}(\text{el}) \cdot \text{ZPDhydro} + \text{mfwet}(\text{el}) \cdot \text{ZPDwet} \quad (1)$$

그림 2에서와 같이, 위성을 관측하는 지점에 따라 신호를 수신하는 양각이 다른데, 양각의 크기에 따라 대류층을 통과할 때의 거리가 달라지게 된다. 이를 보상하기 위해 양각에 따른 매핑 함수가 연구되고 있다.

III. 대류층 지연 매핑 함수

매핑함수 m 은 다음과 같이 나타난다.

$$m = \frac{\text{경사방향지연}}{\text{천정방향지연}(\text{천정각}=0)} \quad (2)$$

건조지연은 습윤지연보다 약 10~20배정도 크기 때문에 적합한 건조 매핑 함수의 선택은 습윤 매핑 함수보다 매우 중요하다. 결과적으로 매핑 함수에서의 오차는 습윤지연보다 더욱 큰 오차를 포함하게 된다. 비록 건조지연요소가 정확하게 천정 방향으로 모델링이 가능하지만 경사요소의 세밀한 선택이 중요하게 된다.

본 논문에서는 시각비교를 위해 사용되고 있는 r2cggts 프로그램에 사용하고 있는 Chao 매핑 함수와 일반적으로 대류층의 매핑 함수로 널리 사용되고 있는 Niell 매핑 함수를 소개하고 각각의 매핑 함수를 적용했을 때의 대류층 지연 결과를 비교 분석한다.

Chao의 매핑함수는 가장 간단한 매핑함수로 다음과 같고 E는 양각을 나타낸다.

$$R_i = \frac{1}{\sin E + \frac{A_i}{\tan E + B_i}} \quad (3)$$

$$A_{\text{dry}} = 0.00143$$

$$B_{\text{dry}} = 0.0445$$

$$A_{\text{wet}} = 0.00035$$

$$B_{\text{wet}} = 0.017$$

Niell 모델의 연속 분수함수식에서도 경사 방향의 지연량을 천정방향으로 투영하게 된다. Niell의 건조지역 매핑 함수는 다음과 같고 고도에 따른 변화량도 고려하고 있다.

$$m = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\sin \epsilon + \frac{a}{\sin \epsilon + c}} + \frac{1}{\sin \epsilon} - \frac{1 + \frac{a_{ht}}{1 + \frac{b_{ht}}{1 + c_{ht}}}}{\sin \epsilon + \frac{a_{ht}}{\sin \epsilon + c_{ht}}} \quad (4)$$

Niell은 mapping 함수의 각 계수에 대해 여러 변화량에 대해 그 평균값을 표 1과 2와 같이 제시하였다. 다음의 표들은 그 변화에 대한 각각의 계수를 보여준다.

표 1 Niell 건조지연 평균 계수

Coefficient	$\phi = 15^\circ$	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 45^\circ$	$\phi = 60^\circ$	$\phi = 75^\circ$
a	$1.2769934 \cdot 10^{-3}$	$1.2683230 \cdot 10^{-3}$	$1.2465397 \cdot 10^{-3}$	$1.2196049 \cdot 10^{-3}$	$1.2045996 \cdot 10^{-3}$
b	$2.9153695 \cdot 10^{-3}$	$2.9152299 \cdot 10^{-3}$	$2.9288445 \cdot 10^{-3}$	$2.9022565 \cdot 10^{-3}$	$2.9024912 \cdot 10^{-3}$
c	$62.610505 \cdot 10^{-3}$	$62.837393 \cdot 10^{-3}$	$63.721774 \cdot 10^{-3}$	$63.824265 \cdot 10^{-3}$	$62.258455 \cdot 10^{-3}$

표 2 Niell 건조지연 계수(고도 조정)

Coefficient	Height Correction
a_{ht}	$2.53 \cdot 10^{-5}$
b_{ht}	$5.49 \cdot 10^{-3}$
c_{ht}	$1.14 \cdot 10^{-3}$

IV. 매핑 함수 비교

3장에서 소개된 매핑 함수에 대해 2012년 5월 27일 GPS 관측 파일과 항법 파일을 대상으로 프로그램 실행 결과를 그림 3에 나타내었다.

앙각이 50°에서 65° 사이의 경우는 Chao 매핑 함수와 Niell 매핑 함수의 결과가 매우 비슷함을 알 수 있고 65° 이상의 경우는 거의 일치함을 그래프에서 확인할 수 있다. 그러나 40°에서 50° 사이 앙각의 경우 두 매핑 함수 결과는 0.02정도의 차이를 나타내고 15° 정도의 앙각에서는 0.15 정도의 차이가 나고 10° 이하에서는 0.3에 가까운 차이를 나타냄을 확인할 수 있다.

일반적으로 대류층 지연 모델링의 천정지연값은 앙각이 너무 낮은 10°에서 20° 이하의 값은 그 정확도가 떨어져 대류층 지연 값의 범위에서 제외하고 있는데, 그림 3의 결과에서도 그 이유를 확인할 수 있다.

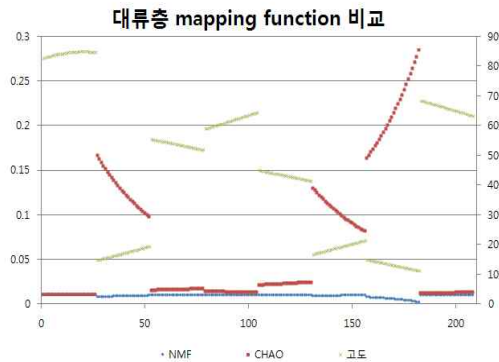


그림 3. 대류층 지연 매핑 함수 결과 비교

V. 결 론

본 논문에서는 GPS 코드를 이용한 시각 비교 및 대류층 지연에 대해 간단히 소개하고 대류층 지연 계산에 적용되는 매핑 함수 중 Chao 매핑 함수와 Niell 매핑 함수의 적용 결과를 비교하여 제시하였다. 향후 천정지연모델을 각 매핑 함수에 적용하여 결과를 비교분석할 계획이다.

참고문헌

[1] P. Defraigne, A. H. Harmegnies and G. Petit, "Time and Frequency transfer combining GLONASS and GPS data," Frequency Control and the European Frequency and Time Forum (FCS), 2011 Joint Conference of the IEEE International, pp.1-5, May 2011.

[2] 유동희, "GPS 코드 기반 정밀시각비교기법의 대류층 천정지연모델 분석", 한국컴퓨터정보학회 논문지, Vol. 17, No. 12, 2012.

회 논문지, Vol. 17, No. 12, 2012.

[3] Torben Schüler, "On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation", 박사학위논문, 2001.