

R005-30
Zoom meeting C : 11/2 AM1 (9:00-10:30)
9:45~10:00

複数のGNSS衛星群を用いる低コストなTEC観測システム開発

#河上 晃治¹⁾, 山本 衛²⁾, 斎藤 享³⁾, Ssessanga Nicholas²⁾

¹⁾京大,²⁾京大・生存圏研,³⁾電子航法研

Development of low-cost TEC observation system of using multiple GNSS constellations

#Koji Kawakami¹⁾, Mamoru Yamamoto²⁾, Susumu Saito³⁾, Nicholas Ssessanga²⁾

¹⁾Kyoto Univ.,²⁾RISH, Kyoto Univ.,³⁾ENRI, MPAT

The ionosphere is located at about 100 to 1000 km altitudes. It is part of the atmosphere that is partially ionized. The electron density is fluctuated owing to the perturbations from the lower atmosphere and/or the solar activity. Depending on the distribution of electrons, the ionosphere causes reflection and absorption of medium- and short-wavelength radio waves, and cause delay of propagation at very high and ultra high frequency radio waves. Severe fluctuations of the ionospheric density can cause positioning failures by the Global Navigation Satellite System (GNSS) such as GPS, or other satellite-to-ground communications. They also cause problems short-wave radio communication as it depends on the reflection of the radio wave by the ionosphere. In order to avoid obstacles of those, it is necessary to observe and analyze the electron density in the ionosphere and build a highly accurate prediction model.

The electron density is observed by analyzing the total electron content (TEC) that the radio waves passed from the satellite to the receiver. However, GNSS modules that can receive two-frequency signals are required for the measurement of the TEC. Such GNSS modules used to be very expensive (about a few millions of Japanese Yen). In recent years, on the other hand, an inexpensive, but multi-channel GNSS module appeared in the market at about tens of thousands of yen for the purpose of high-accuracy positioning.

In this presentation, we report the accuracy of this inexpensive module (u-blox F9P module) in TEC observation. However, the accuracy of TEC obtained by the module has not been well evaluated. Since the internal structure is not disclosed, we evaluated the accuracy by conducting actual observations. We compared the results with those from the GEONET receivers operated by the Geospatial Information Authority of Japan. In actual TEC observation, we developed a system to estimate TEC from the observation data. In order to highly accurate data, we have implemented a function that removes low elevation angle data, which is greatly affected by multipath error, and detects or corrects cycle slips.

In GPS, the estimation error of phase TEC was 5.7 TECU or less. Since the F9P module supports multiple GNSS constellations, we collect similar results with different GNSS constellations, i.e., QZSS, GLONASS, Galileo, Beidou, etc.

上空約 60km から 1000km に位置する電離圏では大気の一部が電離しており、電子密度が下層大気や太陽活動の影響によって活発に変動する。電子の分布によって電離圏は中波・短波帯電波の反射や吸収、超短波・極超短波帯電波の遅延を引き起こす。そのため、GPS 等の全球測位システム (GNSS) や衛星放送、電離圏による電波の反射を利用した短波通信などを利用するシステムに障害をもたらす要因となる。障害を回避するために、電離圏の電子密度の観測、解析および高精度な予測モデルの構築が必要となる。

電子密度の観測は主に人工衛星からの電波が受信機に到達するまでに通過した全電子数 (TEC) を解析することにより行われるが、二周波を同時に受信できるモジュールが必要である。この受信モジュールが数百万円と非常に高価であったのに対し、近年になって数万円程度の安価なものが自己位置推定用途で登場している。

本発表では、この安価なモジュール (u-blox F9P モジュール) の TEC 観測における精度の評価結果を報告する。モジュールの内部構造が明らかにされていないため、実際に観測を行い、その結果を国土地理院が日本全国に展開する GEONET 受信機網のデータと比較することで精度を評価する。実際に TEC 観測を行うにあたり、観測データから TEC を導出するシステムの開発を行った。高精度なデータを得るために、マルチパス誤差の影響が大きい低仰角のデータを除去し、位相の追尾の途切れを検出あるいは補正する機能を実装している。

GPS において、今回の環境では位相 TEC の誤差平均は 5.7(TECU) 以下であるという結果が得られた。F9P モジュールは GPS 以外にも複数の GNSS に対応しているため、受信から TEC の出力までを一元化した自律的に TEC 観測を行うシステムを開発し、それに組み込むことで安価に大量のデータを収集することが期待される。