

StarFire – przełom w RTK

System StarFire umożliwia wyznaczanie pozycji w trybie precyzyjnym bez konieczności połączenia z naziemną lokalną siecią stacji referencyjnych. Co więcej, korekty z niego są dostępne na całym świecie, a dla wszystkich użytkowników zestawów GNSS Land-Pak marki NavCom – bezpłatnie.

Artur Jarzyło

Po uruchomieniu w 2008 roku państwowej sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS nastąpił w Polsce gwałtowny wzrost popularności odbiorników GPS wykorzystywanych do pomiarów RTK. Do wyznaczenia pozycji z centymetrową dokładnością wystarczył już tylko jeden odbiornik, co znacznie obniżyło koszty zakupu sprzętu. Niestety, pomiary z wykorzystaniem ASG-EUPOS czy innych naziemnych sieci stacji referencyjnych mają wiele ograniczeń, a niekiedy są w ogóle niemożliwe. Na szczęście świat nie stoi w miejscu i istnieje rozwiązanie, które pozwala wyeliminować te bolączki. Mowa tu o StarFire – globalnym systemie wspomagania pozycjonowania satelitarnego (Global Satellite Based Augmentation System, GSBAS), którego właścicielem jest amerykańska firma NavCom Technology (grupa John Deere). Jego głównym zadaniem jest umożliwienie wyznaczania z wysoką dokładnością pozycji odbiornika użytkownika końcowego. Typowe dokładności mieszczą się w granicach 5 cm w poziomie i 10 cm w pionie (odchylenie standardowe 1 σ ,



Rys. 1. Zespół anten nadawczych wysyłających sygnał do satelitów geostacjonarnych

obserwacje 24-godzinne) – gdy pomiary prowadzone są tylko i wyłącznie z wykorzystaniem StarFire lub 3 cm w poziomie i 6 cm w pionie – gdy zastosujemy technologię RTK-Extend.

● Siedem komponentów StarFire

1. Sieć stacji referencyjnych. Przeszło 88 stacji w 33 krajach na wszystkich kontynentach (z wyjątkiem Antarktydy) odpowiada za zbieranie tzw. surowych obserwacji z satelitów konstelacji GPS i GLONASS. Strategiczne rozmieszczenie stacji

pozwała na śledzenie każdego satelity GNSS przez co najmniej pięć stacji referencyjnych jednocześnie. Zebrane dane przekazywane są do centrów obliczeniowych. Na stacjach referencyjnych pracuje blisko 300 dwuczęstościowych odbiorników GNSS NavCom i 80 serwerów (Linux), a także stosowane są anteny *choke ring* montowane na solidnych metalowych masztach przytwierdzonych na stałe do stabilnych elementów konstrukcji budynków.

2. Centra obliczeniowe. Trzy wielkie ośrodki zlokalizowane w miejscowościach:

Moline w stanie Illinois oraz El Segundo i Torrance w Kalifornii, przetwarzają surowe obserwacje ze stacji referencyjnych w produkt końcowy – korektę. Wszystkie centra obliczeniowe są w pełni niezależne od siebie i pracują równolegle. Dane z nich za pomocą wielu łączy kierowane są do naziemnych nadawczych zespołów antenowych.

3. Łącza komunikacyjne. Niezawodne mechanizmy przesyłu danych między siecią stacji referencyjnych, centrami obliczeniowymi i naziemnymi nadawczymi zespołami antenowymi zapewniają łącza wykorzystujące m.in. technologie: frame relay, ISDN, internet, VSAT.

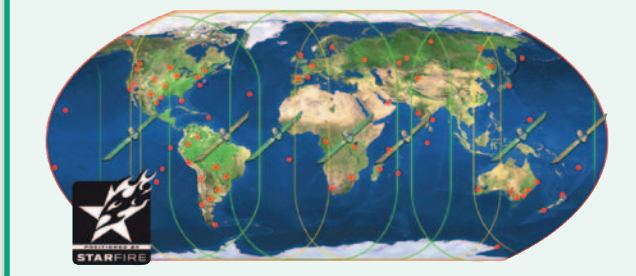
4. Naziemne stacje nadawcze. Sześć wielkich bloków antenowych wysyła dane korekcyjne do satelitów geostacjonarnych. Naziemne zestawy transmisyjne znajdują się w: Santa Paula (USA), Laurentides (Kanada), Southbury (USA), Burum (Holandia), Perth (Australia), Auckland (Nowa Zelandia). Pojedyncza antena nadawcza ma średnicę aż 25 m!

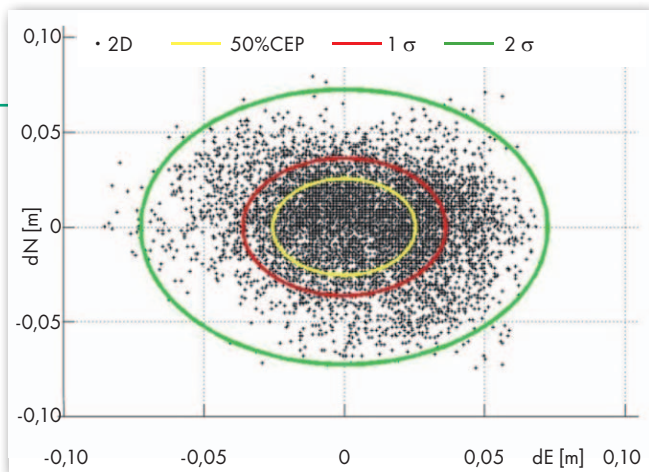
5. Satelity geostacjonarne. Są one najciekawszym elementem systemu StarFire. Z punktu widzenia obserwatora na Ziemi zawsze znajdują się w tym samym miejscu na niebie (krążą po tzw. orbitach geostacjonarnych, a czas ich obiegu wokół Ziemi jest równy okresowi obrotu globu wokół własnej osi). W StarFire aż siedem satelitów geostacjonarnych służy do dystrybucji korekt bezpośrednio do odbiorników GNSS użytkowników.

W przypadku utraty sygnału z jednego satelity następuje automatyczne przełączenie na sygnał z innego widocznego satelity. System StarFire korzysta z satelitów geostacjonarnych Inmarsat.

Główne cechy globalnego systemu StarFire

- Sygnał systemu dostępny jest w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi na szerokościach geograficznych od 76°N do 76°S, na lądzie lub na morzu, o każdej porze dnia i nocy.
- Nie ma potrzeby stosowania lokalnych naziemnych stacji bazowych. Jeśli jednak użytkownik wykorzystuje taką stację (np. korekty z ASG-EUPOS) i straci z nią połączenie (korekty przestają docierać do odbiornika), system pozwala w dalszym ciągu utrzymać tryb precyzyjny.
- Odległość użytkownika/odbiornika od fizycznej stacji referencyjnej nie ma wpływu na dokładność.
- Do korzystania ze StarFire nie jest potrzebne ani połączenie internetowe, ani radiowe. Możliwa jest więc praca nawet w miejscach, gdzie nie ma rozwiniętej sieci telefonii komórkowej GSM.





Rys. 2. W teście przeprowadzonym w Polsce w czasie 20-godzinnej sesji pomiarowej odchylenie standardowe wyznaczenia pozycji w poziomie wyniosło 3,6 cm

Operator ten dysponuje trzema globalnymi konstelacjami, w których skład wchodzi dziewięć sztucznych satelitów poruszających się po orbitach geostacjonarnych 37 786 km nad Ziemią.

W tradycyjnych sieciach stacji referencyjnych, takich jak ASG-EUPOS, korekty dostarczane są do odbiorników końcowych drogą internetową przez sieci telefonii komórkowej. O ile na terenach miejskich nie ma obecnie większych problemów z zasięgiem, to na terenach wiejskich czy leśnych poziom sygnału GPRS jest bardzo często niski, co uniemożliwia pobieranie korekt. I tu właśnie widoczna jest przewaga systemu StarFire, którego korekty docierają do odbiorników użytkowników końcowych bezpośrednio drogą satelitarną. Dodatkowo w październiku 2012 r. NavCom uruchomił usługę „StarFire Over IP” do internetowego przesyłania korekt przydatną np. podczas pracy przy wysokiej zabudowie, gdzie sygnał z satelitów geostacjonarnych może być blokowany przez budynki.

6. System monitorowania.

Poziom sygnału StarFire jest sprawdzany w czasie rzeczywistym. Dzięki temu wszelkie ewentualne nieprawidłowości w systemie są natychmiast wykrywane i usuwane.

7. Segment użytkowników.

Odbiorniki GNSS użytkowników odbierają sygnały z dostępnych obecnie konstelacji GPS i GLONASS oraz otrzymują korekty w celu precyzyjnego wyznaczenia pozycji. Pierwotnie StarFire

stworzono na potrzeby aplikacji w rolnictwie precyzyjnym, gdzie sterowanie maszynami optymalizuje pracę. Rozwiązania te zapewniają oszczędność czasu, paliwa i kosztów przy każdym przejeździe maszyny. Z czasem StarFire został zaadaptowany również w innych dziedzinach, w których istotna jest znajomość precyzyjnego położenia w czasie rzeczywistym, jak np.:

- geodezja,
- GIS,
- prowadzenie i kontrola maszyn budowlanych,
- infrastruktura kolejowa,
- fotogrametria lotnicza,
- geofizyka i seismologia,
- wojskowość,
- hydrografia.

• Rozwój systemu

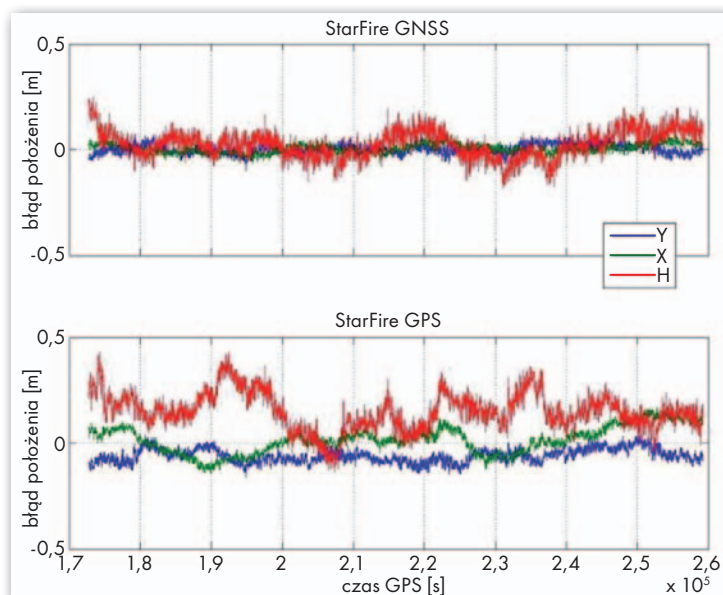
Obecny kształt systemu StarFire jest wynikiem współpracy rozpoczętej w 2002 r. między NavCom Technology oraz Jet Propulsion Laboratory. JPL jest głównym laboratorium w USA odpowiedzialnym za eksplorację przestrzeni kosmicznej, które na koncie ma takie sukcesy, jak: wyniesienie na orbitę pierwszego amerykańskiego satelity Explorer 1 (styczeń 1958), lądowanie pierwszego astronauty na Księżycu (lipiec 1969) czy umieszczenie lądownika Pathfinder z pojazdem Sojourner na Marsie (lipiec 1997). NavCom dzięki JPL dysponuje oprogramowaniem, które w czasie rzeczywistym pozwala na precyzyjne obliczanie korekt, m.in. na podstawie znajomości błędów orbit satelitarnych i błędów zegarów wyznaczanych dla każdego satelity oddzielnie. Opatentowane przez JPL oprogramowanie pozwala też szacować przyszłe wartości tych błędów.

W 2011 r. wprowadzono kolejną generację systemu StarFire – GNSS. Włączenie konstelacji GLONASS znacznie poprawiło geometrię rozmieszczenia satelitów i ułatwiło nawigację zwłaszcza na obszarach, gdzie wcześniej sam GPS był niewystarczający. Oczywiście wpłynęło to też na poprawę dokładności wyznaczanych pozycji. System StarFire jest też już gotowy na włączenie kolejnych konstelacji np. Galileo i/lub BeiDou, gdy tylko te osiągną pełną operacyjność.

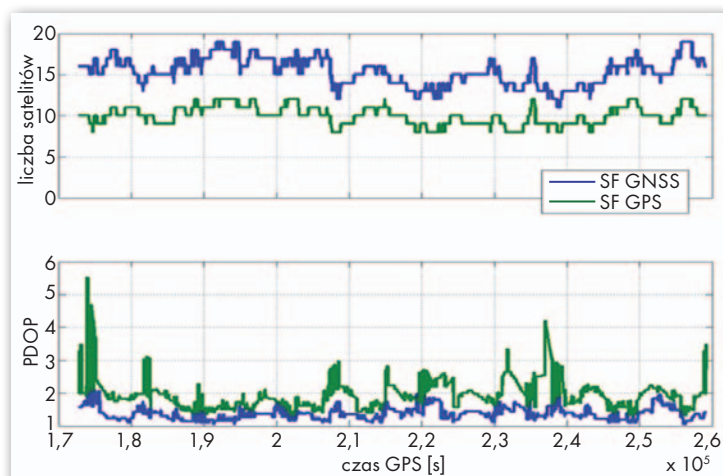
• Uzyskiwane dokładności

Gdy użytkownik pracuje wyłącznie z systemem StarFire, bez połączenia z naziemną stacją bazową czy referencyjną, NavCom zapewnia określenie pozycji z odchyleniem standardowym rzędu 5 cm w poziomie oraz 10 cm w pionie. Testy przeprowadzone w naszym kraju wykazały, że w praktyce dokładności mogą być jeszcze lepsze. W trakcie 20-godzinnej sesji odchylenie standardowe wyznaczenia pozycji w poziomie wyniosło 3,6 cm (test na otwartym niebie – rys. 2).

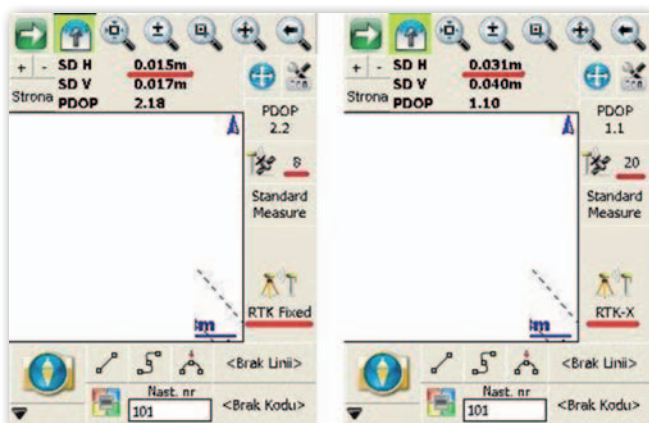
Przed oddaniem do użytku obecnej generacji systemu SF-GNSS przeprowadzono testy porównawcze. Dwa odbiorniki NavCom w tym samym



Rys. 3. Porównanie uzyskiwanych dokładności dla StarFire GPS i wprowadzonego w 2011 r. serwisu StarFire GNSS



Rys. 4. Liczba śledzonych satelitów i współczynnik PDOP dla StarFire-GPS i StarFire-GNSS



Rys. 5. Zrzuty ekranowe z programu polowego NavCom FieldGenius (tryb RTK Fixed z lewej, RTK-Extend z prawej)

czasie rejestrowały obserwacje w trakcie 24-godzinnej sesji, przy czym jeden odbiornik korzystał z serwisu StarFire GPS, drugi zaś z serwisu StarFire GNSS (wyniki na rys. 3). Błędy średnie kwadratowe dla StarFire GNSS wyniosły odpowiednio: 2,22 cm (X); 2,16 cm (Y) oraz 6,78 cm (H). Naturalnie również współczynnik PDOP osiąga dużo korzystniejsze wartości przy

stosowaniu StarFire GNSS. W trakcie 24-godzinnego testu jego wartość zawsze kształtowała się poniżej 2, podczas gdy dla samego GPS wynosiła chwilami nawet powyżej 4 (rys. 4). Oczywiście bezpośredni wpływ na ten parametr miała większa liczba widocznych satelitów (dzięki konstelacji GLONASS).

• Dodatkowe funkcje

StarFire Quick Start. Gdy użytkownik wyznacza pozycję tylko na podstawie korekt sieci StarFire, może skorzystać z przydatnej funkcji StarFire QuickStart. Umożliwia ona dowiązanie się do punktu o znanych współrzędnych (np. do osnowy państwowej). Dalej wyznaczenie bieżącej pozycji odbiornika odbywa się z użyciem wektorów obliczonych z uwzględnieniem tego właśnie punktu.

RTK-Extend. Odbiorniki NavCom mogą oczywiście pracować również z naziemną siecią stacji referencyjnych czy z pojedynczą stacją bazową. Jednak praca ta, zwłaszcza w trudnych warunkach, wygląda nieco inaczej, gdyż cały czas odbierany jest również sygnał z sieci StarFire. Umożliwia to utrzymanie ciągłości pozycjonowania w trybie precyzyjnym nawet wtedy, gdy do odbiornika użytkownika końcowego przestaną docierać korekty z naziemnej stacji bazowej czy też z sieci stacji referencyjnych (np. z powodu braku zasięgu sieci komórkowej). W takim przypadku odbiornik nie traci trybu precy-

zyjnego RTK, oznaczonego na ekranie kontrolera jako „RTK Fixed”, lecz jego status zmienia się na „RTK-X”, co oznacza, że w od tej chwili aktywny jest tryb RTK-Extend, w którym odbiornik może pracować blisko 15 minut. Jeśli w tym czasie do odbiornika ponownie zaczną docierać korekty ze stacji bazowej/referencyjnej, automatycznie powróci on do standardowego rozwiązania RTK („fix”). Natomiast w przeciwnym razie automatycznie przejdzie do trybu „SF-Dual”, co oznacza, że dalej pozycjonowanie odbywa się z wykorzystaniem korekt z globalnej sieci StarFire. Typowe dokładności w trybie RTK-Extend wynoszą: 3 cm w poziomie i 6 cm w pionie dla pomiarów przy tzw. otwartym niebie.

Na rys. 5 po lewej stronie widoczny jest tryb RTK Fixed – do odbiornika docierają korekty z naziemnej sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Po prawej stronie tryb RTK-Extend – po wyłączeniu modemu GSM do odbiornika przestały docierać korekty z ASG-EUPOS, ale nadal utrzymywane są wysokie dokładności wyznaczenia pozycji. Z uwagi na to, że test był przeprowadzony w miejscu, gdzie stacje referencyjne ASG nie wysyłają poprawek dla systemu GLONASS, odbiornik pierwotnie wyznaczył pozycję na podstawie sygnałów z ośmiu satelitów GPS, parametr PDOP wynosił 2,18 (ekran po lewej). Po przejściu w tryb RTK-Extend (ekran po prawej) całkowita liczba satelitów zwiększyła się do 20 (StarFire korzysta również z GLONASS), a parametr PDOP uległ obniżeniu (poprawie) do wartości 1,10.

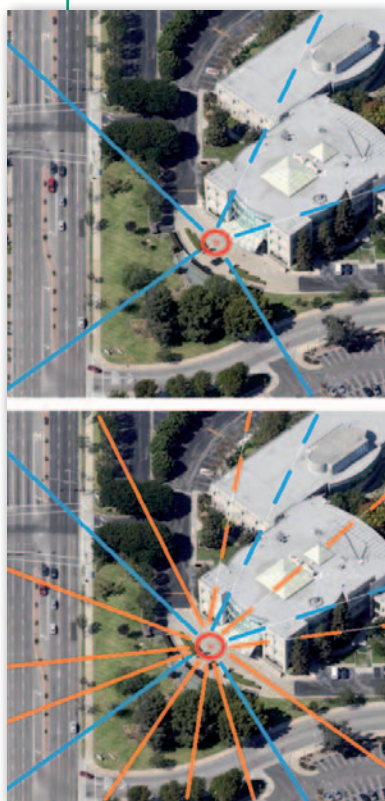
Obecnie dla większości kraju (z wyjątkiem podsięci śląsko-małopolskiej i mazowieckiej oraz wkrótce pomorskiej) stacje ASG-EUPOS nadają poprawki RTK jedynie dla GPS. Nawet gdy użytkownik dysponuje odbiornikiem GNSS, który teoretycznie może odbierać również sygnał GLONASS, to i tak w praktyce

jest to funkcja bezużyteczna, gdyż jego odbiornik nie otrzymuje poprawek dla GLONASS z ASG-EUPOS. Z tego powodu wykorzystanie zestawu RTK np. w gęstej zabudowie czy wśród drzew bywa niemożliwe, gdyż odbiornik śledzi zbyt małą liczbę satelitów, a część z nich zostaje dodatkowo przesłonięta. Natomiast odbiornik NavCom oprócz korekt z ASG-EUPOS równolegle odbiera sygnał ze StarFire i kiedy część satelitów z GPS zostaje przesłonięta, nie traci trybu precyzyjnego „fix”, tylko przechodzi do trybu RTK-Extend, w którym dołączane są do rozwiązania również widoczne satelity z systemu GLONASS (rys. 6).

• Najlepiej sprawdzić samemu

NavCom Technology daje użytkownikowi narzędzie w postaci systemu StarFire, który znakomicie wspomaga pracę z odbiornikiem GNSS w trybie RTK oraz wypełnia luki w tych obszarach, gdzie dotychczas pozycjonowanie z wykorzystaniem tradycyjnej naziemnej stacji bazowej czy sieci stacji referencyjnych było znacznie utrudnione lub niemożliwe. Tym samym geodeta posiadający w terenie odbiornik z aktywną licencją na StarFire ma do dyspozycji szeroki wachlarz możliwości. W każdym zakątku świata jest w stanie wyznaczyć pozycję, bazując tylko i wyłącznie na globalnej sieci StarFire. Może też wykonywać pomiary, wykorzystując tradycyjną naziemną stację bazową czy sieć stacji referencyjnych, a StarFire cały czas będzie czuwał nad jego pracą i włączał się automatycznie, gdy jest to niezbędne do zachowania maksymalnej wydajności. Aby przetestować StarFire na konkretnej robocie geodezyjnej, wystarczy skontaktować się z firmą Art-Geo, która jest wyłącznym przedstawicielem NavCom Technology w Polsce.

Artur Jarzyło
Art-Geo



Rys. 6. Odbiornik odbiera tylko sygnał GPS – brak poprawek dla GLONASS z sieci ASG-EUPOS (fot. wyżej). Po przejściu w tryb RTK-Extend system StarFire pozwala śledzić również satelity GLONASS (fot. niżej)