

Korekcje z internetu w czasie rzeczywistym

Precyzyjny DGPS

LECH WERESZCZYŃSKI

Pod koniec lat 70., gdy w pomiarach satelitarnych stosowano jeszcze system obserwacji dopplerowskich, w literaturze naukowej pojawiały się dywagacje na temat pozyskiwania współrzędnych w czasie rzeczywistym. W 1981 roku trafiłem na publikację wydaną przez jeden z uniwersytetów kanadyjskich, w której autor przewidywał, że dynamiczny rozwój technik satelitarnych umożliwi skonstruowanie odbiorników wskazujących od ręki współrzędne z do - kładnościami geodezyjnymi w dowolnym układzie.

Dziś, w roku 2002, wydaje się, że przewidywania sprzed ponad 20 lat w bardzo niedługim czasie mogą się sprawdzić. Szybki rozwój techniki GPS, dostęp do dwuczęstotliwościowych odbiorników mających możliwość wykorzystania precyzyjnych efemeryd (P-code), a także rozwój algorytmów i metod opracowania obserwacji oraz postęp w telekomunikacji pokazały, że możliwe jest zaprojektowanie takiego systemu pomiarowego, który – wykorzystując internet jako narzędzie – spełni wymagania stawiane klasycznym osnowom geodezyjnym. W 1989 r. pojawiły się w literaturze geodezyjnej opisy systemu WADGPS (Wide Area Differential GPS), który na podstawie analizy indywidualnych źródeł błędów w obserwacjach, modelowania zmian tych błędów w czasie oraz transmisji poprawek dla satelitów umożliwić miał uzyskanie precyzyjnych współrzędnych z pomiaru GPS w czasie rzeczywistym.

● **Koncepcja WADGPS**

Taki działający system do zastosowań geodezyjnych po raz pierwszy opisano w 1993 roku. Jego architektura obejmowała dwie podstawowe klasy współpracujących stacji GPS: tzw. stacje bazowe, które stale rejestrowały obserwacje GPS, i stacje zdalne mogące zmieniać położenie, które korzystały z obliczeń na stacjach bazowych. W systemie tym w celu poprawy obserwacji i uzyskania odpowiednio dokładnych współrzędnych nie dokonywano transmisji obserwacji GPS do centrum obliczeniowego, a zamiast tego przekazywano korekcje do odbiornika zdalnego.

Równoległe opracowano standardy RTCM (Radio Technical Commission for Maritime) do transmisji obserwacji lub/ i poprawek do pomiarów fazowych i pseudoodległościowych. Ponieważ dokładności korekcji do obserwacji obniżały się ze wzrostem odle-

głości pomiędzy odbiornikiem bazowym i zdalnym, problem tworzenia różnicowego systemu pomiarów GPS w czasie rzeczywistym sprowadzał się albo do odpowiedniego nasycenia terenu stacjami referencyjnymi, albo zastosowania algorytmów obliczeniowych, które pozwolą na uzyskanie obserwacji GPS z podwyższoną dokładnością. Idea WADGPS zakładała minimalizację liczby stacji referencyjnych przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnego zakresu działania systemu, w którym dokładne poprawki pozostaną użyteczne. Takie podejście wymusiło analizę indywidualnych źródeł błędów obserwacji fazowych i pseudoodległościowych i próbę modelowania matematycznego zmian tych błędów w czasie.

● **Działanie systemu**

W zależności od przewidywanych zastosowań jest wiele dróg i różne stopnie złożoności rozwiązań WADGPS. W najbardziej ogólnym ujęciu segment bazowy powinien niezwłocznie transmitować swoje obserwacje do głównej stacji obliczeniowej, która wyznacza poprawki i przesyła je do użytkowników systemu przez odpowiednie łącza telekomunikacyjne, takie jak satelity, telefonia komórkowa, radio lub specjalne pasma radionawigacyjne.

Segment kontrolny takiego systemu może pokrywać kontynent, kraj, a nawet i nieco mniejsze regiony, zależnie od potrzeb użytkowników. Położenie stacji kontrolnych musi być znane z poprzednich precyzyjnych wyznaczeń, a wszystkie obliczenia związane z obserwacjami GPS na tych stacjach powinny być przeprowadzane w sposób sekwencyjny w czasie rzeczywistym lub prawie rzeczywistym. Obliczenia muszą wyznaczać efemerydy satelitów z większą dokładnością niż te ogólnie dostępne i utrzymywać aktualność i dokładność korekcji do obserwacji na odpowiednim (wcześniej założonym) poziomie. Nowe poprawione efemerydy satelitów powinny być przekazywane w depeszy danych systemu WADGPS. Stacje bazowe powinny być wyposażone w odbiorniki dwuczęstotliwościowe umożliwiające sporządzenie map gęstości jonosfery. Z powodu przestrzennej i czasowej dekorrelacji tej warstwy atmosfery istotne jest, aby powodowane przez nią opóźnienie fali nośnej było matematycznie modelowane i estymowane, a wyniki te były przekazywane użytkownikowi systemu.

nych w czasie rzeczywistym, wykonano odpowiedni zestaw oprogramowania o nazwie RTNT (Real-Time Net Transfer). System ten optymalizowano pod kątem użytkowników posługujących się odbiornikami dwuczęstotliwościowymi z P-kodem. Globalne poprawki różnicowe są pakowane w depeszę dostępną przez internet z serwera skonfigurowanego w protokole TCP pracującego w JPL. Testy wyznaczania współrzędnych i w tym przypadku pokazały błąd położenia w granicach 10 cm i wysokości – 20 cm.

● Zbieranie i obróbka danych

Pokrycie obszaru odbiornikami referencyjnymi działającymi w systemie WADGPS nie jest jeszcze równomierne, ale oczekuje się, że w najbliższym czasie zostanie ulepszone. Dane zwracane ze stacji bazowych dotyczą dwuczęstotliwościowych pomiarów fazowych obserwowanych z rozdzielczością 0,02 mm i pseudoodległościowych z rozdzielczością 1 mm, wyznaczenia położenia z pomiaru GPS oraz efemeryd typu „broadcast”. W centrum obliczeniowym, gdzie znajduje się główny komputer, dane są kolekcjonowane pod nadzorem programów RTNT, które monitorują stan całego systemu. Otrzymywane dane sortuje się według znaczników czasu, transmisje zdublowane są odrzucane, a wszystkie dane z określonych epok pomiarowych przekazuje się do bufora wymiany danych w obszarze wydzielonym pamięci jednostki centralnej, skąd pobiera je program RTG. Szacowane parametry orbit oraz wpływ troposfery ze stacji referencyjnych systemu obliczane są raz na minutę przez „wolny” *processing* odbywający się w tle działania programu RTG. Następnie poprawki umieszcza się w innym buforze wydzielonym pamięci, tak aby mogły być czytane w tzw. szybkim procesie wyznaczania poprawek zegara. Korekcje zegara wyznaczane są co sekundę.

● Modelowanie orbit

System obejmuje 24-godzinną kontrolą parametry orbit obserwowanych satelitów z uwzględnieniem dynamicznego, lecz przewidywalnego charakteru ich zmian. Obecnie trwają prace nad uwzględnieniem w estymacji parametrów orbit czynnika skalującego i odchylenia orbit (Y-bias) wynikających z wpływu ciśnienia słonecznego. Pominiecie wpływu ciśnienia słonecznego może wywołać w okresie 1 do 2 tygodni błędy orbity sięgające 1 km. Alternatywą dla modelowania odpowiednich parametrów związanych z ruchem satelity pod wpływem ciśnienia słonecznego jest stosowanie modeli dotyczących zmian ruchu satelity, np. modeli ROCK4 i ROCK2. Przygotowywane są obecnie modele stochastyczne w celu lepszego oszacowania tych zmian. Opracowanie parametrów orbit w programie RTG nie uwzględnia jeszcze elementów pływów kontynentalnych i oceanicznych. Modelowanie tych zjawisk ma decymetrowy lub centymetrowy wpływ na elementy orbity satelity i przechodzi obecnie fazę testowania.

● Globalne poprawki różnicowe

Estymowane poprawki parametrów orbit i poprawki zegara dotyczą efemeryd typu „broadcast”. Dane te są pakowane w 560-bitowe porcje depeszy satelitarnej. Każda depesza zawiera 4 rozwiązania dotyczące orbit, wskazanie zegara na poziomie dokładności 4 m i poprawkę do zegara na poziomie dokładności 32 cm. Całkowita korekcja zegara jest sumą obu tych korekcji. Pobranie danych dla 32 satelitów trwa 8 sekund. Rozdzielczość poprawki zegara wynosi 1,5625 cms i jest ona 4 razy lepsza niż przy korzystaniu z danych precyzyjnych i aż 8 razy lepsza niż w systemie WAAS (Wide Area Augmentation System). Rozdzielczość poprawek do orbit satelitów wynosi 6,25 cms i jest to poziom taki sam jak w WAAS i przy danych precyzyjnych.

● Wyniki testów

Jeden ze sprawdzianów WADGPS polegał na wyznaczaniu w tym systemie pozycji samolotu DC-8 i porównywaniu wyniku z pozycją wyznaczaną metodą kinematyczną. Podobny test dotyczył wyznaczenia współrzędnych punktu stacjonarnego (oczywiście do porównania wykorzystano metodę statyczną). Z ich analizy wynika, iż łatwiejsze jest uzyskanie dobrej dokładności określenia współrzędnych dla obiektów statycznych. Potrzebny jest również pewien czas obserwacji na punkcie, aby uwzględnić wpływ wielotorowości sygnału satelitarnego. Oznacza to uzyskanie współrzędnych w czasie „prawie” rzeczywistym (tzn. występuje pewien okres stabilizacji uzyskiwanych współrzędnych na odpowiednim poziomie dokładności – czas stabilizacji współrzędnych na poziomie 10 cm wynosił ok. 20 minut od włączenia odbiornika).

● Już w najbliższej przyszłości

Nie można jeszcze dzisiaj powiedzieć, że poziom modelowania elementów mających wpływ na dokładność efemeryd, wskazania i poprawki zegara jest już zadowalający. Nasyconie stacjami referencyjnymi obecnie działającego systemu WADGPS również uważa się za niewystarczające. Ośrodki pracujące nad ulepszeniem globalnego różnicowego systemu uzyskiwania współrzędnych wiedzą, gdzie tkwią jego rezerwy i już teraz potrafią zastosować odpowiednie metody i algorytmy. Patrząc na historię prac dotyczących tworzenia globalnego różnicowego systemu GPS pozyskiwania współrzędnych w czasie rzeczywistym z dokładnościami, które dzisiaj zapewniają osnowy geodezyjne, można sądzić, że cel zostanie osiągnięty już w najbliższej przyszłości.

Autor jest współwłaścicielem warszawskiej firmy VIELETO Sp. z o.o. zajmującej się pomiarami GPS

R E K L A M A

Studium Podyplomowe Geodezji Numerycznej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie rozpoczyna nabór słuchaczy na rok akademicki 2002/2003

Informacje: www.geo.mapa.net.pl tel./faks (0 89)523-48-78 e-mail: w.dabrowski@planeta.uwm.edu.pl