

GPS ze wspomaganie inercyjnym

# TEST SPAN

19 lipca w Krakowie przeprowadzono pierwszy w Polsce pokaz działania systemu SPAN (Synchronized Position, Attitude, Navigation). Chodziło o sprawdzenie jego pracy w warunkach śródmiejskich. Wyniki 30-minutowego testu okazały się bardzo obiecujące.

ERYK J. LIPIŃSKI

## • „MIEJSKI WĄWÓZ”

Skuteczne wykorzystanie techniki GPS do pozyskiwania wiarygodnych i dokładnych danych lokalizacyjnych na terenach miast jest ograniczone koniecznością utrzymywania przez antenę odbiornika GPS bezpośredniej linii odbioru sygnału z co najmniej 4 satelitów GPS, a więc wymogiem widoczności nieba. Niestety, im bliżej centrum miasta, tym warunek ten jest trudniejszy do spełnienia. Jednocześnie to właśnie w centrach miast najczęściej jest potrzeb lokalizacyjnych związanych z nawigacją, geodezją i kartografią. Zresztą problem ten znany jest dobrze także firmom prowadzącym inwentaryzacje drogowe – tu przeszkodą prawie nie do pokonania potrafią być zadrzewienia i lasy.

Producenci starają się przezwyciężyć te ograniczenia i połączyć w jeden system pomiarowy GPS oraz technologie zupełnie niezależne od zewnętrznych sygnałów radiowych, na przykład nawigację inercyjną (INS – Inertial Navigation Systems). System SPAN (Synchronized Position, Attitude, Navigation) kanadyjskiej firmy NovAtel jest rozwiązaniem dla aplikacji wymagających nieprzerwanego ustalania pozycji, prędkości, kierunku i wysokości. W ramach tego systemu osiągnięto wysoki stopień integracji jednostki inercyjnej, tzw. IMU (Inertial Measurement Unit), składającej się z wielu żyroskopów laserowych i akcelerometrów, oraz podsystemu GPS RTK.

## • GODZENIE PRZECIWIENSTW

Technologie GPS oraz INS świetnie nadają się do integracji, głównie dlatego, że doskonale się uzupełniają. Tabela poniżej pokazuje główne cechy funkcjonalne obu systemów. Połączenie ich zalet przy jednoczesnym ograniczeniu wad pozwoliła na stworzenie nowego systemu pozycjonowania, który w przeciwieństwie do konwencjonalnego GPS:

- jest w dużym stopniu niezależny od chwilowych zaników (częściowych i całkowitych) sygnału GPS,

- stabilniej niż GPS wyznacza rzędną pionową,

- pozwala na wykonanie pozycjonowania nawet w obszarach bez sygnału GPS (np. w tunelach),

- nadaje się do sprawdzania dokładności GPS, gdyż jest wspomagany niezależną od GPS technologią inercyjną.

Wśród istniejących na rynku systemów GPS/INS SPAN wyróżnia się rozwiązaniem „Tightly Coupled GPS/INS” (ściślejszej integracji GPS i INS). Charakterystyczną jego cechą jest bieżący przepływ informacji pomiędzy odbiornikiem GPS a jednostką IMU (służy do tego specjalna

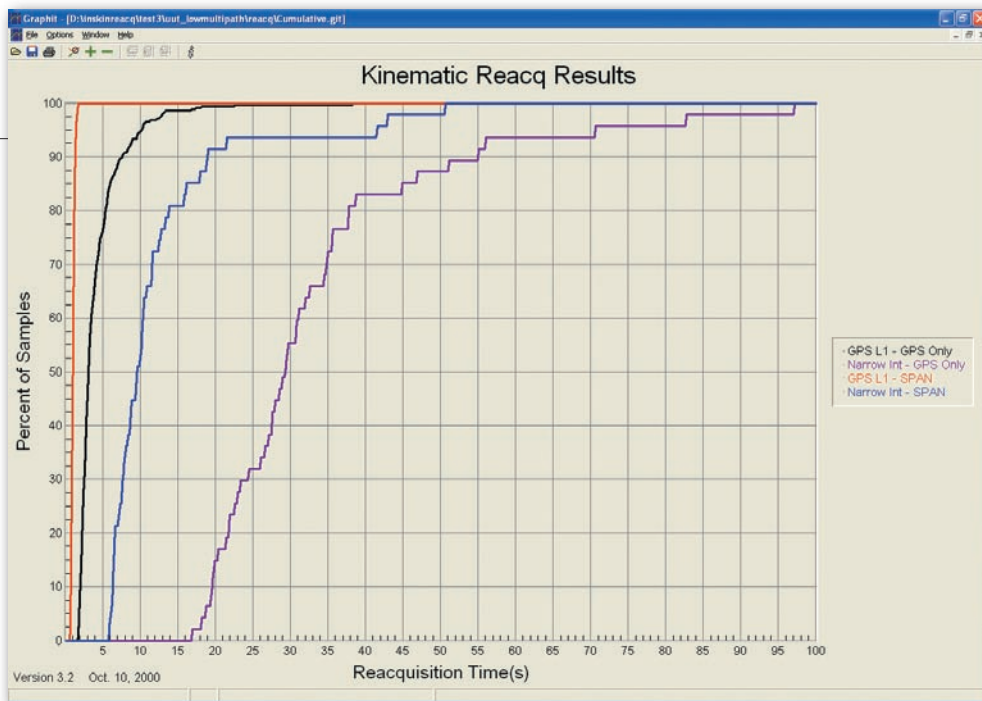
karta interfejsu wbudowana do odbiornika GPS). Dzięki temu obserwacje GPS używane są na bieżąco do modelowania błędów jednostki IMU w celu ograniczenia wzrostu błędów rozwiązania INS. Z kolei rozwiązanie INS używane jest do wspomaganie reaktywacji sygnału satelitarne i RTK po chwilowym zaniku GNSS. Dzięki temu odbiornik RTK nie przerywa pozycjonowania przy krótkotrwałym spadku liczby widocznych satelitów z 5 do 1.

W ramach systemu SPAN wykorzystany jest najnowszy silnik GPS firmy NovAtel: odbiornik ProPak-V3, działający z szybkim protokołem szeregowym RS-422. Odbiornik ten obsługuje obydwa dostępne częstotliwości GPS (L1 i L2), jest przygotowany do pracy autonomicznej (1,5 m RMS), z GLONASS, z sygnałem korekcyjnym systemu OmniStar (10 cm RMS), EGNOS (0,8 m RMS) oraz w technice RTK (1 cm + 1 ppm).

Jednostka inercyjna IMU jest klasy „taktycznej”, a więc jest to urządzenie prawie identyczne z używanym do kierowania raketami balistycznymi. SPAN wykorzystuje jednostkę NovAtel FSAS,

## GŁÓWNE CECHY FUNKCJONALNE SYSTEMÓW GPS I INS

Cecha	charakterystyka pracy GPS	charakterystyka pracy INS
Niezależność	wymaga zewnętrznego sygnału GPS	nie wymaga jakichkolwiek sygnałów zewnętrznych
Dokładność rzędnej pionowej	kilka razy gorsza niż poziomej	kilka razy lepsza niż poziomej
Dynamika dokładności	dokładność silnie waha się i zależy od śledzonych satelitów, geometrii i trybu pozycjonowania	dokładność stabilna z epoki na epokę, ale ulega stopniowej degradacji w czasie
Charakterystyka wyników	może dostarczyć bezwzględnych współrzędnych	dostarcza dokładnej, ale względnej współrzędnej
Dane o kierunku	dane o kierunku ruchu tylko jako funkcja prędkości (azymut i nachylenie)	dostarcza pełnych danych o kierunku w 3 wymiarach
Częstotliwość pozycjonowania	maksymalna częstotliwość pozycjonowania 20 Hz	częstotliwość pracy do 200 Hz



Rys. 2. Wykres pokazuje różnice w czasie odzyskania pozycji po utracie sygnału GPS przez zestaw GPS wyposażony w SPAN (kolory czerwony i niebieski) oraz bez niego (kolory czarny i fioletowy)

## POJĘCIA

- **SPAN** – Synchronized Position, Attitude, Navigation (zsynchroizowana pozycja, kierunek, nawigacja).
- **Tightly Coupled System** – system o ścisłej integracji – połączenie GPS i jednostki IMU, które umożliwia stałą wymianę informacji, umożliwiając w rezultacie pracę odbiornika GPS przy widoczności 1-4 satelitów, tak jak w czasie pracy przy 5 satelitach.
- **IMU** – Inertial Measurement Unit – inercyjna jednostka pomiarowa.
- **INS** – Inertial Navigation System – inercyjny (bezwładnościowy) system nawigacyjny.



Rys. 3. Odbiornik NovAtel ProPak-V3



Rys. 4. Jednostka IMU - FSAS

## WARUNKI EKSPERYMENTU

19 lipca w Krakowie odbyło się Seminarium SPAN zorganizowane przez firmy GPS.PL oraz NovAtel Europe, Ltd. W seminarium wzięli udział eksperci z Instytutu Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej, Państwowego Instytutu Telekomunikacyjnego, firmy Geofizyka Toruń i TeleAtlas Polska. W programie seminarium znalazł się pierwszy w Polsce pokaz działania SPAN. System SPAN składał się z geodezyjnego odbiornika 2-częstotliwościowego NovAtel ProPak-V3 połączonego z jednostką IMU FSAS. Odbiornik pracował podczas pokazu z częstotliwością 1 Hz (nie wykorzystywał pełni swoich możliwości w tym zakresie, wynoszących 20 Hz). Odbiornik GPS nie był korygowany – pracował całkowicie autonomicznie.

System SPAN wymaga kalibracji wstępnej, polegającej na pomierzeniu taśmą od-

ległości pomiędzy anteną GPS a jednostką IMU, a następnie rejestracji pełnego obrotu. Kalibracja nie wymaga punktu o znanych współrzędnych (np. osnowy). Procedurę kalibracyjną wykonano tuż przed eksperymentem. Jako systemu porównawczego użyto drugiego identycznego odbiornika NovAtel ProPak-V3, pracującego jednak bez jednostki IMU. Anteny GPS obydwu odbiorników zostały zainstalowane na dachu miniwana w odległości 1 metra od siebie. Rejestracja epok pomiarowych (co sekundę) była więc prowadzona równolegle w takich samych warunkach odbioru dla obu systemów: SPAN i porównawczego.

Założeniem testu było sprawdzenie pracy systemu w warunkach śródmiejskich. W tym celu zaplanowano 30-minutową trasę przez centrum Starego Miasta w Krakowie – przejazd samochodem pomiarowym w obrębie Plant (drzewo-

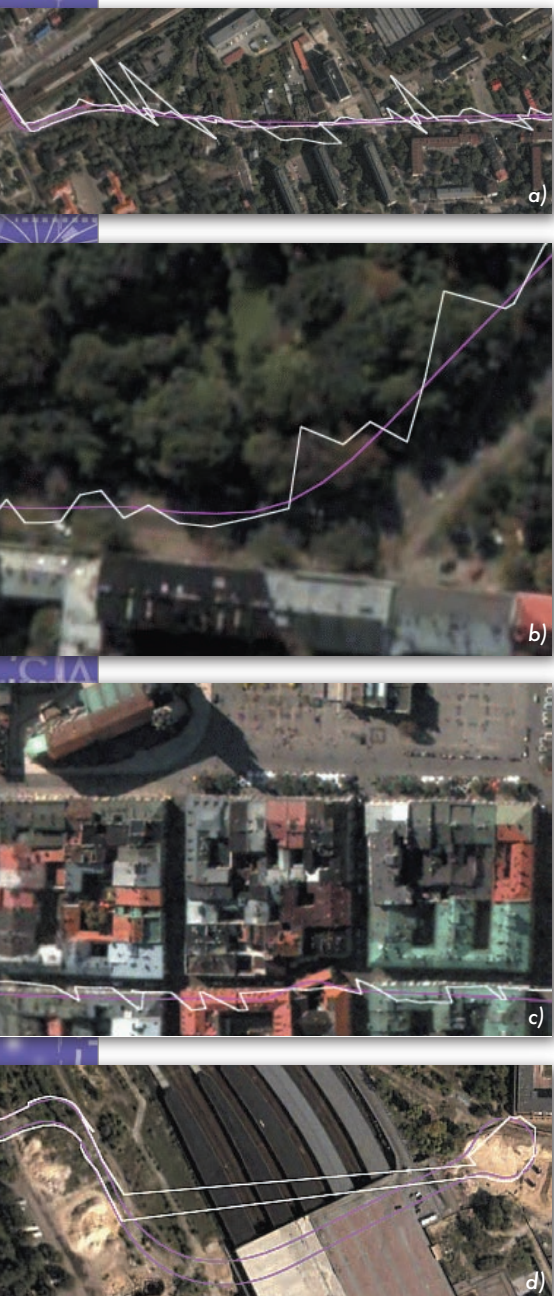
Rys. 5. Panel kontrolny systemu SPAN



która nie jest objęta ograniczeniami eksportowymi USA i może być swobodnie przewożona na terenie UE. Opcjonalnie możliwy jest postprocessing danych w programie NovAtel Inertial Explorer. Postprocessing pozwala na korekcję różnicową danych z plikami RINEX, korekcję PPP (Precise Point Positioning) z plikami efemeryd precyzyjnych oraz korekcję błędów jednostki IMU poprzez odwrócenie strzałki czasu w obliczeniach, co pozwala na dalsze zwiększenie dokładności zbieranych danych lokalizacyjnych.



Rys. 6. Kalibracja wstępna systemu



Rys. 7. Wyniki testu SPAN. a) Linia koloru białego: wynik pracy odbiornika porównawczego (bez SPAN). Widać bolączki GPS typowe dla pracy na obszarach miejskich: ciągłe, krótkie (5-15 s) zaniki sygnału, częste spadki liczby satelitów do 1-3 oraz błędy odbicia. Nałożenie wyników pracy SPAN pokazano linią czerwoną. b) Zakręt pod całkowicie zwartym drzewostanem (ul. Basztowa przy Plantach). c) Przejazd ulicą Świętego Jana przy Rynku (efekt studni). d) Przejazd tunelem pod płytą dworca i z powrotem

stan w pełni ulistnienia, brak widoczności nieba), wąskimi uliczkami przy Rynku (efekt studni). Dopełnieniem testu był przejazd najdłuższym dostępnym w Krakowie tunelem pod płytą Dworca Głównego. Aby utrudnić zadanie, zaplanowano przejazd podwójny: wjazd do tunelu, nawrót na rondzie z niewielką szansą na uzyskanie pozycji GPS oraz powrót. Chciano w ten sposób zaobserwować wpływ dryftu jednostki IMU na błąd pozycjonowania w warunkach, kiedy rozwiązanie ścisłej integracji nie może działać ze względu na całkowity brak satelitów GPS. Wyniki testu wyeksportowano do programu Google Earth, która to przeglądarka dysponuje dla centrum Krakowa stosunkowo wysokiej jakości zdjęciem satelitarnym.

#### • WYNIKI EKSPERYMENTU

Obok pokazujemy wyniki nałożenia wyników badań na zdjęcie satelitarne Google Earth. Przesunięcie zarejestrowanego toru w stosunku do zdjęcia należy złożyć na karb układu odwzorowania Google Earth lub też braku korekcji odbiornika GPS. Najbardziej rzuca się w oczy kwestia dostępności pozycji.

#### PARAMETRY TECHNICZNE SPAN

- Gyro Rate Bias < 0,75°/h
- IMU Measurements 200 Hz
- INS Position 200 Hz
- RT-20 < 20 cm CEP
- RT-2 1 cm + 1 ppm CEP

#### ZASTOSOWANIA

- tworzenie map cyfrowych
- inwentaryzacje dróg
- kontrola torów kolejowych
- inwentaryzacje lotnisk
- certyfikacja samolotów
- obronność
- badania naukowe

Tam, gdzie odbiornik GPS sobie nie radzi, system SPAN kontynuuje pracę bez widocznego pogorszenia dokładności i bez charakterystycznych dla pomiarów GPS w mieście błędów wielotorowości sygnału. Jednostka SPAN korzystała z rozwiązania Tightly Coupled – GPS kontynuował pracę przy 1-4 satelitach, a w niewielu przypadkach całkowitej utraty sygnału GPS pozycjonowanie przejmowała płynnie jednostka IMU. Rezultatem jest niezakłócone, idealne pozycjonowanie i szybki, bezprzystankowy przejazd wozu pomiarowego (rys. 7). Na przykład podczas poruszania się w tunelu pod płytą Dworca Głównego (rys. 7d) odbiornik porównawczy GPS zakończył pracę zaraz po wjeździe do niego, wznowił ją na rondzie i znowu przerwał przy powrocie przez tunel (wynikiem są fałszywe proste białe linie). Natomiast system SPAN poradził sobie, odwzorowując przebieg tunelu i płynnie przekazując odbiornikowi GPS wyznaczanie pozycji po wyjeździe z tunelu.

#### • WNIOSKI

Technologia SPAN stanowi nową jakość w precyzyjnych pomiarach GPS na terenach miast, w górach i pod drzewami. Dzięki ścisłej integracji GPS i IMU możliwe jest podtrzymanie pracy GPS przy widoczności 1-3 satelitów bez efektu dryftu dokładności charakterystycznego dla tradycyjnych jednostek inercyjnych, a w miejscach o całkowitym braku satelitów możliwe jest kontynuowanie pozycjonowania przez jednostkę inercyjną.

Pierwszy system SPAN zacznie pracować w Polsce we wrześniu na jednej z uczelni technicznych. Aktualny koszt zestawu SPAN to ok. 75 tys. dolarów.

ERYK J. LIPIŃSKI