
GPS 시각 전송에서의 대류층 지연 모델 영향 비교

유동희

부산가톨릭대학교

Effects of Tropospheric Delay Models for GPS Time Transfer

Donghui Yu

Catholic University of Pusan

E-mail : dhyu@cup.ac.kr

요 약

본 논문은 GPS 시각 전송 기법 중 GPS 신호가 전달되면서 발생하는 대류층 지연에 관한 연구로써, 대류층 지연에 적용하는 지연 모델에 따른 지연 값의 형태를 비교한다. GPS 시각 전송은 CGGTTS 국제표준을 따르고 있다. 일반적인 측지용 GPS 수신기의 경우, CGGTTS 형태의 시각 전송 값을 출력하지 않고 RINEX 형태의 값을 출력하는데, ROB에서 RINEX 형태의 값을 CGGTTS 형태로 변환하는 r2cggts 라는 프로그램을 공급하고 있다. 전세계 표준 시각을 결정하기 위해 TAI link에 참여하는 시각 실험실들은 모두 이 프로그램을 사용하여 주기적으로 CGGTTS 값을 BIPM에 전송한다. r2cggts 프로그램의 대류층 지연모델은 CHAO mapping function과 NATO 천정지연모델이 구현되어 있다. 현재 대표적 대류층 지연 모델은 Niell mapping function과 Saastamoinen 천정지연모델이 사용되고 있는 바, 이 모델들을 r2cggts 프로그램에 적용하여 시각 오프셋 결정을 위한 두 모델의 지연 결과값을 영향을 비교하고 분석한다.

ABSTRACT

This paper shows effects of tropospheric delay models among delay features occurred when GPS code signal is transferred for GPS Time Transfer. GPS time transfer uses CGGTTS as the international standard format. For geodetic GPS receiver, ROB has provided r2cggts software which generates CGGTTS data from RINEX data and all laboratories participated in TAI link uses the software and send the CGGTTS results periodically. Though Saastamoinen model and Niell mapping function are commonly used in space geodesy, r2cggts software applied NATO model and CHAO mapping function to the tropospheric delay model. Hence, this paper shows effects of two tropospheric delay models implementing Saastamoinen model and Niell mapping function for the time offset.

키워드

GPS, 시각 전송, 대류층 지연 모델

1. 서 론

GPS에서 송출되는 코드 신호를 이용한 시각 비교는 기본적으로 위성으로부터 송출된 신호가 수신기까지 전달되는데 걸린 시간을 정확히 구하는 것이 가장 중요한데, 실제 여러 가지 요인에 의해 오차가 발생한다. 이에 해당하는 오차들은 그림 2와 같이 위성의 시계 오차, 위성의

궤도 오차, 수신기의 시계오차, 다중경로 오차, 대기를 통과할 때 발생하는 이온층 지연 및 대류층 지연 등이 포함된다.

그리고 시각전달에 사용되는 코드는 이온층 프리 조합을 적용할 수 있도록 P1, P2 코드를 사용한다. 수신된 P1, P2 관측 값은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$P_{1,2} = \rho_{1,2} - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + I_{1,2} + Tr + \delta_{1,2}^P + \epsilon_{1,2}^P \quad (1)$$

$P_{1,2}$ 는 P1, P2 코드 각각을 표현하는 것이며, ρ 는 위성으로부터 수신기까지의 기하학적 거리로 항법메시지의 위성 궤도 정보와 수신기의 위치를 이용해서 구할 수 있다. c 는 빛의 속도, Δt_{rec} 는 수신기와 위성간의 시각비교결과며 시각비교 결과 얻어져야 하는 결과 값이다. Δt_{sat} 는 위성시계의 오프셋이고 이를 보정할 수 있도록 항법 메시지에 다항식의 계수들이 제공된다. $I_{1,2}$ 는 P1, P2 코드 각각의 이온층 지연, Tr 은 대류층 지연, $\delta_{1,2}^P$ 는 위성 하드웨어 지연이고 $\epsilon_{1,2}^P$ 는 노이즈 값이다. 이외에도 좀 더 정확한 시각비교를 위해서는 다른 요소들이 추가될 수 있으나 코드를 이용한 시각비교에서는 상기 요소들을 처리하도록 되어 있다[1][2].

본 논문에서는 상기 오류 요소 중 대류층 지연에 대한 모델들의 적용 결과를 비교하여 제시한다.

II. 대류층 지연 모델

대류권의 지연오차는 크게 두 가지로 나누는데 건조공기에 의한 건조지연(dry delay)과 습윤공기에 의한 습윤 지연(wet delay)으로 구별된다. 지표로부터 11~12km 사이에 수증기가 존재하는 습윤층, 그 상층의 40~50km 까지를 건조층으로 구분하여 대류층 지연을 계산한다. 대류권 지연은 중간 대기층을 통과하는 라디오파에 의하여 여행한 거리에 관계되므로 위성 고도각의 함수이다. 대류권 신호 지연은 천정방향시 가장 작고, 고도각이 낮아질수록 점점 커지는데 임의 고도각에 대한 지연오차는 천정지연(ZPD, Zenith Path Delay)과 mapping function의 곱으로 나타난다[3].

본 논문에서 비교하고자 하는 대류층 천정지연 모델로는 NATO 모델과 Saastamoinen 모델을, mapping function 모델로는 Chao mapping function과 Niell mapping function를 사용한다[4].

NATO 모델과 Chao mapping function은 시각 비교를 위해 전세계 시간 주파수 실험실에서 사용하고 있는 r2cggttss 프로그램에서 사용하는 모델이고, Saastamoinen 모델과 Niell mapping function은 대류층 지연 모델로 가장 널리 사용되고 있는 모델이다.

2.1 NATO model

NATO 모델은 r2cggttss 소스 프로그램에 적용된 대류층 지연 모델로써, 오직 고도만을 고려한 지연 모델을 제안하고 고도를 3단계로 구분해서 지연을 계산한다. 사용자의 해수면으로부터의 고

도가 $h(m)$ 일 때, 다음과 같은 지연모델을 제시하였다.

$$d_{trop}^{\epsilon}(h) = [d_{trop}^{\epsilon}(1) + d_{trop}^{\epsilon}(2) + d_{trop}^{\epsilon}(3)] \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

여기서, 사용자의 고도 h 에 따라 1km 이하인 경우

$$\begin{aligned} d_{trop}^{\epsilon}(1) &= N_s(1-h) + \frac{1}{2}(\Delta N(1-h^2)), \\ d_{trop}^{\epsilon}(2) &= 1430, \\ d_{trop}^{\epsilon}(3) &= 732. \end{aligned}$$

h 가 1km에서 9km 사이인 경우는

$$\begin{aligned} d_{trop}^{\epsilon}(1) &= 0, \\ d_{trop}^{\epsilon}(2) &= \frac{N_1}{c}(e^{-c(h-1)} - e^{-8c}), \\ d_{trop}^{\epsilon}(3) &= 732. \end{aligned}$$

고도가 9km이상인 경우

$$\begin{aligned} d_{trop}^{\epsilon}(1) &= 0, \\ d_{trop}^{\epsilon}(2) &= 0, \\ d_{trop}^{\epsilon}(3) &= \frac{105}{0.1424} \cdot e^{-0.1424(h-9)}. \end{aligned}$$

로 정의하였다. 여기서 N_s 는 평균 글로벌 굴절도(mean global surface refractivity)로 324.8로 정의하였다.

2.2 Saastamoinen 모델

Saastamoinen 모델은 지표면으로부터 11~12km까지는 습윤층, 그 이상에서 50km까지를 건조층으로 양분하여 표준 모델 식을 아래와 같이 제안하였다[5].

$$T_{Sus} = \frac{2.277 \times 10^{-3}}{\cos z} \left[P + \left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) e^{-B \times \tan^2 z} \right] + \delta R \quad (3)$$

T 는 온도(K), P 는 atmospheric pressure(mb), e 는 partial pressure of water vapour(mb), R_h 는 relative humidity(%)이다. B 와 δR 는 관측 스테이션의 고도에 의한 항으로 테이블 형태로 주어진다.

온도 변수 변환은 다음과 같이 이루어진다.

$$T(K) = T(\text{Celsius}) + 273.16 \quad (4)$$

압력, 온도, 습도 등은 측정되거나 표준 대기 모델에서 유도될 수 있는데, 고도의 함수로 압력, 온도, 습도는 주어진 모델에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} e &= R_h \exp(-37.2465 + 0.213166T - 0.000256908T^2) \\ P &= P_0 [1 - 0.000226(H - H_0)]^{5.225}, \\ T &= T_0 - 0.0065(H - H_0), \\ R_h &= R_{ho} \exp[-0.0006396(H - H_0)] \end{aligned}$$

여기서, P_0 , T_0 , $R_{h,0}$ 는 참조 고도 H_0 에 대한 표준 압력, 온도, 습도이며 기본적으로 P_0 는 total surface pressure로 1013.25mb, T_0 는 18°C, $R_{h,0}$ 는 50%, H_0 는 0m 가 표준 입력이다. z 는 천정각으로 90°에서 고도각을 뺀 값이다.

2.3 Chao mapping function

Chao의 mapping function은 가장 간단한 mapping function으로 다음과 같다.

$$R_i = \frac{1}{\sin E + \frac{A_i}{\tan E + B_i}} \quad (4)$$

Adry = 0.00143, Bdry = 0.0445,
Awet = 0.00035, Bwet = 0.017

2.4 Niell mapping function

Niell의 mapping function은 다음과 같다.

$$NMF_h(\epsilon) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1+c}}}{\sin \epsilon + \frac{a}{\sin \epsilon + \frac{b}{\sin \epsilon + c}}} \quad (5)$$

$$+ \left[\frac{1}{\sin \epsilon} \left(\frac{1 + \frac{a_{ht}}{1 + \frac{b_{ht}}{1+c_{ht}}}}{\sin \epsilon + \frac{a_{ht}}{\sin \epsilon + \frac{b_{ht}}{\sin \epsilon + c_{ht}}}} \right) \right]$$

ϵ 은 양각이고 h 는 km 단위의 수신기의 고도이다. []안의 값은 고도에 따른 값으로 설정되어 있다.

III. 대류층 지연 모델 적용 결과

두 쌍의 천정지연 모델과 mapping function 적용 결과는 다음과 같다.

r2cggts 프로그램의 NATO-Chao 모델은 양각의 영향이 거의 반영되고 있지 않은 것으로 분석되고 이에 비해 Saastamoinen-Niell 모델은 양각에 따라 시각차가 다양하게 나타나고 있다.

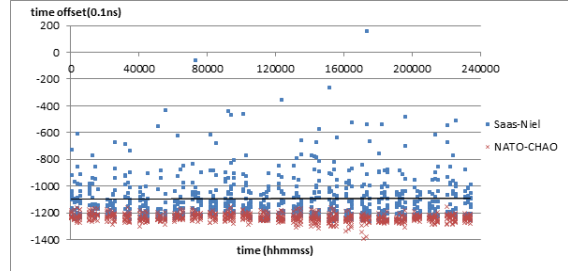


그림 1. 대류층 모델에 따른 시각차 비교

IV. 결론

본 논문에서는 세계협정시를 계산하기 위해 사용하고 있는 시각비교과정과 대류층 지연 모델의 적용 사례를 간단히 소개하였다. 또한, 시각비교를 위해 널리 사용되고 있는 r2cggts 프로그램에 구현되어 있는 대류층 모델인 NATO 모델과 Chao mapping function을 소개하고 현재 대류층 지연 예측 모델로 가장 많이 사용되고 있는 Saastamoinen 모델과 Niell mapping function을 구현하여 그 결과값을 비교하여 제시하였다.

참고문헌

- [1] P. Defraigne, G. Petit and C. Bruyninx, "Use of Geodetic Receivers for TAI", 33rd Precise Time and Time Interval (PTTI) meeting, pp.341-348, Nov. 2001.
- [2] J. Levine, "Time transfer using multi-channel GPS receivers," IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, UFFC-46, pp.392-398, 1999.
- [3] 천문정보 및 실용화 연구, 한국전문연구원, 2004.
- [4] NATO (North Atlantic Treaty Organization), North Atlantic Treaty Organization, Doc. 4294, pp. A-6-34 - A-6-37, 1993.
- [5] Tropospheric Effects(Physical Influence of GPS Surveying), from: <http://what-when-how.com/gps/tropospheric-effects-physical-influences-of-gps-surveying/>