

marek tomasik

Nawigacja satelitarna staje się powszechna

Jak po sznurku

Jeszcze nie tak dawno oznaczenie położenia na przykład na morzu wiązało się z obserwacją igły kompasu oraz gwiazd. Możemy tylko przypuszczać, jak wyglądałyby podróże Kolumba, gdyby dysponował on odbiornikiem GPS.

Bartłomiej Bojarski

Przez wieki ludzie odkrywali niezbadane obszary Ziemi. Równolegle rozwijali coraz to nowe sposoby i narzędzia ułatwiające prowadzenie nawigacji. Niektóre z nich, jak kompas, sekstans czy mapa, pozostały w użyciu do dzisiaj. Posługiwanie się nimi wymaga jednak pewnej wprawy. Musi też być spełnionych kilka

warunków (na przykład bezchmurne niebo), abyśmy poprawnie określili swoją pozycję. Od kilkunastu lat możemy korzystać z systemu lokalizacji satelitarnej, który całkowicie zmienił sposób nawigacji na lądzie, morzu i w powietrzu. Jego rewolucyjność polega przede wszystkim na tym, że jest dokładny, dostępny 24 godziny na dobę,

działanie nie zależy od warunków atmosferycznych, a użytkowanie jest bezpłatne. Najprostsze odbiorniki służące do nawigacji są ponadto niewielkie i stosunkowo niedrogie. Dzięki temu niemal każdy z nas przy niewielkim wysiłku finansowym może sobie pozwolić na takie urządzenie.

GPS (Global Positioning System) – bo taką nazwę nosi ten system – został zbudowany na zlecenie Departamentu Obrony USA w latach 1982–1994, a zarządzany jest przez Dowództwo Sił Powietrznych. Mimo że początkowo został zaprojektowany do zastosowań wojskowych, to ze względu na walory użytkowe, a także dążenie do obniżenia kosztów eksploatacji, z pewnymi ograniczeniami GPS udostępniono też użytkownikom cywilnym.

Ziemia – powietrze

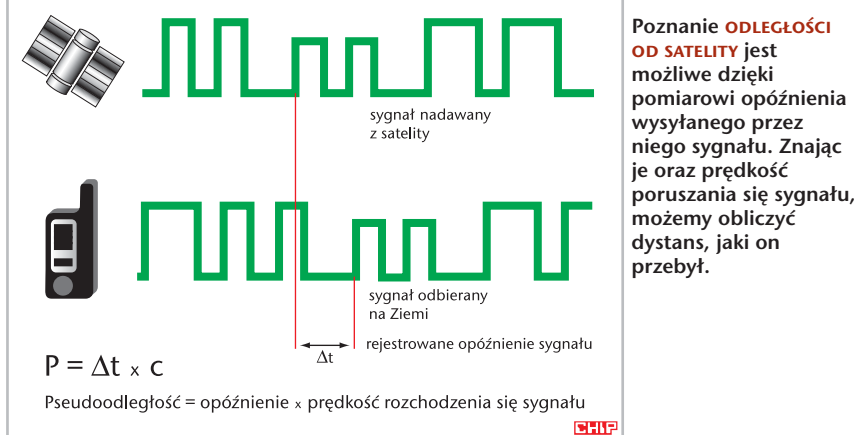
Cały system GPS składa się z trzech powiązanych ze sobą podsystemów. Część satelitarną tworzą 24 podstawowe i 6 zapasowych satelitów NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging), okrążających Ziemię w ciągu 12 godzin. Na każdej z sześciu orbit znajdują się cztery satelity poruszające się na wysokości około 20 200 km. Co ciekawe, taka wysokość umożliwia korzystanie z usług GPS-u nie tylko odbiornikom naziemnym, ale także innym sputnikom. Orbit są rozmieszczone wokół całego globu i nachylone do płaszczyzny równika pod kątem 55°. Taka konfiguracja sprawia, że z dowolnego miejsca na naszej planecie i o dowolnej porze widać co najmniej cztery satelity.

Działanie części „powietrznej” systemu jest nadzorowane z Ziemi przez Główną Stację Nadzoru (MCS – Master Control Station) z Bazy Sił Powietrznych Falcon w Colorado Springs i stacje monitorujące w Kwajalein, Diego Garcia, Ascension i na Hawajach – zadaniem tych ostatnich jest śledzenie toru ruchu satelitów. Zebrane dane przesyłane są do MCS, gdzie następuje korekta efemeryd satelitów, czyli zbioru parametrów orbity. Wyznaczone poprawki transmitowane są do satelitów.

Ostatnią częścią systemu GPS są użytkownicy, a dokładniej różne odbiorniki – cywilne i wojskowe. Odbierają one sygnały emitowane przez „widoczne” satelity oraz obliczają współrzędne i prędkość poruszania się obserwatora. Odbiorniki są zazwyczaj wielokanałowe, czyli umożliwiające odbiór sygnałów z większej liczby satelitów, co zapewnia szybsze i dokładniejsze wyznaczanie pozycji. Dostępne urządzenia pracują

GPS: know-how

Pomiar odległości



w jednym z dwóch trybów wyznaczania pozycji: standardowym – inaczej SPS (Standard Positioning Service), i precyzyjnym – tak zwanym PPS (Precise Positioning Service). Oba sposoby pracy różnią się przede wszystkim przeznaczeniem. Z pierwszego mogą korzystać użytkownicy cywilni, którzy muszą się liczyć z niedokładnościami pomiaru lub wręcz wyłączeniem ich „części” systemu w wypadku zagrożenia bezpieczeństwa Stanów Zjednoczonych. Drugi tryb jest zarezerwowany dla tak zwanych użytkowników uprawnionych, czyli różnorodnych agencji rządowych USA. Do tej grupy należą mogą również cywilne firmy mające specjalne, stałe lub okresowe, zezwolenia Departamentu Obrony USA.

Kilka równań

Każdy satelita 50 razy na sekundę emituje sygnał na dwóch różnych częstotliwościach:

1575,42 MHz (L1) oraz 1227,6 MHz (L2). Do zastosowań nawigacyjnych wykorzystywana jest tylko pierwsza z nich, choć niektóre wyspecjalizowane odbiorniki, np. geodezyjne, mogą przetwarzać sygnał L2 do uzyskania większej dokładności pomiaru. Aby odbiornik GPS „wiedział”, z którego sputnika odbiera dane, sygnały L1 i L2 są modulowane unikalnymi dla każdego satelity pseudolosowymi kodami binarnymi C/A (Course Acquisition – kod standardowy) oraz P (Precise Code – kod precyzyjny). Co znajduje się w sygnałach L1 i L2? Zawierają one tak zwane depesze nawigacyjne transmitowane z prędkością 50 bit/s. W skład każdej z nich wchodzi między innymi informacje dotyczące parametrów orbity, błędów zegara satelity, aktualny czas oraz tak zwany almanach, czyli dane dotyczące aktualnego stanu systemu, co przyspiesza proces aktywacji odbiornika.

Trzy to za mało

Aby obliczyć pozycję na Ziemi, wystarczy znać pozycję trzech satelitów oraz wiedzieć, ile wynosi odległość od każdego z nich. Co nam to da? Jeżeli znamy dystans od jednego sputnika, to wiemy, że znajdujemy się gdzieś na powierzchni sfery o środku w satelicie i promieniu równym poznanej odległości. Informacja o tym, ile metrów dzieli nas od drugiego sputnika, pozwoli ograniczyć obszar poszukiwań do okręgu będącego przecięciem dwu sfer. Natomiast trzy sfery przecinają się tylko w dwóch punktach, z których jeden można

wykluczyć jako będący zbyt daleko od Ziemi lub poruszający się zbyt szybko.

Ale jak poznać odległość od satelitów? Każdy z nich emituje sygnał, który rozchodzi się z ogromną, ale jednak skończoną prędkością. Wystarczy ją znać (jest to prędkość światła) i zmierzyć opóźnienie w dotarciu sygnału. Nie jest to proste, bo każda niedokładność rzędu tysięcznej części sekundy to błąd około 300 kilometrów! Na szczęście każdy satelita ma na pokładzie zegar atomowy, którego precyzja jest dużo większa. W każdej depeszy nawigacyjnej znajduje się informacja o chwili, w której została ona wysłana. Niestety, aby pomiar opóźnienia sygnału był możliwie jak najdokładniejszy, odbiornik GPS musiałby być także wyposażony w bardzo dokładne źródło czasu, z którym mógłby porównać odbierane dane. Pewnie większość z nas zdaje sobie sprawę, że zegar atomowy nie jest tani. Cóż więc – każdy satelita dostarczył jedno równanie, ale mamy cztery niewiadome: trzy współrzędne oraz opóźnienie sygnału. Wyjściem z sytuacji jest... kolejne równanie z tymi samymi zmiennymi. Dzięki sygnałowi z czwartego satelity, rozwiązując układ czterech równań z czterema niewiadomymi, odbiornik GPS może nie tylko poznać odległość od każdego ze sputników, ale również zsynchronizować swój wewnętrzny zegar kwarcowy, podając użytkownikowi w ten sposób bardzo dokładną godzinę.

Dokładność nade wszystko

Jak już pisałem, precyzja uzyskanych współrzędnych jest uzależniona od zastosowań, w jakich będzie wykorzystywany odbiornik GPS. Odbiorniki pracujące w trybie PPS podają położenie z dokładnością rzędu

Słowniczek

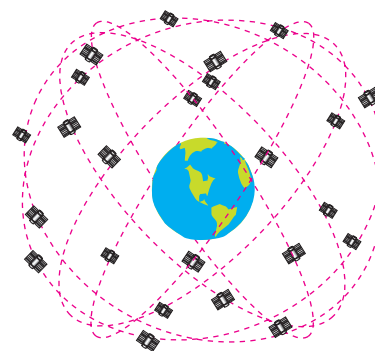
Almanach – zbiór efemeryd satelitów wykorzystywanych do obliczania ich azymutów wysokości nad horyzontem. Każdy satelita wysyła informację o położeniu i stanie technicznym wszystkich satelitów systemu GPS.

Depesza nawigacyjna – 1500-bitowa informacja nadawana przez każdego satelitę, zawierająca czas GPS, parametry poprawek zegara, efemerydy satelitów i informację o ich stanie technicznym.

Efemeryda – 17 parametrów orbity każdego satelity systemu GPS przesyłanych w depeszy nawigacyjnej.

Inicjalizacja – pierwsze wyznaczenie pozycji przez odbiornik, trwające nawet do kilkunastu minut. Po odebraniu kolejnego almanachu urządzenie nie musi odbierać pełnej informacji o satelitach.

System GPS



NAJWAŻNIEJSZĄ CZĘŚCIĄ SYSTEMU GPS SĄ SATELITY. Ich liczba (24) oraz układ gwarantują, że z dowolnego punktu na Ziemi „widać” co najmniej cztery sputniki.

GPS: know-how

centymetrów. Używając „cywilnego” modelu, nie powinniśmy się spodziewać dokładności większej niż 10-15 metrów. Jednak jeszcze dwa lata temu Departament Obrony USA ograniczał możliwości wykorzystania systemu GPS przez użytkowników cywilnych. Sygnał L1 był dodatkowo modulowany kodem SA (Selective Availability – wybiórcza dostępność), celowo wprowadzającym do obliczeń błąd i ograniczającym przez to dokładność pomiarów do około 100 metrów. Decyzją prezydenta Clintona od 6 maja 2000 roku sygnał SA jednak zniknął i od tej pory wszyscy mogą cieszyć się pełną precyzją trybu SPS w wyznaczaniu położenia.

Zanim jednak zlikwidowano kod SA, wyznaczenie swojej pozycji z większą dokładnością było także możliwe. Tak zwana metoda korekcji różnicowej (DGPS) pozwalała wyeliminować na przykład błędy zegarów czy orbit satelitów, szumów odbiornika lub odbić sygnału. Jej podstawą było wykorzystywanie do pomiarów dwóch odbiorników GPS. Jednym z nich była naziemna stacja referencyjna o znanym położeniu. Obliczała ona dla każdego satelity będącego w jej polu widzenia błędy wprowadzane przez kod SA i nadawała tę informację w eter (patrz: rysunek). Aby użytkownik mógł skorzystać z systemu DGPS, jego odbiornik musiał być wyposażony w dodatkowe urządzenie umożliwiające odebranie i dekodowanie sygnału ze stacji referencyjnej. Uzyskana poprawka była wprowadzana do obliczeń, co oczywiście zwiększało ich dokładność.

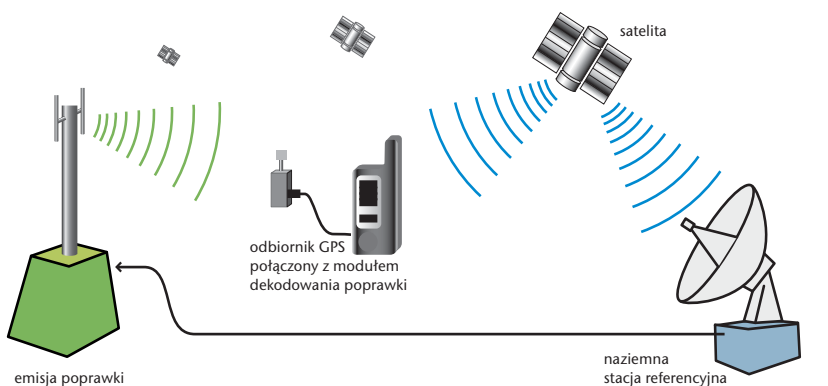
Czyżby konkurencja?

Myliłby się ten, kto by sądził, że GPS jest jedynym satelitarnym systemem wyznaczania pozycji. Konkurencyjnym (choć trudno mówić tu o współzawodnictwie) dla GPS-u jest rosyjski GLONAS.

Niestety, systemowi temu daleko jeszcze do niezawodności i pewności, jaką gwarantuje amerykańskie rozwiązanie.

Tymczasem gruszek w popiele nie zasypia Europejska Agencja Kosmiczna (European Space Agency – ESA). Działając w współpracy z Komisją Europejską oraz orga-

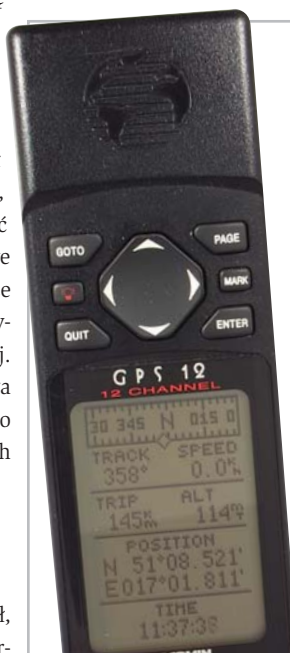
Różnicowa metoda pomiaru położenia



Aby użytkownicy cywilni nie mogli zbyt dokładnie wyznaczyć swojej pozycji, sygnał z satelity jest zakłócany specjalnym kodem. Stacja bazowa „zna” swoje położenie, co pozwala jej obliczyć odpowiednią poprawkę. Wyemitowany sygnał korekcyjny odbiera przenośny odbiornik, przez co może **DOKŁADNIEJ** OBLICZYĆ SWOJE POŁOŻENIE.

nizacją EUROCONTROL (European Organization of the Safety of Air Navigation), zajmującą się problemami bezpieczeństwa nawigacji lotniczej, powołała Europejską Geostacjonarną Usługę Nawigacyjną (European Geostationary Navigation Overlay Service – EGNOS).

Podstawą pracy tego systemu jest odbiór sygnałów z satelitów GPS oraz GLONAS przez naziemne stacje o znanej lokalizacji, rozmieszczone w różnych częściach Europy. W nich wyznaczana jest różnica pomiędzy prawdziwą pozycją stacji a obliczoną na podstawie odebranych sygnałów. Uzyskana w ten sposób poprawka wysyłana jest z powrotem w przestrzeń kosmiczną do trzech satelitów serwisu EGNOS. Te z kolei transmitują sygnał w kierunku Ziemi, gdzie może być on odbierany przez specjalne odbiorniki GPS umieszczone np. w samolotach. Serwis EGNOS pozwala na wyznaczenie pozycji z błędem mniejszym niż pięć metrów. Dodatkowym atutem jest to, że sygnał nie jest tłumiony przez przeszkody terenowe, jak ma to miejsce w przypadku DGPS. Kolejnym krokiem będzie utworzenie europejskiego systemu nawigacji satelitarnej o nazwie GALILEO, który będzie się składał z 30 satelitów umieszczonych na orbicie wokółziemskiej. Uruchomienie systemu planowane jest na 2008 rok.



Najprostsze odbiorniki GPS podają POŁOŻENIE, WYSOKOŚĆ, PRĘDKOŚĆ I AKTUALNY CZAS.

Co przyniesie przyszłość?

Wciąż rosnąca liczba użytkowników GPS wymusza na producentach wynajdywanie coraz to nowszych zastosowań systemu. Nie jest już nowością nawigacja samochodowa, pozwalająca kierowcy na sprawne poruszanie się po nieznanym terenie. Na ekranie komputera pokładowego wyświetlana jest mapa lub plan miasta z aktualną pozycją samochodu. Coraz częściej samochody wyposażane są w system zapobiegający kradzieży auta. Jeżeli zdarzy się, że taki samochód zginie, w łatwy sposób można zlokalizować jego położenie i wszcząć pościg za złodziejami. Systemem GPS zainteresowane są również firmy spedycyjne, dysponujące dużą flotą transportową. Dzięki niemu w każdej chwili można poznać położenie np. samochodu z cennym ładunkiem. Pojawiły się pierwsze prototypy telefonów komórkowych z wbudowanym modulem GPS, umożliwiającym nie tylko kontakt, ale również lokalizację osoby, do której dzwonimy. Dzięki temu możliwe będzie precyzyjne ustalenie współrzędnych osób, które czują się zagrożone lub wymagają pomocy.

INFO

TECHNOLOGIA GPS

<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>
<http://joe.mehaffey.com/>
<http://www.garmin.com/aboutGPS/>
http://www.gps.pl/index_serwis.html

PRODUCENCI ODBIORNIKÓW

<http://www.garmin.com/>
<http://www.magellangps.com/>
GRUPA DYSKUSYJNA NA TEMAT GPS
alt.pl/gps