



ERYK J. LIPIŃSKI*

lipinski@gps.pl

Wykorzystanie ścisłej integracji systemu lokalizacji GPS/GNSS i technologii inercyjnej w pomiarach drogowych

GNSS w pomiarach drogowych i nawigacji

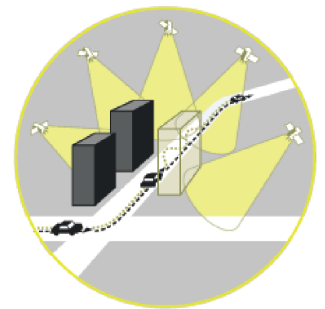
Przez ostatnich 20 lat mamy do czynienia z burzliwym rozwojem technologii nawigacyjnych korzystających z globalnego systemu lokalizacyjnego GPS (ang. *Global Positioning System*). Obok pojęcia GPS, dotyczącego amerykańskiego systemu satelitarne, funkcjonuje także bardziej ogólna definicja globalnych systemów nawigacji pod nazwą GNSS – (ang. *Global Navigation Satellite Systems*), często używana zamiennie. Wspomaganie nawigacyjne kierowców i zarządzanie flotami pojazdów były pierwszymi masowymi zastosowaniami tej technologii – a znaczna liczba użytkowników stworzyła nowy rynek na dokładne mapy drogowe i ich aktualizacje. Rozwijane są nowe konsumenckie zastosowania GNSS, chociażby związane z integracją odbiorników tego systemu w smartfonach. Także od strony administratorów dróg satelitarne systemy lokalizacji jest naturalnym narzędziem przy projektowaniu, realizacji i utrzymaniu drogi. Jest on podstawą wyznaczania położenia nie tylko wszystkich elementów budowanej drogi w przestrzeni, ale także służy do tworzenia i kontroli podstawowej osnowy geodezyjnej. W związku z rozległością sieci drogowej, GNSS jest jednym z niewielu dostępnych źródeł zunifikowanej informacji o położeniu samochodów pomiarowych zbierających dane np. o stanie nawierzchni, parametrach ruchu, hałasie czy wykonujących inwentaryzacje otoczenia drogi. Oczywiście zalety GNSS to duża dokładność, całodobowa dostępność i pełny zasięg oraz rzecz niebagatelna – zgodność uzyskiwanych pozycji, z jednej strony z państwową siecią geodezyjną, a z drugiej – z urządzeniami nawigacyjnymi w milionach pojazdów.

Kwestia dokładności GPS wymaga komentarza, gdyż osiąga się ją spełniając kilka warunków. Po pierwsze wpływa na nią technologia samego urządzenia: czy odbiera tylko jedną częstotliwość (wtedy maksymalna dokładność jest ograniczona do kilkudziesięciu centymetrów) czy dwie. Po drugie – należy zapewnić antenie odbiornika widoczność co najmniej 4-5 satelitów, które dodatkowo powinny być odpowiednio rozłożone na niebie (a właśnie wymóg odpowiedniej „geometrii” często powoduje, że przy widocznych 4 satelitach dokładność GPS jest mocno osłabiona). Wreszcie, o ile nie satysfakcjonuje nas standardowa dokładność 10 metrów

* Autor jest absolwentem Krakowskiego Uniwersytetu Rolniczego ze specjalnością w inwentaryzacjach, brał udział w projektowaniu polskiej Aktywnej Sieci Geodezyjnej GUGiK. Założył i rozwinął system franczyzowy wykonujący mapy tematyczne GIS dla rolnictwa. Prowadzi europejskie centrum serwisowe dla jednego z producentów urządzeń RTK. Wspiera technicznie ponad 500 użytkowników precyzyjnych systemów pomiarowych RTK z branży geodezyjnej, administracji i nauki.

– do odbiornika trzeba doprowadzić tzw. korekty różnicowe. Tych korekt jest kilka rodzajów i zakładając, że mamy odbiornik odpowiedniej do nich jakości, umożliwiają one uzyskanie następujących dokładności horyzontalnych:

- 1) Korekty SBAS (system satelitarnej dystrybucji poprawek różnicowych do systemu GPS – na obszarze Europy funkcjonuje pod nazwą EGNOS): dokładność 75 cm.
- 2) Korekty DGPS: lokalnie dystrybuowane w Polsce – m.in. przez system ASG-Eupos z użyciem Internetu: dokładność maksymalnie 50 cm
- 3) Korekty SBAS prywatnej firmy OmniStar, o charakterze fazowym do odbiorników dwuczęstotliwościowych, serwisy HP+ i G2: dokładność 30 cm.
- 4) Korekty RTK, o charakterze fazowym do odbiorników dwuczęstotliwościowych, dystrybuowane przez system ASG-Eupos w strumieniu NAWGEO: dokładność 1 cm.



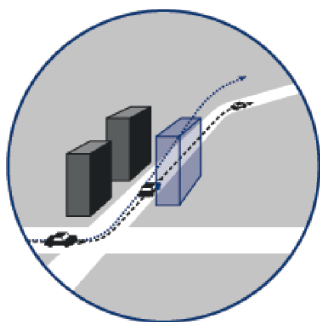
Rys. 1. Praca z systemem GPS (wiarygodne pozycjonowanie uwzględniane jest brakiem przeszkód dla sygnału GNSS z satelity)

Oprócz opisanych wcześniej zalet, GNSS ma również wadę, która poważnie ogranicza jego dostępność i dokładność. Aby obliczyć pozycję, odbiornik musi odebrać bezpośredni sygnał z co najmniej czterech satelitów – co stwarza wymóg widoczności znacznej części nieba nad pojazdem (rysunek nr 1). W konsekwencji, podczas przejazdów w tunelach, w wąskich uliczkach, pod mostami i kładkami, a także przy drzewach i ekranach akustycznych dostępność pozycji GNSS jest problematyczna.

Technologia inercjalna

Nawigacja inercyjna – INS (ang. *Inertial Navigation Systems*) to dojrzała technologia, której początki związane są z opracowaniem żyroskopu w pierwszych latach 20 wieku. Zasada działania opiera się na precyzyjnym ustaleniu stanu początkowego obiektu (położenia, prędkości i orientacji w przestrzeni trójwymiarowej), a następnie ciągłej aktualizacji zmian w czasie, przy pomocy danych dostarczanych przez zespół żyroskopów (pomiar kątów) oraz akcelerometrów

(przyspieszenia). Typowa jednostka IMU (inercyjna jednostka pomiarowa, ang. *Inertial Measurement Unit*) składa się z trzech żyroskopów i trzech akcelerometrów ustawionych w prostokątnych względem siebie płaszczyznach. Ciągłe przetwarzanie danych uzyskanych z tych urządzeń umożliwia śledzenie zmian pozycji i orientacji obiektu, jednak z postępującym błędem obliczeniowym – tak zwanym dryfem. Istnienie dryfu jest podstawowym ograniczeniem i wadą technologii inercyjnej, trzeba jednak zaznaczyć, że błąd ten ma charakter o wiele bardziej przewidywalny niż w technologii GNSS i istnieją sposoby jego neutralizacji. Wielką zaletą nawigacji inercyjnej jest natomiast brak konieczności polegania podczas pracy na jakichkolwiek sygnałach zewnętrznych (poza polem grawitacyjnym i magnetycznym). Dlatego urządzenia inercyjne uważa się za bardzo pewne.



Rys. 2. Praca z systemem INS (do pracy jednostki inercyjnej nie jest potrzebny sygnał zewnętrzny, ale jej samodzielna dokładność maleje z postępem czasu)

Nawigacja inercyjna znajduje szerokie zastosowanie w prowadzeniu samolotów, rakiet, łodzi podwodnych i statków. Ostatnie postępy w technologii pozwoliły na konstrukcję jednostek inercyjnych o bardzo małych wymiarach, co pozwala na ich integrację w smartfonach, a nawet ubraniach (do zapisu ruchu ciała). Jednak urządzenia oparte na technologii laserowej FOG (ang. *Fiber Optic Gyro*), o precyzji odpowiedniej do systemów pomiarowych takich jak SPAN wciąż ważą ok. 1 kg i do niedawna ich wysoki koszt, idący w dziesiątki tysięcy dolarów, utrudniał ich użycie w pomiarach drogowych. Dodatkowe ograniczenia stosowania jednostek inercyjnych FOG wynikają z przyczyn administracyjnych – większość z nich objęta jest kontrolą obrotu jako potencjalny element uzbrojenia. W rezultacie jeżeli nawet uda się taką jednostkę zakupić, to przekraczanie z nią granic państwowych jest utrudnione lub wręcz niemożliwe.

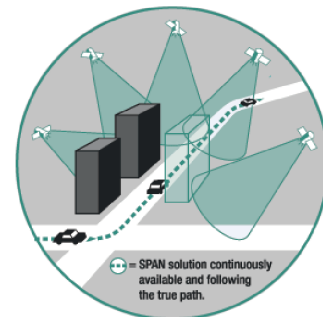
Szczególnie obiecujący jest szybki rozwój alternatywnej w stosunku do FOG technologii MEMS (ang. *Micro Electrical Mechanical Systems*). Do niedawna uważano jednostki MEMS za zupełnie nieprzydatne do zastosowań pomiarowych, gdyż ich żyroskopy mają tzw. stabilność na poziomie zaledwie 5-10 stopni przy 1 stopniu z łatwością osiągalnym przez jednostki klasy FOG. Jednak aktualnie ta technologia przeżywa burzliwy rozwój i prognozuje się, że dokładność jednostek MEMS osiągnie 1 stopień w okresie ok. 4 lat. Już teraz pojawiły się jednostki MEMS o dobrych parametrach, jak NovAtel ADIS której użyto w opisanych w artykule testach.

Technologie GPS oraz INS mają więc przeciwne charakterystyki: podczas gdy odbiornik GPS jest skazany na ciągły dopływ zewnętrznych sygnałów radiowych, jednostka INS obywat się bez nich. Błąd GPS w typowych warunkach pracy oscyluje wokół wartości typowej dla danej techniki korekcji, natomiast błąd jednostki INS rośnie powoli, lecz systematycznie.

Naturalna i oczywista jest próba takiego połączenia INS i GPS, aby wykorzystać zalety i zniwelować wady obydwu technologii. W takim rozwiązaniu narastanie błędów typowe dla INS byłoby ograniczone kontrolnymi pomiarami GPS, a jednocześnie wysoce zmienne i nieregularne błędy GPS byłyby wygładzane dostępnymi w sposób ciągły obliczeniami inercyjnymi.

W typowych integracjach systemów INS/GPS, zwanych „integracją luźną”, jednostka inercyjna INS pełni rolę nadrzędną w stosunku do odbiornika GPS i używa jego obserwacji do określenia i kontrolowania błędów INS.

Integracja ścisła INS/GNSS



Rys. 3. Praca ze ściśle zintegrowanym systemem INS/GPS (dzięki połączeniu zalet obydwu technologii system taki jest odporny na zaniki sygnału GNSS i charakteryzuje się dokładnością stałą w czasie)

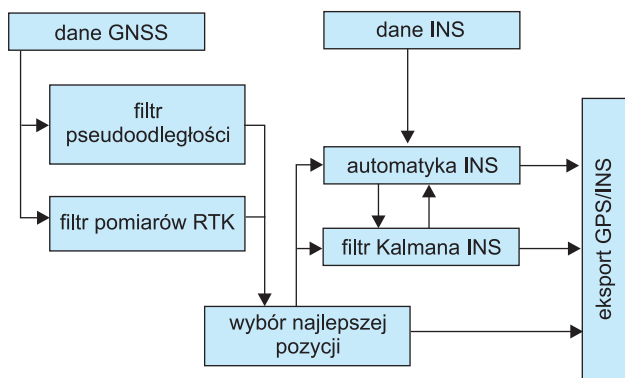
Zupełnie inaczej pracuje system SPAN kanadyjskiej firmy NovAtel. Korzystając ze swojego wieloletniego doświadczenia w zakresie tworzenia systemów GPS/GNSS, NovAtel stworzył rozwiązanie „GNSS-centriczne”, w którym to odbiornik satelitarny jest głównym beneficjentem integracji. Konkretnie, wyniki obliczeń jednostki INS służą do skutecznego budowania „mostów” podczas przerw w odbiorze odpowiedniej jakości sygnału GPS/GNSS. Oczywiście korzyści z synergii odnosi także jednostka INS: precyzyjny czas z odbiornika GPS służy do kasowania dryfu, a przetworzone sygnały z satelitów aktualizują filtry INS używane do nawigacji w momentach całkowitego zaniku sygnału GNSS. Taką współpracę obydwu komponentów określa się mianem „ściśle” (ang. *Tightly Coupled*).

Oto zalety nawigacji SPAN w stosunku do autonomicznego GNSS:

1. Wszelkie chwilowe przerwy w dostępności sygnału GNSS są skutecznie „pomostowane” z użyciem danych INS.
2. Reaktywacja (odzysk) sygnału satelitów po jego utracie jest znacznie szybsza niż autonomicznego odbiornika lub zestawu INS/GPS bez integracji ścisłej.
3. W przypadku całkowitego zaniku sygnału (scenariusz przejazdu w tunelu) jednostka INS płynnie kontynuuje pozycjonowanie, chociaż w tym wypadku dokładność określania pozycji będzie obciążona pewnym postępującym błędem, charakterystycznym dla klasy użytej jednostki INS.

Architektura systemu SPAN obejmuje następujące komponenty: wysokiej klasy odbiornik GNSS (zdolny do odbioru GPS i Glonass na dwóch częstotliwościach i pracy w technice DGPS i RTK z dokładnością 1 cm), źródło poprawek dla odbiornika GNSS, jednostka INS klasy FOG (wyższe modele) lub MEMS (modele ekonomiczne), a wreszcie szereg opatentowanych algorytmów pozwalających na płynną pracę przy ciągle zmieniających się warunkach pracy SPAN.

Sposób współdziałania komponentów SPAN zilustrowano na rysunku nr 4.



Rys. 4. Schemat blokowy SPAN



Fot. 1. Jeden z modeli SPAN: odbiornik GNSS (u góry) zintegrowany z jednostką INS ADIS (klasy MEMS)

Systemy SPAN są dostępne komercyjnie od kilku lat i trafiły do najbardziej wymagających użytkowników. Są wykorzystywane w pracach badawczych przez wiodące uczelnie techniczne: Politechnikę Warszawską, Rzeszowską i Łódzką, służą do pomiarów torowisk kolejowych w Polsce i Czechach, a także są wykorzystywane w samochodach pomiarowych usługi StreetView firmy Google.

Testy drogowe SPAN w Polsce

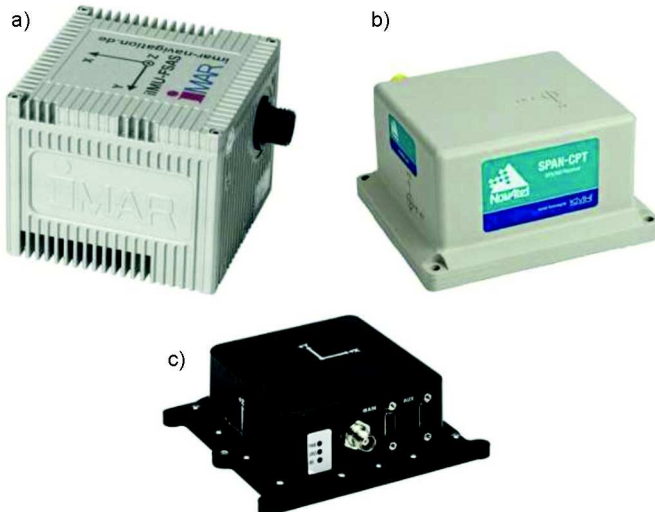
Celem testów SPAN, prowadzonych przez krakowską firmę GPS.PL w Krakowie, Łodzi i Warszawie było porównanie pracy SPAN z trzema rodzajami odbiorników GNSS w typowych sytuacjach pomiarów drogowych – podczas dynamicznej jazdy i postoju, pośród wysokiej zabudowy oraz w pobliżu wysokich elementów infrastruktury drogowej. Testy prowadzono z wykorzystaniem trzech jednostek różnej klasy: wykonanych w technologii FOG (jednostki FSAS i CPT), jak i MEMS (jednostka ADIS).

Zebrane dane mogą służyć do odpowiedzi na pytania:

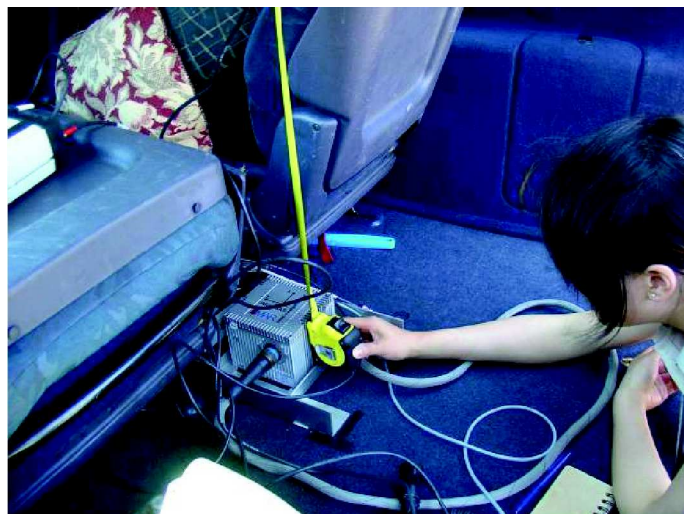
1. Jak mają się dane SPAN do pomiarów odbiornikiem GPS pracującym bez korekcji (autonomicznie)?
2. Jak mają się dane SPAN do pomiarów odbiornikiem GPS L1 z korektami SBAS?
3. Jak mają się dane SPAN do pomiarów odbiornikiem GNSS L1L2 korygowanym w trybie RTK 1 cm pracującym z połączoną konstelacją GPS i Glonass?
4. Jak wypadają jednostki inercyjne poszczególnych technologii (FOG i MEMS) w szczególnie trudnych scenariuszach, całkowitego lub prawie całkowitego braku sygnału GNSS?

Sprzęt

W testach w Krakowie, które odbyły się w roku 2007, wykorzystano najsilniejszą wówczas dostępną jednostkę INS wykonaną w technologii FOG: IMU FSAS. Pracę SPAN-FSAS porównano z dwuczęstotliwościowym odbiornikiem GPS pracującym bez korekcji (autonomicznie).



Fot. 2. a) jednostka INS FSAS, b) jednostka INS CPT, c) jednostka INS ADIS



Fot. 3. Montaż jednostki FSAS przed testami w pojeździe pomiarowym

W teście prowadzonym w Łodzi w lipcu 2013 r. wykorzystano średniej klasy jednostkę INS, także wykorzystującą żyrokompasy FOG, ale z tańszymi akceleratorami MEMS, o nazwie CPT. Pracę SPAN-CPT odniesiono do odbiornika 2-częstotliwościowego odbierającego GPS i Glonass i pracującego w technice RTK z dokładnością 1 cm.

W ostatnich testach, prowadzonych w Warszawie w sierpniu 2013, wykorzystano najnowszą jednostkę ekonomiczną klasy MEMS: ADIS. Wyniki porównano do odczytów odbiornika 1-częstotliwościowego GPS + Glonass, stanowiącego standardowe wyposażenie mobilnego laboratorium do pomiarów drogowych.

Teren badań, zebrane dane i sposób ich prezentacji

Przejazdy testowe wykonywano zarówno na terenie otwartym, jak i w gęstej zabudowie. Wyszukiwano miejsca szczególnie trudne dla pomiarów satelitarnych, starając się doprowadzić do przejścia pozycjonowania przez jednostkę INS i zaobserwowania dryfu. Wykonano przejazdy: wzdłuż wysokich ekranów akustycznych, pod drzewami z pełnym ulistnieniem, pod kładkami i wiaduktami, a wreszcie pod dwoma tunelami (Kraków i Warszawa).

Zarówno z systemu SPAN, jak i z odbiornika porównawczego zbierano dane pozycyjne w formacie NMEA oraz informacje inercyjne i GNSS w formatach producenta.

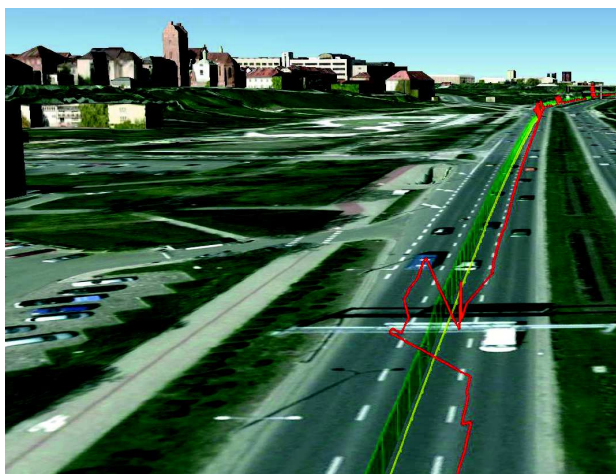
Na potrzeby tego artykułu wyeksportowano dane NMEA bez edycji do przeglądarki *Google Earth* z funkcją *StreetView* i modelami 3D niektórych obiektów. Należy zaznaczyć, że materiały fotograficzne w *Google Earth* często charakteryzuje pewne przesunięcie w stosunku do nakładanych danych GPS – należy o tym pamiętać interpretując wyniki.

Trzeba również zwrócić uwagę, że o ile system SPAN rejestruje pozycję jednostki IMU zwykle montowanej na podłodze pojazdu pomiarowego, to odbiorniki porównawcze GNSS mierzyły pozycję anteny zamontowanej na dachu – stąd stały odstęp obydwu torów jazdy nie związany z dokładnością obydwu urządzeń pomiarowych.

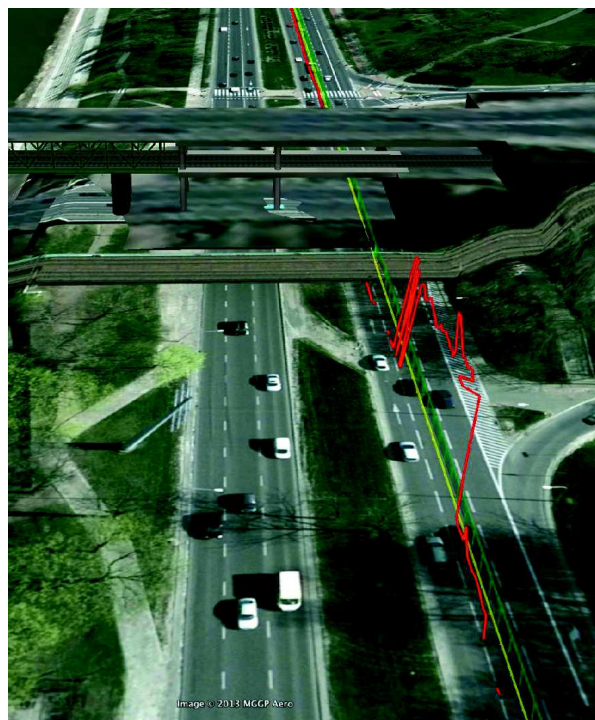
Na wszystkich zaprezentowanych w dalszej części grafikach czerwonym kolorem zaznaczono pozycje z odbiornika porównawczego, a żółtym-zielonym dane ze SPAN. W opisach fotografii zamieszczono komentarze do prezentowanych wyników pomiarów.

Wyniki

Porównanie jakości danych SPAN-MEMS z odbiornikiem L1 GPS w trybie SBAS

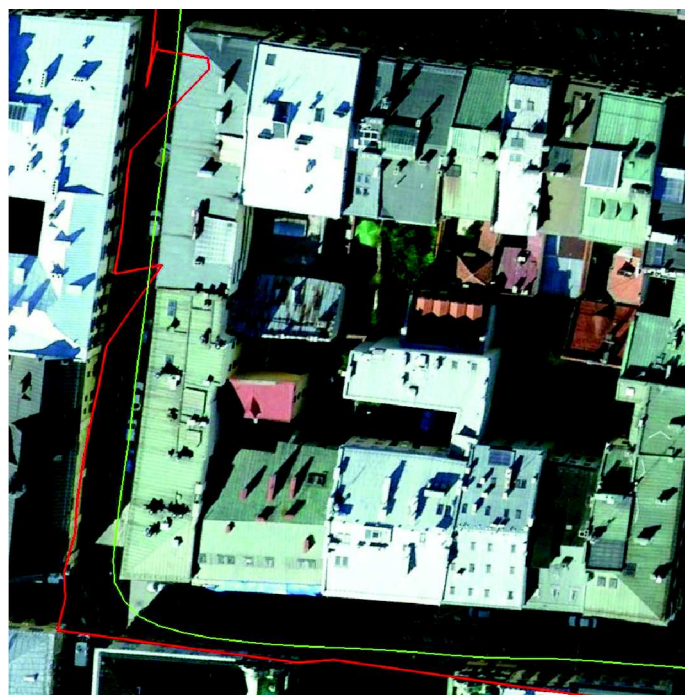


Fot. 4. Warszawa, sierpień 2013 r. Przejazd Wistostradą z systemem SPAN-MEMS. Przy przejeździe pod kładką dla pieszych pozycjonowanie SPAN (linia zielona i żółta) nie zakłócone, natomiast odbiornik L1 GNSS doznaje chwilowego odbicia pozycji na lewo o ok. 10 metrów. Dodatkowo można zaobserwować że odbiornik GNSS nie ma korekcji, gdyż jego pozycja jest systematycznie przesunięta w stosunku do SPAN korygowanego w technice RTK



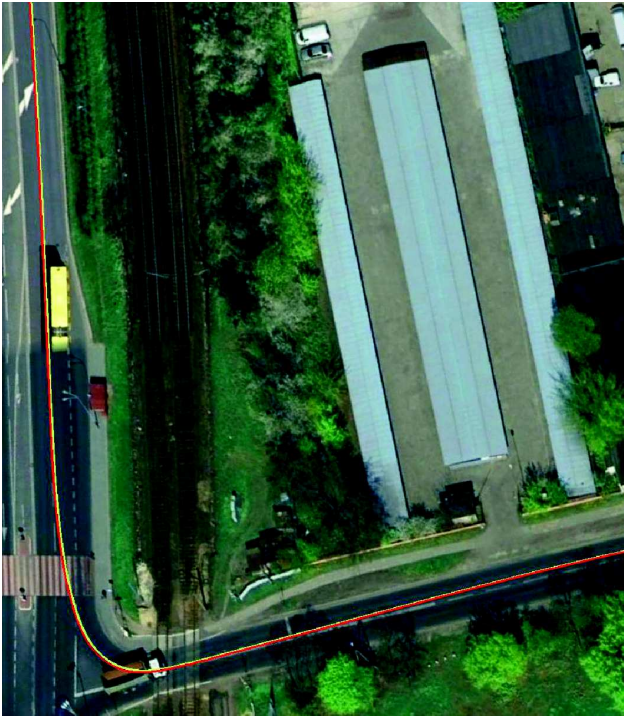
Fot. 5. Warszawa, sierpień 2013 r. Przejazd pod mostem z systemem SPAN-MEMS. Pozycjonowanie SPAN (linia zielona i żółta) nie zakłócone, natomiast odbiornik L1 GNSS całkowicie gubi pozycję bezpośrednio pod mostem, a przez kolejne kilkadziesiąt metrów wykazuje kilkunastometrowy błąd wysokości (linia czerwona)

Porównanie jakości danych SPAN-FSAS z odbiornikiem L1L2 GPS w trybie autonomicznym



Fot. 6. Kraków, lipiec 2007 r. Przejazd w zabudowie miejskiej ulicą św. Tomusza z systemem SPAN-FSAS. Pozycje rejestrowane przez odbiornik L1L2 GPS (czerwona linia) pracujący bez korekcji są niedokładne i bardzo rzadkie (świadczą o tym długie odcinki proste łączące poszczególne pozycje pomiaru), podczas gdy pozycjonowanie SPAN pozostaje dokładne przez cały manewr skrętu (linia zielona)

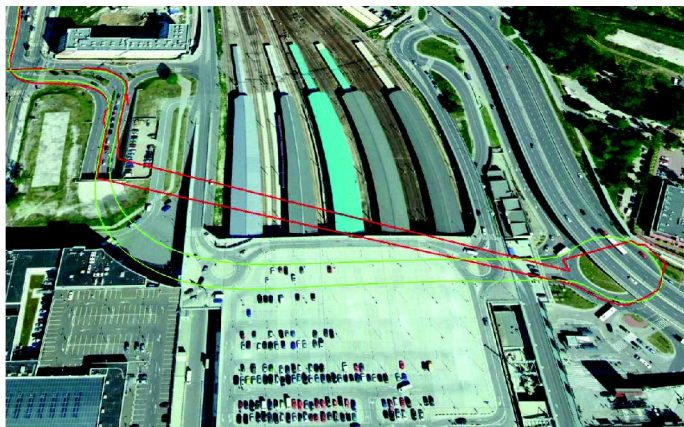
Porównanie jakości danych SPAN-CPT z odbiornikiem L1L2 GPS i Glonass korygowanym RTK do dokładności 1 cm



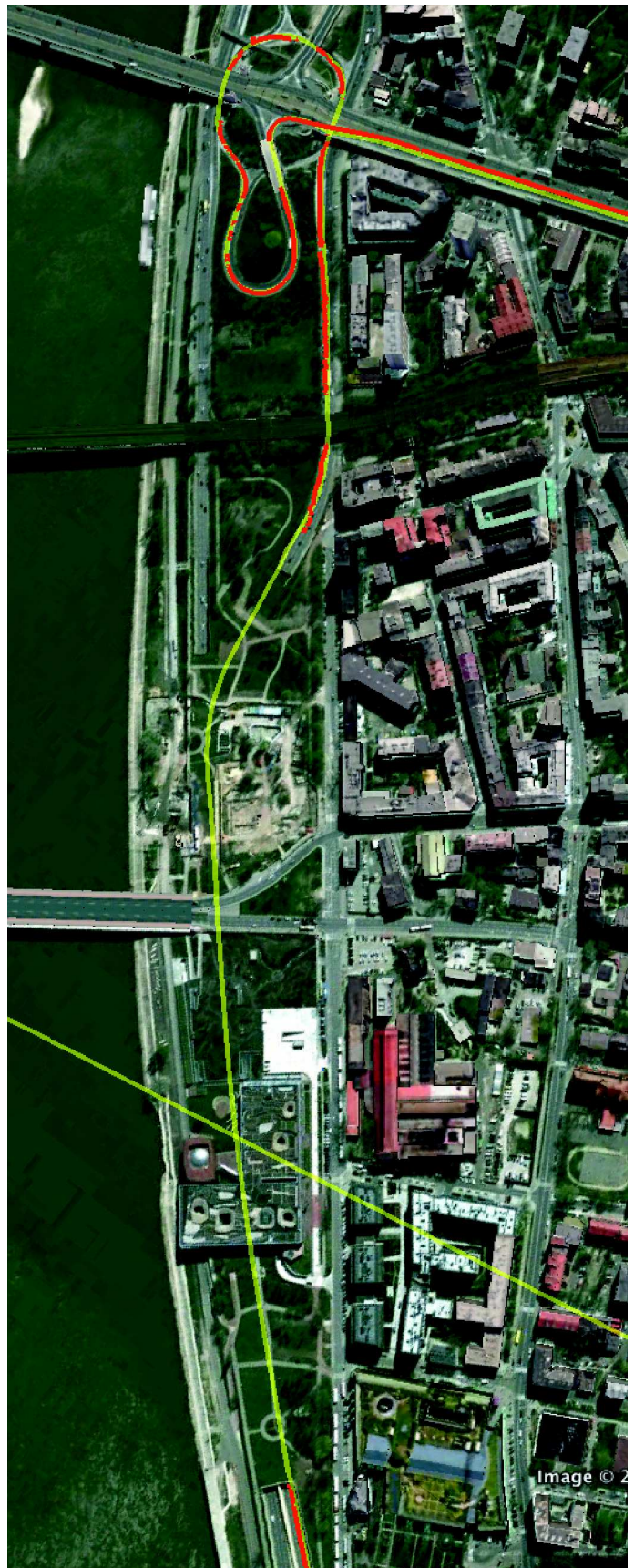
Fot. 7. Łódź, lipiec 2013 r. Przejazd na terenie otwartym z systemem SPAN-CPT. Pozycje rejestrowane przez wysokiej klasy odbiornik porównawczy RTK (czerwona linia) pracujący na połączonej konstelacji GPS i Glonass z dokładnością 1 cm są zgodne z danymi SPAN (linia żółta)

Praca systemu SPAN w warunkach braku sygnału GNSS

W przypadku całkowitego braku sygnału GNSS, SPAN przekazuje pozycjonowanie jednostce INS. Jeżeli system „zaobserwuje” satelity ponownie, to odzyskanie ich do obliczeń pozycji jest błyskawiczne, gdyż zajmuje mniej niż 2 sekundy (w 95% przypadków), w porównaniu do ok. 11 sekund dla autonomicznego odbiornika L1.



Fot. 8. Kraków, lipiec 2007 r. Przejazd przez tunel pod Dworcem Głównym PKP z systemem SPAN-FSAS. Odbiornik porównawczy L1L2 GPS (czerwona linia) pracujący bez korekcji kończy pracę jeszcze przed wjazdem do tunelu (świadczą o tym długie odcinki proste łączące wjazd i wyjazd z tunelu), podczas gdy pozycjonowanie SPAN pozostaje dokładne przez cały manewr przejazdu przez tunel, nawrót na rondzie i powrót



Fot. 9. Warszawa, sierpień 2013 r. Przejazd przez tunel wzdłuż Wisły. Odbiornik porównawczy L1GPS (czerwona linia) kończy pracę przed wjazdem do tunelu, podczas gdy pozycjonowanie SPAN-MEMS (linia żółto-zielona) trwa przez cały przejazd bez sygnału GNSS

Podsumowanie

Przedstawione wizualizacje wyraźnie pokazują, że ścisła integracja GPS i technologii inercyjnej pozwala uzyskać bardzo dobrą lokalizację pomiarów – z kapitalną możliwością wykorzystania w pomiarach drogowych. Zbierane dane są stałej dokładności, poniżej 10 cm horyzontalnie, rejestrowane z dużą częstotliwością.

System SPAN jest bardzo łatwy w integracji w mobilnych laboratoriach pomiarowych gdyż poza danymi inercyjnymi oferuje format NMEA, naśladując typowy odbiornik GNSS. Istnieje możliwość wyboru spośród szeregu jednostek IMU,

zależnie od wymagań, poziomu trudności terenu prac i możliwości budżetowych. Przeprowadzone testy dowiodły jednak, że w typowych polskich warunkach do pomiarów drogowych zupełnie wystarczający jest system z najtańszą, nową jednostką inercyjną klasy MEMS.

Niezależnie od doboru IMU istnieje szereg innych możliwości rozbudowy SPAN i zwiększenia jakości uzyskiwanych danych, takich jak zaawansowany *post-processing* specjalistycznym oprogramowaniem np. NovAtel Inertial Explorer, zastosowanie pomocniczego tzw. wektora AL1GN (zestawu 2 odbiorników GNSS) czy integrację sensora na kole pojazdu – jednak ich omówienie przekracza ramy tego artykułu. ■



ANDRZEJ STAŃCZYK

Politechnika Warszawska
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

Mosty przez Garonnę w Bordeaux

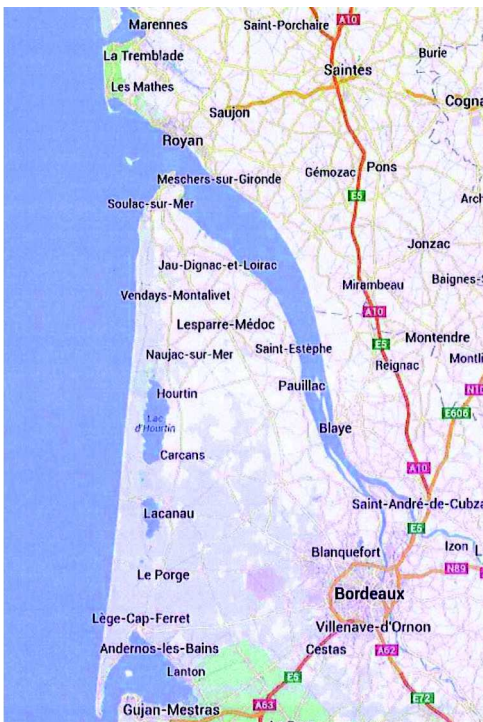
W połowie marca 2013 r. otwarto w Bordeaux największy w Europie most ruchomy, o rozpiętości głównego przęsła większej o 1,0 m od mostu Gustawa Flauberta przez

Sekwanę w Rouen (2008 r.). Po uniesieniu jego środkowego, ponad stumetrowego przęsła na wysokość 53 m, do miasta nadal będą mogły wpływać Garonną wysokie statki morskie, m. in. nieliczne już – ostatnie żaglowce. Przewiduje się, że most ten będzie otwierany około stukrotnie w ciągu roku. Jakie są powody wpływania statków tak daleko w głąb łądu w dzisiejszych czasach, gdy porty morskie budowane są na

wybrzeżach i chronione falochronami, a transport kołowy zdominował inne rodzaje komunikacji na lądzie?

Przyzwyczajeni do prawie stałego poziomu wód w Bałtyku nie przypuszczamy, że pływy Atlantyku mogą osiągać na wybrzeżach Francji kilkunastometrowe amplitudy dwukrotnie w ciągu doby (!). Nasze morze od oceanów oddzielają cieśniny duńskie tak wąskie i długie, że oceaniczny przyptyw nie może w nie wtargnąć zbyt daleko, zanim nastąpi odpływ. Podobnie jest i w innych akwenach zamkniętych cieśninami – w Morzu Czarnym i Morzu Śródziemnym. Natomiast na brzegach oceanów różnice poziomów wód podczas przyptywu i odpływu są tak duże, że statki kotwiczone tam z dala od brzegów lub wpływały w ujścia rzek. Takim śródlądowym portem od wieków jest Bordeaux. By dopłynąć doń z Zatoki Biskajskiej, trzeba pokonać 65 km długie i szerokie na 3-11 km estuarium aż do ujścia doń rzek Garonny i Dordogne i jeszcze wpłynąć w Garonnę na niemałą odległość (rys. 1). Tradycja wpływania statków do miasta i istnienie tu urządzeń niezbędnych do ich przyjmowania, budowy i naprawy skłoniły do zbudowania takiego mostu w dole rzeki, który nie byłby przeszkodą dla żeglugi. To właśnie w tutejszej stoczni zbudowano na początku XX w. największy wtedy żaglowiec na świecie – SV France II.

Pierwszy most przez szerokie tu koryto Garonny – rzeki o bystro płynącym nurcie i poziomach zmiennych do 5,7 m (mimo stukilometrowego oddalenia od atlantyckiej Zatoki Biskajskiej), powstał na początku XIX w. Dziś w obrębie obwodnicy miasta jest siedem mostów: pięć miejskich i dwa kolejowe, z których jeden jest nieużywanym już zabytkiem. Są to, w kolejności od ujścia Garonny do estuarium (na rys. 2 – od góry): 1. Pont d'Aquitaine, 2. Pont Jacques Chaban Delmas, 3. Pont de Pierre, 4. Pont Saint Jean, 5. Nowy, czterotorowy most kolejowy, 6. Stary, dwutorowy most kolejowy Gustave'a Eiffela (obecnie nieczynny – zabytek z listy UNESCO) oraz 7. Pont Francois Mitterrand. Poznajmy ich konstrukcję i historię.



Rys. 1. Droga wodna z Zatoki Biskajskiej do Bordeaux