

Symultaniczna estymacja troposfery techniką Precyzyjnego Pozycjonowania Punktu (STEPPP)

Mikrofalowe sygnały Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (GNSS) ulegają opóźnieniu w troposferze. Prawie 90% tego opóźnienia zależy od ciśnienia atmosferycznego, które może być wyznaczone z dużą dokładnością z numerycznych modeli prognozy pogody. Jednak pozostałe 10%, tak zwane opóźnienie mokre, zależy głównie od zawartości pary wodnej w atmosferze, które zmienia się w sposób dynamiczny. W związku z tym w aplikacjach GNSS wymagających najwyższej precyzji, np. w geodezji i geofizyce, mokre opóźnienie troposferyczne musi zostać wyznaczone wraz z innymi niewiadomymi parametrami, m.in. współrzędnymi, korektą zegara odbiornika i nieoznaczonościami fazowymi.

Chociaż opóźnienie troposferyczne jest uznawane za źródło błędów w precyzyjnym pozycjonowaniu GNSS, istnieje wiele możliwości jego wykorzystania w meteorologii. Lepsza znajomość rozkładu pary wodnej w atmosferze jest cenną informacją dla badań klimatu, poprawy prognoz pogody czy w monitorowaniu globalnego ocieplenia. Zdalne monitorowanie zawartości pary wodnej w atmosferze z wykorzystaniem systemów GNSS, zwane meteorologią GNSS, ma tą przewagę nad klasycznymi technikami pomiaru zawartości pary wodnej, że działa w każdych warunkach pogodowych i dostarcza ujednolicony produkt o wysokiej rozdzielczości czasowej i przestrzennej. Wykorzystując produkty troposferyczne wyznaczone z sieci naziemnych stacji GNSS możliwe jest odtworzenie trójwymiarowego rozkładu pary wodnej w atmosferze za pomocą techniki tomografii GNSS.

Obecnie obserwujemy dynamiczny rozwój systemów GNSS, tj. modernizację istniejących systemów (amerykańskiego GPS i rosyjskiego GLONASS) oraz budowę nowych systemów (w tym Europejskiego Galileo i chińskiego BeiDou). Ponadto, najnowsze osiągnięcia w zakresie wielordzeniowej architektury procesorów komputerowych i kart graficznych umożliwiają rozwiązywanie układów równań, które opisują matematyczną i fizyczną naturę złożonych problemów fizycznych. Powyższe osiągnięcia stwarzają więc możliwość do wyznaczania rozkładu pary wodnej w sposób maksymalnie spójny, poprzez kombinację na poziomie obserwacji. W tym projekcie zamierzamy opracować rewolucyjną metodę wyznaczania 4D rozkładu pary wodnej, którą nazywamy Symultaniczną estymacją troposfery techniką Precyzyjnego Pozycjonowania Punktu (STEPPP). W podejściu tym sieć nieruchomych (naziemnych) i ruchomych odbiorników GNSS przetwarza obserwacje z czterech systemów GNSS bazując na technice precyzyjnego pozycjonowania punktu, w której zamiast wyznaczać opóźnienie troposferyczne niezależnie dla każdej stacji, estymowane będzie pole mokrej refrakcyjności w zdefiniowanej przestrzeni (siatce). W przeciwieństwie do tomografii GNSS, STEPPP bazuje więc na surowych obserwacjach zamiast na przetworzonych produktach. Wartości mokrej refrakcyjności w węzłach siatki są wyznaczane ze wszystkich stacji w sposób równoczesny, tj. występują jako parametry wspólne w układzie równań. Mokra refrakcyjność może być przekształcona w gęstość pary wodnej, co daje kompletny model 4D rozkładu pary wodnej w atmosferze.

Naszym zadaniem jest opracowanie modelu funkcjonalnego i stochastycznego dla STEPPP, biorąc pod uwagę różnorodność źródeł obserwacji (ruchome i nieruchome stacje GNSS, sensory meteorologiczne, informacja z numerycznych modeli prognozy pogody) oraz przestrzenno-czasowe zależności w polu refrakcyjności. Będziemy analizować strukturę, tj. wymiary i (nie)regularność siatki refrakcyjności w zależności od rozmieszczenia stacji naziemnych oraz ograniczeń numeryczno-algebraicznych. Zaimplementujemy oprogramowanie, które realizuje model STEPPP z wykorzystaniem obliczeń wielowątkowych. Oprogramowanie i modele zweryfikujemy najpierw na podstawie obserwacji symulowanych, a potem danych rzeczywistych. Do eksperymentów terenowych wykorzystamy gęstą sieć stacji GNSS zbudowaną na potrzeby projektu. Wyznaczone pola refrakcyjności zostaną porównane z wynikami metod klasycznych, czyli tomografią GNSS, radio-okultacjami GNSS i odczytami z radiometru mikrofalowego.

Zbadamy potencjał nisko-kosztowych odbiorników GNSS do monitorowania troposfery poprzez zagęszczenie istniejących sieci GNSS z odbiornikami najwyższej klasy. W tym celu skonstruujemy 25 nisko-kosztowych odbiorników GNSS i rozmieścimy je na obszarze Wrocławia. Zbadamy również jak STEPPP wpływa na aplikacje z zakresu pozycjonowania, nawigacji i transferu czasu. We współpracy z fizykiem atmosfery będziemy również analizować zmienność i rozmieszczenie pary wodnej w niespotykanej dotąd rozdzielność czasowo-przestrzennej w trakcie występowania zjawisk atmosferycznych, aby lepiej zrozumieć efekty fizyczne w skali mikro i makro.

Wyniki projektu będą stymulować badania atmosfery i wzmocnią rolę systemów GNSS jako sensorów meteorologicznych. Rozwinięte podejścia i algorytmy będzie można uznać za prekursorsy fazy implementacyjnej Globalnego Geodezyjnego Systemu Obserwacyjnego (GGOS), której celem jest integracja różnych technik na poziomie obserwacji.