

Gerçek Zamanlı PPP ile Troposferik Gecikme Kestirimi

Tropospheric Delay Estimation with Real-time PPP

Berkay Bahadır^{1,✉}

¹Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara

✉berkaybahadir@hacettepe.edu.tr

Özet

Atmosferin etkisi GNSS (Global Navigation Satellite System) sinyalleri için en önemli hata kaynaklarından bir tanesidir. Genel olarak iyonosfer ve troposfer, atmosferin GNSS sinyalleri üzerindeki toplam etkisini temsil etmek üzere kullanılan iki temel katmandır. GNSS sinyalleri için iyonosferin etkisi kullanılan frekansa bağlı olduğundan çift frekanslı sinyal kombinasyonları kullanarak etkisini büyük oranda ortadan kaldırmak mümkündür. Ancak troposferin GNSS sinyalleri üzerindeki etkisi kullanılan frekansa bağlı olmadığı için ilgili kombinasyonlar yardımıyla etkisini ortadan kaldırma mümkün değildir. Bu nedenle GNSS konum belirleme tekniklerinde uygulanan standart yaklaşım troposferin etkisini deneysel modeller aracılığıyla düzeltmektir. Troposferik gecikme, Hassas GNSS uygulamalarında düzeltilmesi gereken bir hata kaynağı iken diğer yandan ayrıca atmosferdeki su buharı miktarını temsil eden bir büyüklüktür. Bir diğer deyişle GNSS sinyalleri kullanılarak sinyal yolu boyunca atmosferdeki su buharı miktarı hakkında bilgi veren troposferik gecikmeyi elde edilebilir. Son yıllarda Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) geleneksel GNSS yöntemlerine bir alternatif olarak troposferik gecikme türetmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle IGS (International GNSS Service) tarafından gerçek zamanlı ürünlerin kullanıma açılması gerçek zamanlı troposferik gecikme kestirimi için PPP'yi popüler tekniklerden biri haline getirmiştir. Öte yandan Galileo ve BeiDou gibi yeni nesil küresel navigasyon sistemlerinin ortaya çıkması gerçek zamanlı PPP çözümünün hem konum belirleme hem de troposferik gecikme kestirimi açısından performansını iyileştirmek adına önemli fırsatlar sunmaktadır. Sonuç olarak yeni nesil küresel navigasyon sistemlerinin troposferik gecikme kestiriminde kullanımı GNSS topluluğu arasında oldukça ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda bu çalışmanın temel amacı GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou olmak üzere dört küresel uydu sisteminin, gerçek zamanlı PPP ile ZTD (zenith total delay) kestiriminde en güncel performanslarının değerlendirilmesidir. Ayrıca bu çalışma bu dört küresel sistemin ortak olarak kullanıldığı çoklu GNSS PPP çözümünü de gerçek zamanlı ZTD kestirimi için değerlendirmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel testler 3-16 Temmuz 2022 tarihleri arasında küresel olarak dağılmış 15 farklı IGS istasyonundan elde edilen günlük çoklu GNSS gözlemlerini içermektedir. Ek olarak IGS tarafından üretilen resmi troposfer ürünleri bu çalışmada PPP çözümleri için troposfer kestirimlerinin performansını değerlendirmek adına kullanılmıştır. Sonuçlar gerçek zamanlı troposferik gecikme kestirimi için GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou PPP çözümlerinin sırasıyla 1,09, 1,44, 1,07 ve 1,17 cm doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir. Bu analizler GPS, Galileo ve BeiDou PPP çözümlerinden elde edilen değerlerin gerçek zamanlı troposferik gecikme kestirimi için karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir. Troposferik gecikme kestirimi için GLONASS PPP çözümünden elde edilen doğruluk ise diğer çözümlerin bir hayli gerisinde kalmıştır. Troposferik gecikme kestiriminde çoklu GNSS PPP çözümünden elde edilen doğruluk ise 0,97 cm'dir. Bu sonuçlar çoklu GNSS PPP çözümünün GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou PPP çözümlerinin troposferik gecikme kestirimi performansını sırasıyla %11,4, %32,7, %9,7 ve %17,2 oranlarında iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı, PPP, Çoklu-GNSS, Troposferik Gecikme Kestirimi

Abstract

For GNSS (Global Navigation Satellite System) signals, one of the most crucial error sources is the influence of the atmosphere. Generally, the ionosphere and troposphere are two fundamental layers used to represent the total influence of the atmosphere on GNSS signals. As the influence of the ionosphere for GNSS signals depends on the applied frequency, it is possible to eliminate its impact substantially using dual-frequency combinations. However, since the effect of the troposphere on GNSS signals is

not dependent on the applied frequency, there is no possibility of eliminating its impact through corresponding combinations. Therefore, the standard procedure utilized in GNSS positioning techniques is to correct the tropospheric effect thanks to empirical models. While the tropospheric delay is an error source that needs to deal with in precise GNSS applications, it is also an amount that represents the water vapor content in the atmosphere. In other words, it is possible to acquire the tropospheric delay that provides information about the water vapor content along the signal path using GNSS signals. In recent years, Precise Point Positioning (PPP) has commonly been used to derive the tropospheric delay as an alternative to conventional GNSS methods. In particular, the reveal of IGS (International GNSS Service) real-time products has made PPP one of the most popular techniques for real-time tropospheric delay estimation. Besides, the emergence of new-generation navigation systems, namely Galileo and BeiDou, has offered considerable opportunities to improve the real-time PPP performance in positioning accuracy and tropospheric delay estimation. As a result, the use of new-generation navigation systems in tropospheric delay estimation has been an attractive topic within the GNSS community. In this regard, the principal objective of this study is to evaluate the latest performance of four global constellations, GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou, in ZTD (zenith total delay) estimation with real-time PPP. Also, this study assesses the multi-GNSS PPP solution that contains these four global constellations for estimating real-time ZTD. The experimental tests conducted in this study employ a daily multi-GNSS observation dataset collected at 15 globally distributed IGS stations for July 3-16, 2022. In addition, the official troposphere products generated by IGS are used in this study to evaluate the tropospheric delay estimation performance for PPP solutions. The results indicate that GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou PPP solutions present 1.09, 1.44, 1.07, and 1.17 cm accuracies for real-time tropospheric delay estimation, respectively. These analyses present those results obtained from GPS, Galileo, and BeiDou PPP solutions are comparable for real-time tropospheric delay estimation. For the tropospheric delay estimation, the accuracy acquired from the GLONASS PPP solution is far behind the other solutions. In the tropospheric delay estimation, the accuracy computed for the multi-GNSS solution is 0.97 cm. The results also reveal that the multi-GNSS PPP solution improves the tropospheric delay estimation performance of GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou PPP solutions by 11.4%, 32.7%, 9.7%, and 17.2%, respectively.

Keywords: *Real-time, PPP, Multi-GNSS, Tropospheric Delay Estimation*