

System nawigacji satelitarnej GPS, część 1

Od historii do przyszłości

Wiele osób zajmujących się amatorsko, a nieraz i profesjonalnie elektroniką nie zdaje sobie w pełni sprawy z ogromnego postępu, jaki miał miejsce w ostatnich latach w dziedzinie globalnych, satelitarnych systemów nawigacyjnych GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Postęp ten dotyczy stale poprawiających się parametrów systemów GNSS oraz parametrów ich odbiorników, zmniejszających się rozmiarów oraz, co nie mniej istotne, szybko spadających cen odbiorników GNSS. Rosnąca popularność i możliwości systemów GNSS sprawiają, że warto się nimi bliżej zainteresować.



Wśród satelitarnych systemów nawigacyjnych GNSS najważniejszym i najbardziej znanym jest amerykański globalny system pozycjonujący NAVSTAR GPS (Global Positioning System). Jakkolwiek hasło GPS jest szeroko znane, to system ten jest często uważany za bardzo zaawansowany technicznie, skomplikowany i trudny do wykorzystania w praktyce przez elektroników amatorów. O ile stwierdzenie, że system GPS jest skomplikowany i zaawansowany technicznie jest w pełni uzasadnione, o tyle zrozumienie podstaw jego działania oraz zasad wykorzystania odbiorników GPS nie powinno stwarzać większych problemów osobom zajmującym się elektroniką.

W serii artykułów poświęconych systemowi GPS, postaram się przybliżyć zasadę jego działania i zachęcić do wykorzystania odbiorników

GPS we własnych projektach urządzeń elektronicznych. Celem pierwszego artykułu w tej serii jest przedstawienie genezy systemu GPS, jego obecnego statusu i ogromnych możliwości oraz wielkich zmian, które czekają nawigację satelitarną już w niezbyt odległej przyszłości.

Zanim powstał GPS

Skrót GNSS, w przeciwieństwie do GPS, jest mało znany nawet wśród osób interesujących się techniką. Wynika to z faktu, że GPS przez wiele lat pozostawał jedynym liczącym się przedstawicielem globalnych satelitarnych systemów nawigacyjnych GNSS. Tymczasem GPS nie jest jedynym, ani nawet pierwszym wykorzystywanym praktycznie systemem nawigacji satelitarnej.

Pierwszym satelitarnym systemem nawigacyjnym był opracowany w USA w latach 1958–1962 przez John Hopkins Applied Physics Laboratory i użytkowany do końca 1996 roku system nawigacji satelitarnej TRANSIT. System ten wykorzystywano początkowo wyłącznie dla potrzeb wojska, ale od 1976 roku udostępniono go także użytkownikom cywilnym. W systemie TRANSIT krążące na orbitach o wysokości około 1100 km nad

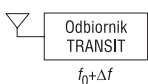
Ziemią satelity nadawały dwie ciągłe fale nośne o częstotliwościach 150 MHz i 400 MHz, zmodulowane danymi pozwalającymi na obliczenie ich położenia, tzw. efemerydami. W wyniku wzajemnego ruchu nadajnika umieszczonego na satelicie i odbiornika systemu TRANSIT, występował efekt Dopplera polegający na przesunięciu częstotliwości odebranego sygnału względem sygnału nadawanego.

Ze względu na efekt Dopplera, częstotliwość sygnału docierającego do odbiornika jest większa niż częstotliwość sygnału emitowanego z nadajnika, jeśli nadajnik i odbiornik zbliżają się do siebie. Jeśli nadajnik i odbiornik oddalają się od siebie, częstotliwość sygnału odebranego jest mniejsza niż częstotliwość sygnału nadawanego. Różnica częstotliwości sygnału odbieranego i nadawanego, zwana przesunięciem dopplerowskim, jest proporcjonalna do wzajemnej prędkości nadajnika i odbiornika. Zjawisko to oraz zasadę obliczania prędkości nadajnik – odbiornik przedstawiono na rys. 1.

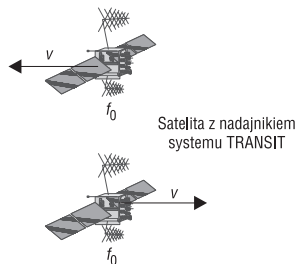
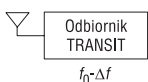
Odbiornik systemu TRANSIT określał położenie użytkownika na podstawie wielokrotnych pomiarów dopplerowskiego przesunięcia częstotliwości odebranych sygnałów oraz położenia satelity obliczonego z nadawanych przez satelitę co dwie minuty efemerydów.

Parametry systemu TRANSIT były dalekie od tego, co oferuje obecnie system GPS. Wyznaczenie

a) Satelita zbliża się do odbiornika:



b) Satelita oddala się od odbiornika:



$$\Delta f = \frac{v}{c} f_0$$

$$v = \frac{\Delta f}{f_0} c$$

f_0 - częstotliwość nadawanego sygnału
 Δf - dopplerowskie przesunięcie częstotliwości
 v - wzajemna prędkość nadajnika i odbiornika
 c - prędkość światła

Rys. 1. Efekt Dopplera i jego wykorzystanie do określania prędkości zbliżania lub oddalania się satelity od odbiornika systemu TRANSIT

położenia zajmowało od kilku do kilkunastu minut, a jego dokładność wynosiła początkowo od kilkuset metrów do kilkudziesięciu metrów pod koniec działania systemu. Ze względu na niewielką liczbę satelitów występowały okresy od 35 do 100 minut, kiedy położenia w ogóle nie można było ustalić. Ponadto konieczna była znajomość własnej prędkości, którą w przypadku pojazdów trzeba było określać za pomocą dodatkowego urządzenia pomiarowego. Trzeba też zaznaczyć, że system TRANSIT umożliwiał określanie położenia dwuwymiarowo. Trzecia współrzędna, tj. wysokość położenia użytkownika, musiała być wcześniej znana. W nawigacji lotniczej, a niekiedy i lądowej, konieczne było zatem stosowanie oprócz odbiornika TRANSIT i prędkościomierza, jeszcze dodatkowo wysokościomierza. Wszystkie te ograniczenia sprawiały, że system był praktycznie wykorzystywany głównie w nawigacji morskiej, w geodezji oraz do synchronizacji czasu. Odpowiedniki systemu TRANSIT opracowano i uruchomiono także w byłym ZSRR. Były to wojskowy system CYKADA-M i cywilny CYKADA.

Zanim powstał system GPS, w USA realizowano jeszcze kilka projektów związanych z nawigacją satelitarną. Były to m.in. projekt TIMATION realizowany dla potrzeb amerykańskiej marynarki wojennej i projekt 621B prowadzony dla wojsk powietrznych USA. Doświadczenia zdobyte przy konstruowaniu i eksploatacji systemu TRANSIT oraz podczas realizacji innych projektów związanych z nawigacją satelitarną umożliwiły rozwój technologii, które zostały następnie wykorzystane przy opracowywaniu systemu GPS i innych współczesnych systemów GNSS.

Jak powstawał GPS

W roku 1973 programy badawcze TIMATION i 621B zostały połączone w jeden projekt nazwany DNSS (*Defence Navigation Satellite System – Obronny Satelitarny System Nawigacyjny*). Do realizacji projektu powołano Połączone Biuro Projektu JPO (*Joint Program Office*), którego pierwszym dyrektorem został płk dr Bradford W. Parkinson. W toku prac nad systemem zmieniono nazwę projektu na NAVSTAR the Global Positioning System (NAVSTAR Globalny System

Pozycjonujący), co jak uważali twórcy systemu lepiej oddawało jego przeznaczenie. Powszechnie używa się skrótu tej nazwy, określając system jako NAVSTAR GPS lub krótko GPS.

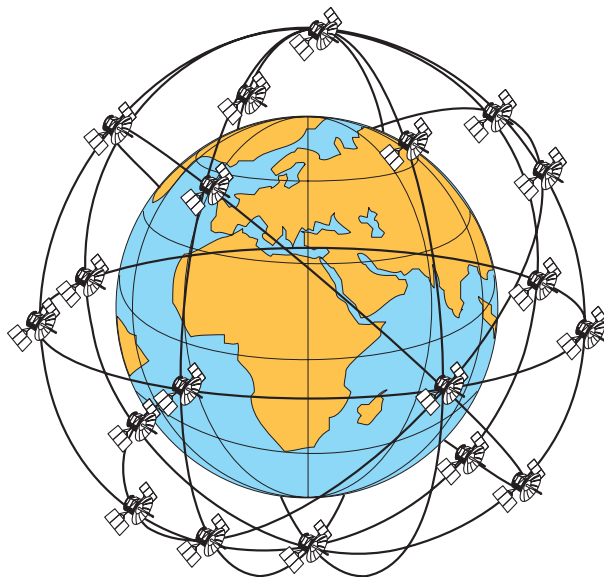
Realizacja programu przebiegała bardzo sprawnie. W lutym 1978 roku umieszczono na orbicie pierwszego satelitę systemu GPS należącego do grupy określonej jako blok I. Blok I stanowił pierwszą generację satelitów przeznaczonych do celów badawczo – rozwojowych. Część naziemna służąca do monitorowania i sterowania satelitami była już wówczas gotowa i można było rozpocząć pierwsze testy systemu GPS. W latach 1978–1985 na orbitach umieszczono łącznie 11 satelitów bloku I. Pomimo, że ich przewidywany czas życia wynosił jedynie 3 lata, kilka z nich działało przez ponad 10 lat. Kolejne generacje wystrzeliwanych satelitów oznaczano jako blok II/IIA i IIR. W przyszłości planowane jest zastępowanie starszych satelitów jeszcze nowocześniejszymi z segmentu oznaczonego IIF.

Zgodnie z początkowymi założeniami, system NAVSTAR GPS miał być wykorzystywany głównie w aplikacjach wojskowych. Dobitnie świadczy o tym zabawne motto, które sformułowali konstruktorzy systemu z JPO. W swobodnym tłumaczeniu brzmiało ono następująco:

„Celem programu jest:

1. Wrzucić 5 bomb do tej samej dziury,
2. Zbudować tanie urządzenie odbiorcze do nawigacji (kosztujące mniej niż 100 tys. dolarów) i nie zapomnieć o tym!”

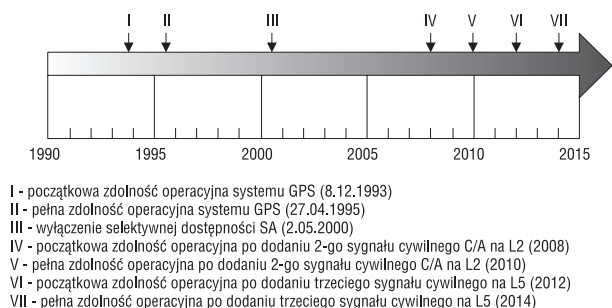
Patrząc na wynik ich pracy można powiedzieć, że konstruktorzy postawione sobie zadania zrealizowali z dużym nadmiarem. Specjalne techniki pomiarowe wykorzystujące GPS pozwalają na uzyskiwanie milimetrowej dokładności określania położenia, a dokładność rzędu pojedynczych metrów jest obecnie osiągalna z wykorzystaniem odbiorników kosztujących zaledwie kilkadziesiąt dolarów.



Rys. 2. Konstelacja satelitów systemu NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS pozostawał systemem wyłącznie wojskowym do roku 1983, kiedy decyzją prezydenta USA Ronalda Reagana został w ograniczonym stopniu udostępniony użytkownikom cywilnym. Decyzja ta była spowodowana bezpośrednio incydentem, do którego doszło, gdy cywilny samolot koreańskich linii lotniczych przypadkowo naruszył przestrzeń powietrzną ZSRR i został zestrzelony przez radzieckie myśliwce. W celu uniknięcia w przyszłości podobnych tragedii użytkownikom cywilnym została udostępniona standardowa usługa pozycjonowania SPS (*Standard Positioning Service*), natomiast autoryzowani użytkownicy wojskowi mieli dostęp do dokładniejszej precyzyjnej usługi pozycjonowania PPS (*Precise Positioning Service*).

Kolejne, zakończone sukcesem umieszczenia satelitów na orbicie spowodowały, że w marcu 1994 roku konstelacja systemu osiągnęła nominalną liczbę 24 satelitów (rys. 2). Jednak już wcześniej, 8 grudnia 1993 roku, we wspólnym oświadczeniu Departamentu Obrony i Departamentu Transportu USA została ogłoszona początkowa zdolność operacyjna systemu IOC (*Initial Operational Capability*). Ta deklaracja była szczególnie ważna dla użytkowników cywilnych, ponieważ oznaczała, że system NAVSTAR GPS był już wówczas w stanie zapewnić na całym świecie, w sposób ciągły standardową usługę pozycjonowania SPS, charakteryzującą się



Rys. 3. Przebieg modernizacji systemu GPS

100-metrową dokładnością wyznaczenia położenia poziomego. Pełna zdolność operacyjna systemu FOC (*Full Operational Capability*) została ogłoszona 27 kwietnia 1995 roku i oznaczała, że system spełniał wówczas wszystkie założone wymagania cywilne i wojskowe.

We wrześniu 2005 roku konstelacja NAVSTAR GPS liczyła 30 satelitów, z tego 17 satelitów należących do starszego segmentu II/IIA i 13 nowoczesnych satelitów segmentu IIR. Obecnie liczba satelitów przekracza zatem znacznie nominalną liczbę 24, zapewniającą poprawną pracę systemu. Z punktu widzenia użytkownika oznacza to coraz większą liczbę satelitów widocznych nad horyzontem, a zatem lepszą dokładność i dostępność systemu, zwłaszcza w warunkach, kiedy przeszkody takie jak elementy karoserii pojazdu, otaczające budynki, drzewa i elementy rzeźby terenu blokują sygnały docierające do odbiornika od niektórych satelitów GPS.

Co dalej z GPS

System NAVSTAR GPS podlega ciągłej modernizacji, dzięki czemu jego użyteczność, i tak już bardzo duża, będzie nadal rosła. Kluczowe znaczenie dla użytkowników cywilnych miało wyłączenie 2 maja 2000 roku tzw. selektywnej dostępności SA (*Selective Availability*), która stanowiła celowe zakłócenie pracy systemu ograniczające jego dokładność. Selektywną dostępność stosowano w celu uniemożliwienia wrogiego wykorzystania systemu GPS. Deklarowana dokładność określania położenia poziomego przed wyłączeniem SA wynosiła poniżej 100 metrów, natomiast po wyłączeniu znacznie się poprawiła i obecnie wynosi od kilku do kilkunastu metrów zależnie od odbiornika i warunków odbioru. Deklarowana w oficjalnym dokumencie dotyczącym parametrów

systemu (GPS SPS Performance Standard z roku 2001) dokładność określania położenia poziomego wynosi poniżej 13 metrów.

Przyszłość systemu GPS jest nakreślona w Federalnym Planie Radionawigacyjnym FRP 2001 (*Federal Radionavigation*

Plan 2001) opracowanym przez rząd USA. Z dokumentu tego wynika, że planowane są dalsze istotne modernizacje systemu GPS, których celem jest poprawa dokładności pozycjonowania i określania czasu, zwiększenie dostępności systemu i jego wiarygodności. Wprowadzane modyfikacje systemu muszą jednak gwarantować kompatybilność nadawanych sygnałów GPS z wcześniejszymi odbiornikami. Każdy odbiornik GPS skonstruowany zgodnie z wymaganiami określonymi w specjalnym dokumencie ICD-GPS-200 (*NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces ICD-GPS-200*) powinien po modyfikacjach systemu GPS działać podobnie lub lepiej niż przed modernizacją. Pełne wykorzystanie wprowadzanych rozszerzeń systemu będzie jednak wymagało zastosowania nowych odbiorników.

Modernizacja systemu GPS będzie się odbywała etapami. Planowa-

ne jest wprowadzenie dodatkowych sygnałów do użytku cywilnego i nowych kodów przeznaczonych dla użytkowników wojskowych. Obecnie sygnał GPS przeznaczony dla użytkowników cywilnych jest zmodulowany ogólnodostępnym kodem C/A i nadawany wyłącznie na jednej częstotliwości L1 (1575,42 MHz). Pierwszą planowaną zmianą jest wprowadzenie drugiego „cywilnego” sygnału GPS zmodulowanego między innymi kodem C/A, na częstotliwości L2 (1227,60 MHz), na której obecnie nadawany jest wyłącznie sygnał dla użytkowników wojskowych. Umożliwi to korekcję w dwuczęstotliwościowych odbiornikach cywilnych jednego z głównych błędów występujących obecnie w systemie GPS, tj. błędu jonosferycznego spowodowanego opóźnieniem sygnału GPS podczas jego przejścia przez warstwę jonosfery otaczającą naszą planetę. Taka korekcja jest obecnie stosowana jedynie w dwuczęstotliwościowych odbiornikach wojskowych. Drugi sygnał „cywilny”, oznaczany jako L2C, jest już obecnie nadawany z najnowocześniejszego satelity GPS, wystrzelonego na orbitę we wrześniu 2005 roku. Możliwość pełnego wykorzystania tego sygnału pojawi się jednak dopiero pod koniec bieżącej dekady, kiedy sygnał L2C będzie nadawany z większości satelitów.



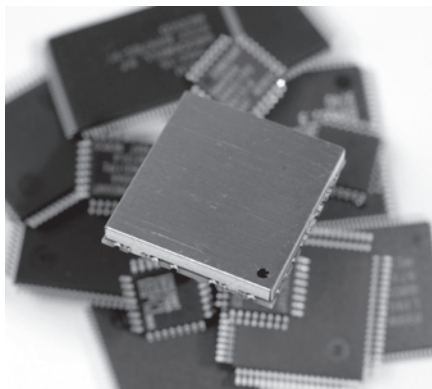
W kolejnym etapie zostanie wprowadzony trzeci sygnał „cywilny”, nadawany na nowej częstotliwości L5 (1176,45 MHz), na której żaden sygnał GPS nie był dotychczas nadawany. Ten nowy sygnał ma być wykorzystywany przede wszystkim w aplikacjach, od których działania zależy życie ludzkie, np. w lotnictwie do precyzyjnego podejścia do lądowania.

Ponadto, na dotychczasowych częstotliwościach L1 i L2 jest planowane nadawanie nowych kodów przeznaczonych dla użytkowników wojskowych i oznaczanych jako kody M, które umożliwią lepszą pracę nowych odbiorników wojskowych w warunkach silnych zakłóceń elektromagnetycznych. Przewidywane jest również zwiększenie mocy sygnałów nadawanych z satelitów, co powinno ułatwić ich odbiór również w miejscach częściowo zasłoniętych, np. wewnątrz budynków takich jak niektóre porty lotnicze, centra handlowe, itp.

Przebieg modernizacji systemu GPS przedstawiono na rys. 3.

Nie tylko GPS

Oprócz systemu GPS obecnie działa jeszcze jeden globalny system nawigacji satelitarnej GLONASS. Jest to system rosyjski, opracowany w czasach, kiedy istniał jeszcze Związek Radziecki. System ten nie osiągnął jednak nigdy nominalnej liczby 24 satelitów i nie uzyskał zdolności operacyjnej stąd jego praktyczne wykorzystanie było dotychczas niewielkie w porównaniu z GPS. Od wielu lat są jednak dostępne na rynku zintegrowane odbiorniki GPS/GLONASS, które odbierają sygnały z satelitów obu systemów. Takie rozwiązanie zwiększa dokładność pozycjonowania i co bardzo ważne umożliwia



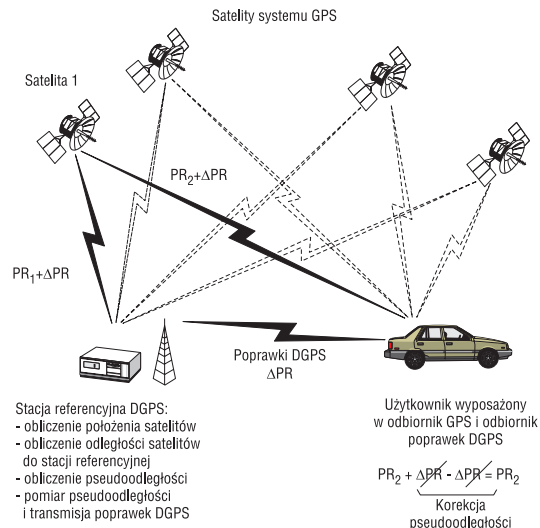
wyznaczanie położenia w warunkach słabej widoczności satelitów (np. podczas ruchu pojazdu w mieście o wysokiej zabudowie). Odbiorniki dwusystemowe należą jednak do stosunkowo drogiej klasy urządzeń wyższej klasy i w związku z tym są rzadko stosowane przez elektroników amatorów. Popularność tego typu urządzeń, jak również samego systemu GLONASS może jednak wzrastać, ponieważ Rosja deklaruje chęć jego rozwoju. W lipcu 2005 na orbitach znajdowało się 13 działających satelitów GLONASS. Zgodnie z programem

rozwoju systemu na lata 2002–2011 przewiduje się, że do końca 2007 roku konstelacja satelitów osiągnie liczbę przynajmniej 18, a pełna konstelacja 24 satelitów jest przewidywana na rok 2011.

Do grona dwóch satelitarnych systemów nawigacyjnych wkrótce powinien dołączyć jeszcze trzeci, który w odróżnieniu od GPS i GLONASS będzie systemem całkowicie cywilnym. Będzie to europejski system GALILEO, którego budowę koordynują Komisja Europejska i Europejska Agencja Kosmiczna. Pod koniec grudnia 2005 roku wystrzelono pierwszego satelitę, a pełną zdolność operacyjną przewiduje się na rok 2008, a więc stosunkowo szybko. Pomimo, że GALILEO jest dopiero w sferze planów, odbiorniki tego systemu oraz odbiorniki zintegrowane pozwalające na odbiór sygnałów również z pozostałych satelitarnych systemów nawigacyjnych już zostały skonstruowane przez kilka firm. Na razie mogą być wykorzystywane do celów badawczych, ale kiedy system GALILEO stanie się rzeczywistością zapewne staną się równie popularne, i w krótkim czasie równie tanie, jak dzisiejsze odbiorniki GPS.

DGPS, czyli jak pomóc GPS

Już w początkowym okresie wykorzystywania systemu GPS okazało się, że dokładność oferowaną przez ten system można zdecydowanie poprawić za pomocą metody korekcji różnicowej danych GPS. Metoda ta jest oznaczana jako DGPS (*Differential GPS*). W czasach, kiedy dokładność GPS dla użytkowników

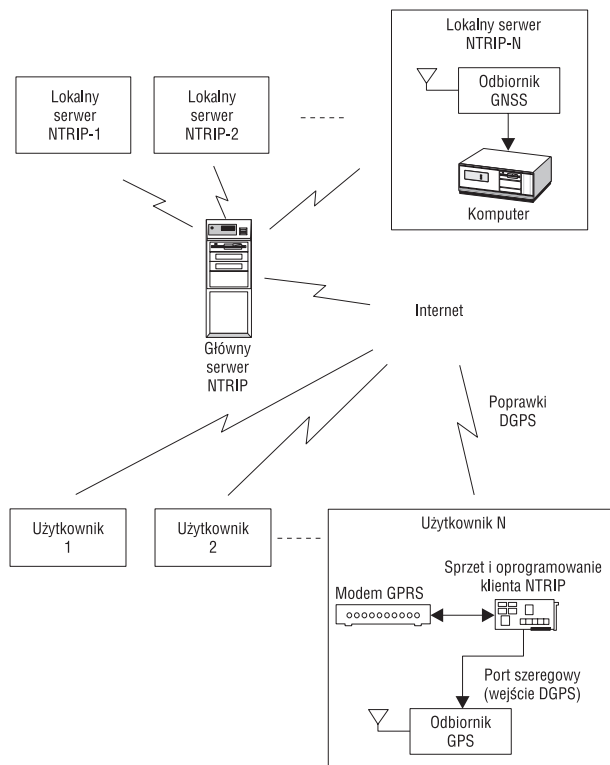


Rys. 4. Metoda korekcji różnicowej DGPS

cywilnych wynosiła około 100 metrów, zastosowanie DGPS pozwalało uzyskiwać dokładności rzędu pojedynczych metrów. Również obecnie, mimo znacznie lepszej dokładności samego GPS, DGPS pozwala na znaczącą poprawę dokładności pozycjonowania, redukując błędy położenia do około 1–5 metrów.

Zasada działania DGPS jest stosunkowo prosta. W miejscu o uprzednio bardzo dokładnie określonym położeniu jest instalowana stacja referencyjna systemu DGPS. Zawiera ona odbiornik GPS oraz nadajnik poprawek różnicowych. Odbiornik GPS wykonuje pomiary tzw. pseudoodległości (oznaczanych dalej PR) od wszystkich widocznych z jego położenia satelitów GPS. Pojęcie pseudoodległości zostanie dokładniej omówione w kolejnej części artykułu, przy omawianiu zasady działania systemu GPS.

Pseudoodległości PR są ściśle związane z rzeczywistymi odległościami R od anteny odbiornika GPS do poszczególnych obserwowanych satelitów. Znając dokładne położenie stacji referencyjnej i określając położenie satelitów z odbieranych od nich sygnałów, można dość dokładnie obliczyć ich wzajemne odległości R . Następnie można określić, jakie naprawdę powinny być pseudoodległości PR i porównać je z wartościami mierzonymi $PR + \Delta PR$. Różnice pomiędzy wartościami obliczonymi i mierzonymi ΔPR wynikają głównie z błędów pomiarowych i w systemie DGPS są one transmitowane ze stacji referencyjnej jako tzw. poprawki różnicowe.



Rys. 5. Zasada korekcji różnicowej DGPS przez Internet

Użytkownik systemu DGPS również posiada odbiornik GPS i dodatkowo odbiornik poprawek różnicowych wysyłanych przez stację referencyjną. Odbiornik GPS użytkownika musi akceptować poprawki DGPS. Obecnie niemal wszystkie dostępne na rynku odbiorniki GPS posiadają wejście danych korekcyjnych DGPS (jest to dodatkowy port szeregowy). Dane korekcyjne są przesyłane ze stacji referencyjnej w postaci wiadomości, których format jest określony pochodzącym z 1983 roku standardem RTCM

SC-104, opracowanym przez Radiotechniczną Komisję Służb Morskich RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*), a w szczególności przez jej Specjalny Komitet nr 104 (*Special Committee SC-104*).

Załóżmy, że użytkownik systemu DGPS znajduje się w stosunkowo niewielkiej odległości od stacji referencyjnej i jego odbiornik śledzi te same satelity, dla których są wyznaczone i transmitowane poprawki. Większość błędów GPS wykazuje dużą korelację przestrzenną, a zatem znajdujące się niedaleko od siebie odbiorniki GPS doświadczają podobnych błędów. Poprawki pseudoodległości wyznaczone w stacji referencyjnej są więc właściwe również w miejscu, w którym znajduje się użytkownik systemu DGPS. W odbiorniku GPS użytkownika poprawki pseudoodległości służą do usunięcia większości błędów pomiarowych pseudoodległości, tak jak to wyjaśniono na rys. 4. Odbiornik GPS oblicza więc położenie użytkownika na podstawie skorygowanych pseudoodległości, dzięki czemu pozycjonowanie staje się dokładniejsze.

Pewną wadą tej metody jest stosunkowo niewielki zasięg użyteczności poprawek różnicowych wysyłanych ze stacji referencyjnej, wynoszący maksymalnie kilkaset kilometrów. Poprawki wyliczone w stacji referencyjnej są użyteczne jedynie dla odbiorców znajdujących się w pobliżu, a wraz z odległością od stacji referencyjnej rośnie błąd metody DGPS.

Transmisja poprawek różnicowych może być realizowana za pośrednictwem różnych mediów, np. drogą radiową na falach długich, średnich, krótkich lub ultrakrótkich, za pomocą mobilnych sieci radiokomunikacyjnych GSM, GPRS, EDGE lub UMTS. Poprawki mogą być też transmitowane przez Internet, co stało się bardzo interesującą metodą w miarę rozpowszechniania się bez-

przewodowego dostępu do Internetu.

Niedawno organizacja RTCM przyjęła jako ogólnosiwiatowy standard protokół NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), służący do transmisji strumieni danych poprawek różnicowych systemów GNSS przez Internet. Protokół ten został opracowany przez niemiecką Federalną Agencję Kartografii i Geodezji (BGK) we współpracy z Uniwersytetem w Dortmund i znanym producentem odbiorników GPS, firmą Trimble. Protokół NTRIP wykorzystują różne serwisy poprawek różnicowych, takie jak np. działający w Europie EUREF-IP. Po zarejestrowaniu się w tym serwisie otrzymuje się nazwę użytkownika i hasło, które są wymagane przy każdym logowaniu do serwera poprawek. Od tej chwili można bezpłatnie korzystać z poprawek z wybranej, znajdującej się w pobliżu stacji referencyjnej. Do tego celu służy aplikacja klienta łącząca się z serwerem poprawek DGPS. Aplikacja taka może działać na dowolnej platformie sprzętowej, na której możliwe jest zaimplementowanie protokołu NTRIP i powinna przekierowywać strumień poprawek z serwera do portu szeregowego stanowiącego wejście DGPS odbiornika. Gotowe tego typu aplikacje są dostępne bezpłatnie dla systemów Windows, Linux, Windows CE i Palm OS. Dostępne są też programy komercyjne dla niektórych typów telefonów komórkowych. Dokumentację i opis aplikacji protokołu NTRIP można znaleźć na stronie <http://igs.ifag.de/>. Są tam również dostępne do ściągnięcia programy do odbioru poprawek różnicowych przez Internet.

Narzucające się, choć nie jedyne możliwe rozwiązanie dostępu do poprawek różnicowych, to zastosowanie modułu GSM/GPRS w połączeniu z odbiornikiem GPS (na rynku są już dostępne gotowe moduły GPS/GSM). Aplikacja służąca do pozyskiwania poprawek DGPS może działać na dodatkowym mikrokontrolerze lub wykorzystywać mikrokontroler wchodzący w skład modułu GPS/GSM. Zastosowanie modułu GSM istotnie zwiększa funkcjonalność konstruowanego urządzenia. Oprócz odbioru poprawek różnicowych można go wykorzystać na przykład do okresowego raportowania położenia pojazdu do



centrali, co jest typowym zastosowaniem GPS w monitorowaniu floty pojazdów. Zasadę wykorzystania dostępnych przez Internet poprawek DGPS przedstawiono na rys. 5.

Pomoc z kosmosu, czyli SBAS

Kiedy technika DGPS wykazała swoją wielką przydatność, pojawiły się koncepcje transmisji poprawek różnicowych z satelitów geostacjonarnych na większy obszar, niż to umożliwiał klasyczny DGPS. Rozpoczęto wówczas realizację projektów zmierzających do stworzenia satelitarnych systemów wspomagających działanie GPS oraz innych systemów GNSS (GLONASS i w przyszłości GALILEO). Tego typu systemy, określane skrótem SBAS (*Space Based Augmentation Systems*), nie są przeznaczone do samodzielnej pracy, a jedynie uzupełniają istniejące systemy GNSS.

W USA od kilku lat działa już przedstawiciel systemów SBAS – system WAAS (*Wide Area Augmentation System*), w którym poprawki różnicowe GPS są przesyłane z dwóch geostacjonarnych satelitów Inmarsat na częstotliwości L1, tej samej, co zwykle sygnały GPS. Zaletą tego rozwiązania, oprócz dużego zasięgu, jest możliwość odbioru sygnałów korekcyjnych bezpośrednio przez odbiorniki GPS, w których występuje opcja WAAS, bez potrzeby stosowania dodatkowych odbiorników DGPS. Niestety użyteczność sygnałów korekcyjnych WAAS obejmuje tylko obszar Ameryki Północnej.

Na szczęście również Europa doczekała się satelitarnego systemu uzupełniającego EGNOS (*European Geostationary Overlay System*), w którym sygnały służące do korekcji zarówno systemu GPS jak i GLONASS są nadawane z trzech satelitów geostacjonarnych. Budowę systemu EGNOS koordynuje Komisja Europejska, Europejska Agencja Kosmiczna i Europejska Organizacja ds. Bezpieczeństwa Nawigacji Lotniczej Eurocontrol. Zasięg działania systemu obejmuje Europę i część Oceanu Atlantyckiego, ale planowane jest jego stopniowe rozszerzanie. Osiągnięcie pełnej zdolności operacyjnej EGNOS jest przewidywane na początek 2006 roku. Sygnały eksperymentalnej wersji EGNOS (tzw. ESTB) są już od pewnego czasu dostępne w Eu-

ropie, jednak na razie nie ma gwarancji poprawności i ciągłości działania systemu. Dane z ESTB można jednak wykorzystywać już teraz, zwłaszcza w aplikacjach amatorskich. Przewidywana dokładność pozycjonowania za pomocą odbiorników GPS/

EGNOS wynosi około 2–3 metrów. Warto też zauważyć, że systemy uzupełniające takie jak WAAS, EGNOS, czy ich japoński odpowiednik MSAS transmitują nie tylko poprawki pseudoodległości, ale też sygnały kodowe podobne do transmitowanych przez satelity systemu GPS. Zwiększa to liczbę widocznych satelitów i liczbę pomiarów realizowanych przez odbiornik, a tym samym dodatkowo poprawia dostępność i dokładność systemu. Systemy uzupełniające umożliwiają także ocenę wiarygodności odbieranych danych GNSS. Zasięg działania systemów SBAS przedstawiono na rys. 6.

Systemy WAAS, EGNOS i MSAS są kompatybilne, co oznacza, że odbiorniki z opcją WAAS mogą również odbierać sygnały EGNOS i MSAS, jeśli znajdują się w zasięgu tych systemów. Obecnie wiele dostępnych w Polsce odbiorników GPS posiada opcję odbioru sygnałów z systemów SBAS. Wykorzystanie EGNOS i znaczna poprawa dokładności systemu jest więc w zasięgu ręki i wymaga jedynie uaktywnienia odpowiedniej opcji odbiornika.

Głównym problemem w korzystaniu z systemów SBAS jest fakt, że ich sygnały są nadawane z umieszczonych nad równikiem satelitów geostacjonarnych. Z punktu widzenia użytkowników GPS znajdujących się w Europie oznacza to, że wszystkie satelity EGNOS są zawsze widoczne po południowej stronie nieba, pod stosunkowo niedużym kątem nad horyzontem. Z tego powodu sygnały EGNOS mogą być dość łatwo zablokowane np. przez budynki, elementy rzeźby terenu, itp. O ile w nawigacji morskiej i lotniczej nie stanowi to poważnej przeszkody, to wykorzystanie EGNOS w miastach o wysokiej zabudowie może się okazać problematyczne. Przewidyując to Europejska Agencja Kosmiczna



Rys. 6. Obszary działania satelitarnych systemów uzupełniających SBAS

ESA opracowała i uruchomiła usługę SISNeT (<http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/sisnet/sisnet.htm>), która umożliwia dostęp w czasie rzeczywistym do sygnałów EGNOS przez Internet. Każdy użytkownik posiadający dostęp do Internetu (praktyczną przydatność ma głównie dostęp mobilny, np. poprzez GPRS) może odbierać sygnały z satelitów geostacjonarnych niezależnie od ich lokalnej widzialności. Nie jest do tego potrzebny nawet odbiornik z opcją EGNOS, ponieważ odebrane poprawki można po odpowiednim sformatowaniu wprowadzić do wejścia DGPS odbiornika. Warto dodać, że SISNeT działa już teraz, a dostęp do niego wymaga jedynie zarejestrowania się i jest bezpłatny.

Z powyższego opisu wynika, że w chwili obecnej GPS i wspomagające go systemy oraz usługi oferują niezwykle wręcz możliwości. W perspektywie kilku lat należy spodziewać się przełomowych zmian w dziedzinie globalnych satelitarnych systemów nawigacyjnych GNSS, związanych z pojawieniem się GALILEO, dalszym rozwojem GPS i GLONASS oraz udoskonalaniem systemów i usług wspomagających korzystanie z GNSS. Skrót GNSS zapewne stanie się powszechnie znany, przynajmniej w takim stopniu jak obecnie skrót GPS. Zanim jednak tak się stanie, warto dowiedzieć się, co już dzisiaj można zrobić korzystając z techniki GPS. Zdobyta wiedza na pewno przyda się również w przyszłości, ponieważ zmiany zachodzące w systemach GNSS przekładają się na poprawę parametrów określonego przez odbiorniki położenia, prędkości i czasu, a nie na zmianę sposobu korzystania z odbiorników.

Piotr Kaniewski
pkaniewski@wat.edu.pl