



Satelitarny system wyznaczania pozycji w geodezji i nawigacji, cz. III

Technologie pomiarów GPS

GPS jest globalnym wojskowym systemem satelitarnym, a jego głównym użytkownikiem są siły zbrojne USA. Udośćępniono go również cywilom, ale z pewnymi dość istotnymi ograniczeniami. Służy do wyznaczania pozycji punktów nieruchomych i obiektów poruszających się. Technologiom względnym (różnicowym) pomiarów GPS poświęcona jest trzecia część Alfabetu GPS.

JANUSZ ŚLEDZIŃSKI

Historia zaczyna się od pomiarów statycznych i kinematycznych. Przewidywano niegdyś, że opracowanie tych dwóch technologii – pomiarów statycznych i kinematycznych – zadowoli zarówno wojskowych, jak i cywilnych użytkowników GPS. Jednak potrzeba zwiększenia dokładności wyników i skrócenia czasu pomiaru (a w konsekwencji – ulepszenie systemu GPS i konstruowanie coraz bardziej skomplikowanych odbiorników wyposażonych w zaawansowane oprogramowanie) doprowadziła do powstania następ-

nych technologii (tab. 1). Każda z nich służy do wyznaczania różnic współrzędnych, co oznacza, że do pomiaru niezbędne są przynajmniej dwa odbiorniki geodezyjne.

- Pomiaru statyczne GPS (*static relative positioning*) to technologia najwyższej dokładności. Instrumenty uczestniczące w pomiarze pozostają nieruchome w ciągu całej sesji (kampanii) obserwacyjnej. Możliwe jest zbieranie obserwacji z wielu sesji (np. po kilka godzin dziennie), zaś uzyskany materiał poddawany jest obróbce po zakończeniu prac (tzw. *post-processing* – tab. 2). Długość sesji obser-

ce Frame) nawiązującej polski układ geodezyjny do układu Europy Zachodniej stosowano obserwacje 5-dniowe. Tyle samo czasu trwają europejskie kampanie pomiaru sieci geodynamicznej CER-GOP (Central Europe Regional Geodynamics Project) i EXTENDED SAGET (Satellite Geodynamic Traverses).

- Natomiast pomiary kinematyczne GPS (*kinematic relative positioning*) są typową technologią nawigacyjną. Zarówno w tej, jak i we wszystkich dalej omówionych technologiach w pomiarze bierze udział jeden odbiornik stacjonarny (nieruchomy), tzw. stacja bazowa, względem którego wyznaczana jest pozycja jednego lub większej liczby odbiorników ruchomych (np. umieszczonych na obiektach poruszających się). W technologii pomiarów kinematycznych możliwe jest wyznaczanie pozycji tego obiektu w czasie rzeczywistym (natychmiastowe, np. co 1 lub co 5 sekund; tzw. *real time positioning* – rys. 2) albo cały zebrany materiał obserwacyjny opracowywany jest po zakończeniu pomiarów (*postprocessing*). W obydwu przypadkach w wyniku otrzymujemy obraz trasy, którą przebył ruchomy obiekt. Podczas całej sesji niezbędna jest ciągła łączność z obserwowanymi satelitami. Jeśli pomiar ma być wykonywany metodą fazową, to dla rozwiązania nieoznaczoności fazy (wyznaczenia liczby N) niezbędna jest inicjalizacja pomiaru. Znamy dwie grupy metod inicjalizacji – statyczne i kinematyczne. Inicjalizację metodą statyczną można wykonać przez: około 25-minutowy pomiar statyczny dowolnej bazy, pomiar znanego wektora (jeśli znamy współrzędne dwóch punktów oddalono-

Technologie pomiarów różnicowych GPS

- statyczna
- kinematyczna
- półkinematyczne, np. stop & go
- pseudostatyczna = pseudokinematyczna
- szybkie statyczne
- dyferencjalne GPS (DGPS)

1

wacyjnej zależy głównie od wymaganej dokładności, przeznaczenia sieci i odległości między punktami. Doświadczenia pokazują, że wynosi ona: 30-90 minut dla sieci lokalnych, 1-2 dni dla punktów odniesienia sieci krajowych i geodynamicznych o charakterze lokalnym i państwowym, 4-6 dni dla sieci kontynentalnych i podstawowych sieci geodynamicznych regionalnych. Na przykład do pomiaru sieci geodezyjnej lokalnego znaczenia o bokach do 15-20 km wystarczą obserwacje trwające około 1 godziny, a dla sieci EUREF (European Referen-

Uzyskiwanie wyników pomiarów

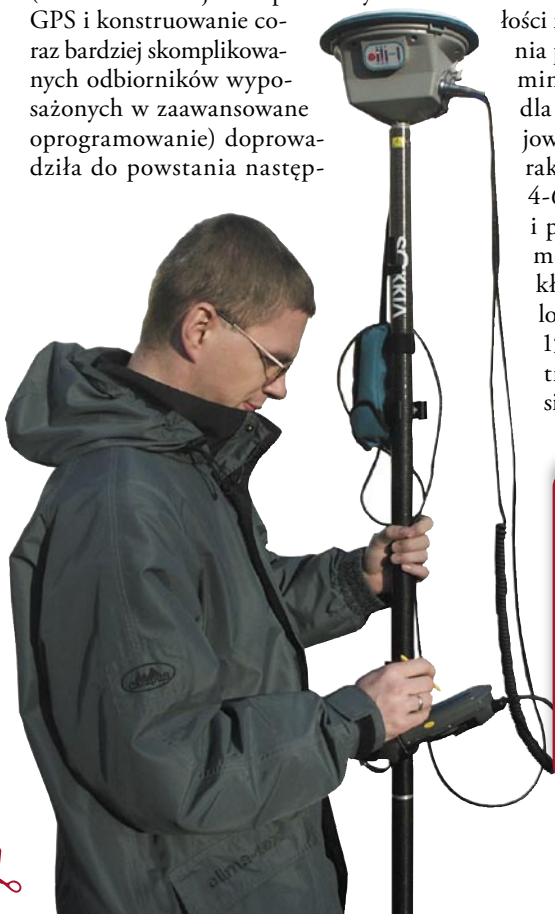
Po zakończeniu pomiarów (*postprocessing*)

- dane obserwacyjne zbierane z wielu sesji pomiarowych,
- opracowanie pomiarów następuje po zakończeniu prac polowych,
- zazwyczaj opracowuje się pomiary z wielu stacji pomiarowych,
- wynikiem opracowania są zazwyczaj współrzędne mierzonej sieci.

Podczas pomiaru w terenie (*real-time positioning*)

- pozycja wyznaczana jest z pomiarów wykonanych w jednym momencie,
- pozycja obiektu ruchomego jest znana natychmiast w terenie,
- możliwe wyznaczenie toru (trajektorii) obiektu ruchomego,
- RTK jest podstawą systemów nawigacyjnych wykorzystywanych przez użytkowników na lądzie, morzu i w powietrzu.

2



nych o kilkanaście metrów, wykonujemy na nich pomiar statyczny przez około 5-10 minut), pomiar statyczny z zamianą anten (oba odbiorniki wykonują pomiar przez około 5 minut, a potem następuje przełączenie anten i ponownie prowadzi obserwację przez około 5 minut).

Inicjalizacja pomiarów metodą statyczną w technologiach kinematycznych jest czynnością dość uciążliwą. Dlatego ostatnio pojawiły się nowe metody inicjalizacji pozwalające na wyznaczenie liczby N z obserwacji odbiornikiem ruchomym. Typowym przykładem jest kinematyczna metoda inicjalizacji nazywana *on-the-fly* (OTF). Nowsze typy odbiorników GPS

Zasady inicjalizacji OTF (*on-the-fly*)

- Inicjalizacja odbiornika GPS = wyznaczenie nieoznaczoności fazy N
- Sposób oparty na jednoczesnym wykorzystaniu pomiarów kodowych i fazowych
- $d = N\lambda + \varphi\lambda$
 d – znane na podstawie pomiarów kodowych
 φ – znane na podstawie pomiarów fazowych
 λ – znane (bo znane są częstotliwości sygnału satelitów GPS)

3

mają zainstalowane oprogramowanie pozwalające stosować ten sposób polegający na łącznym wykorzystaniu pomiarów kodowych i fazowych (tab. 3). Wyznaczenie nieoznaczoności fazy realizuje się na podstawie wzoru:

$$d = N\lambda + \varphi\lambda$$

Jeśli d wyznaczymy z pomiarów kodowych, φ z fazowych, zaś λ jest znane (gdyż znane są częstotliwości, a więc i długości fal, na jakich pracuje GPS), to wówczas jedyną niewiadomą jest całkowita liczba N. Dla jednoznacznego jej określenia odległość d musimy znać z dokładnością przynajmniej połowy długości fali λ . Może to wymagać zastosowania sposobu iteracyjnego, ponieważ pomiary kodowe wykonane nawet na kodzie P są znacznie mniej dokładne od fazowych.

Innowacjom technologicznym nie ma końca. Wysiłki konstruktorów odbiorników i geodetów idą w kierunku skrócenia czasu pomiaru GPS w terenie i stworzenia technologii wyznaczania położenia punktów, która nie wymagałaby wykonywania długotrwałych obserwacji statycznych.

• Pierwszą, należąca do grupy półkinematycznych (*semi-kinematic relative positioning*), była technologia *stop and go*,

co można przetłumaczyć jako „zatrzymaj się i idź dalej”. Jest ona kombinacją technologii statycznych i kinematycznych. W pewnym okresie wydawała się bardzo atrakcyjna, jednak jej wady spowodowały, że zaczęto szukać innych rozwiązań. W pomiarze *stop and go* niezbędna jest inicjalizacja instrumentu na początku pomiaru. Niewątpliwą zaletą tej technologii jest to, że odbiornik ruchomy wykonuje pomiary na kolejnych stanowiskach tylko przez 1-2 minuty (na każdym miejscu tylko się „zatrzymujemy” i zaraz „idziemy dalej”). Jednak w ciągu całej sesji pomiarowej (w czasie pomiaru, a nawet transportu urządzenia między stanowiskami) niezbędna jest nieprzerwana łączność z przynajmniej 4 satelitami GPS. Jest to główna wada tej technologii uniemożliwiająca jej zastosowanie w terenie o wysokiej zabudowie, w lesie itd. Przejazd pod drzewami, wiaduktem lub mostem przerywa pomiar.

• Następnym rozwiązaniem – usuwającym podstawową wadę *stop and go* – jest technologia pseudostatyczna/pseudokinematyczna (*pseudo-static = pseudo-kinematic relative positioning*), polegająca na dwukrotnym pomiarze GPS na każdym wyznaczonym punkcie. Nie wymaga ona nieprzerwanej łączności z satelitami podczas transportu odbiornika z punktu na punkt. Po wykonaniu pomiarów na kolejnych punktach sieci (każdy z nich trwa 10-15 minut), na ostatnim czekamy 1-2 godziny na zmianę konfiguracji satelitów i powtarzamy całą procedurę (*reoccupation*). Ten podwójny pomiar GPS na każdym stanowisku przy różnych konfiguracjach satelitów zastępuje proces inicjalizacji. Zaletą tej technologii jest to, że nie jest wymagana łączność z satelitami podczas transportu odbiornika między punktami, wadą natomiast konieczność dwukrotnego stawania w tym samym miejscu.

• Jednokrotny pomiar na każdym wyznaczonym punkcie bez potrzeby ciągłego śledzenia satelitów w czasie transportu odbiornika z punktu na punkt umożliwia technologia szybka statyczna (*fast/rapid static relative positioning*). Wymaga ona jednak pomiaru odbiornikami dwuczęstotliwościowymi (z kodem P) z wbudowanym specjalnym oprogramowaniem. Czas obserwacji na stanowisku zależy od liczby obserwowanych satelitów i wynosi około 20 minut przy 4 satelitach, 15 minut przy 5 satelitach i około 8 minut przy 6 satelitach. Istotą pomiaru jest szybkie wyznaczanie nieoznaczono-

ści fazy przy wykorzystaniu kombinacji pomiarów kodowych i fazowych na obu częstotliwościach L1 i L2. Technologia ta należy dzisiaj do najczęściej używanych.

• Pomiary dyferencjalne GPS (*DGPS – differential GPS*) są szczególnym przypadkiem pomiarów względnych. Technologia DGPS opiera się w zasadzie na pomiarach nawigacyjnych kodowych (pseudoodległości) wykonywanych w czasie rzeczywistym, choć ostatnio stosowane są już pomiary fazowe i *postprocessing*. Wykorzystywany jest fakt, że wpływy błędów ośrodka (głównie troposfery i jonosfery) w danej chwili na pomiary na stacji bazowej i na niezbyt odległym punkcie wyznaczanym są takie same. Stacja bazowa jest umieszczana na punkcie o znanych współrzędnych i jednocześnie na bieżąco określa ona swoje położenie z pomiarów GPS. Różnice między znanymi współrzędnymi stacji bazowej i wyznaczonymi z poszczególnych pomiarów (np. co sekundę) traktowane są jako poprawki, o które należy skorygować również wyznaczenia współrzędnych na punkcie ruchomym. Dla ich obliczenia wykorzystuje się rachunek różniczkowy (stąd nazwa „differential” GPS). Stosowane dzisiaj korekcje dotyczą albo wprost współrzędnych punktu ruchomego, albo zmierzonych odległości do satelitów, na podstawie których wyznaczane jest położenie tego punktu. Istotą DGPS jest również i to, że poprawki transmitowane przez stację bazową do odbiornika ruchomego są w nim na bieżąco wykorzystywane do obliczania pozycji anteny. Przekaz ten może się odbywać przy wykorzystaniu różnych środków: stacji radiowej UKF, telefonii komórkowej, internetu itd. Dokładność pomiarów DGPS opartych tylko na pomiarach kodowych wynosi 1-2 m. Precyzja ta zupełnie wystarcza do celów nawigacyjnych, np. ustalania pozycji radiowozów policyjnych, ambulansów pogotowia ratunkowego, pojazdów straży pożarnej, pociągów czy samochodów. Zastosowanie pomiarów fazowych pozwala określać współrzędne z dokładnością centymetrową. Na tej zasadzie pracują dzisiaj różne krajowe i regionalne systemy nawigacyjne morskie i lotnicze.

CDN.

PROF. JANUSZ ŚLEDZIŃSKI JEST PRACOWNIKIEM NAUKOWYM INSTYTUTU GEODEZJI WYŻSZEJ I ASTRONOMII GEODEZYJNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ