

KONRAD NERING\*

## WYBRANE PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ SYSTEMU NAWIGACJI GPS

---

### SELECTED APPLICATION OF GPS NAVIGATION SYSTEM

#### Streszczenie

System nawigacji satelitarnej GPS staje się coraz bardziej powszechny. W artykule przybliżono pokrótce podstawowe założenia techniki GPS. Możliwości systemu nawigacji GPS sprzężone z komputerem typu palmtop są duże, głównie ze względu na możliwość wizualizacji danych o położeniu oraz dzięki stosunkowo łatwemu programowaniu tego typu urządzeń. Różnorodne zastosowania oraz stale malejąca cena to niewątpliwie zalety tego systemu.

*Słowa kluczowe: GPS, system nawigacji satelitarnej, palmtop, inżynieria środowiska*

#### Abstract

The global navigation system GPS is becoming more popular then ever. This article includes GPS operating principle. The abilities of GPS combined with handheld computer are huge, mainly to his opportunity to data visualization, and to his simplicity with programming this type of device. Various applications and low costs of this devices are advantage of this system.

*Keywords: GPS, satellite navigation system, handheld computer, environmental engineering*

---

\* Mgr inż. Konrad Nering, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Miniaturyzacja i stale malejące ceny urządzeń elektronicznych przyczyniają się do rosnącej popularności urządzeń mobilnych, takich jak np. komputery przenośne, popularnie zwane palmtopami. Łącząc możliwości komputerów podręcznych z możliwościami techniki nawigacyjnej GPS, otrzymujemy wydajny system przetwarzania danych, którymi są współrzędne geograficzne. Zestaw ten można wykorzystywać na wiele sposobów, choć w tym artykule zostaną podane tylko wybrane zastosowania w inżynierii środowiska.

Znając dokładnie zasadę działania GPS oraz systemów pokrewnych, można szybciej rozpoznawać i ewentualnie skompensować przyczynę błędów, jakie wnosi opisany system nawigacji satelitarnej.

## 2. Zasada działania GPS

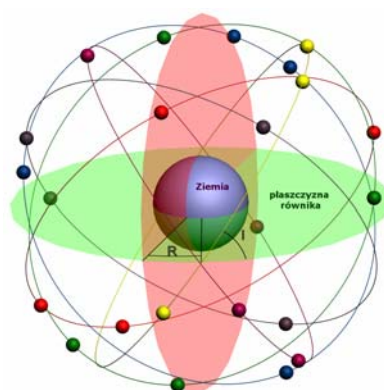
Prace nad systemem GPS (*Global Positioning System* – globalny system pozycyjny) zostały rozpoczęte na zlecenie Ministerstwa Obrony Stanów Zjednoczonych we wczesnych latach 70. XX w. Był on stosowany wyłącznie do celów militarnych aż do 1983 r., kiedy to prezydent USA Ronald Regan udostępnił GPS użytkownikom cywilnym. Nadal jednak użytkownicy wojskowi byli uprzywilejowani w stosunku do użytkowników cywilnych, których odbiorniki otrzymywały sygnał celowo zmodyfikowany. Sytuacja ta uległa zmianie 1 maja 2000 r. Wtedy zaprzestano modyfikowania sygnału otrzymywanego z satelitów GPS, co znacznie zwiększyło dokładność wskazań urządzenia GPS. Należy nadmienić, że amerykański GPS nie jest jedynym systemem nawigacji satelitarnej na świecie. W Rosji trwają prace nad systemem GLONASS, Unia Europejska przygotowuje system Galileo, natomiast Chiny tworzą swój system o nazwie Beidou.

System nawigacji satelitarnej składa się z tzw. segmentów: kosmicznego, naziemnego i użytkownika. Do segmentu kosmicznego należą satelity nadające sygnał GPS (tzw. depe-szę nawigacyjną). Segment naziemny to stacje naziemne śledzące ruch satelitów, kontrolujące ich działanie oraz nadawanie ewentualnych poprawek uwzględnianych w depe-szy nawigacyjnej. Ważniejszym zadaniem segmentu naziemnego jest koordynacja czasu (w systemie GPS wykorzystuje się czas GMT – *Greenwich Mean Time*). Czas jest niezwykle istotny przy wyznaczaniu pozycji odbiornika w dowolnym punkcie naszego globu. Segment użytkownika to wszelkiego rodzaju odbiorniki GPS, pozwalające na autonomiczne (oprócz, oczywiście, odbioru sygnału z satelitów) wyznaczenie pozycji punktu, jego prędkości, wysokości oraz dokładnego czasu dla danej strefy czasowej.

W przestrzeni kosmicznej znajdują się 24 satelity GPS. Jest to liczba teoretyczna, gdyż w rzeczywistości istnieje większa liczba satelitów – jest to spowodowane obecną modernizacją systemu GPS. Satelity te poruszają się po 6 orbitach zwanych orbitami Walkera. Orbity Walkera to jednorodna i spójna fazowo konstelacja satelitów, co oznacza, że z dowolnego punktu na Ziemi i w dowolnym czasie można obserwować nad horyzontem od 6 do 10 satelitów.

Najważniejsze parametry orbit dla GPS to: wysokość orbity nad równikiem Ziemi, która wynosi dokładnie 20 162,61 km; okres obiegu Ziemi przez satelitę wynosi 11 h 57 min 27 s (przy czym czas widoczności satelity nad horyzontem to ok. 5 h); kąt inklinacji – na ryc. 1 oznaczony jako „i” – wynosi dla każdej orbity 55°; kąty pomiędzy punktem równonocy

wiosennej (na ryc. 1 płaszczyzna pionowa) oraz punktem przecięcia orbity i płaszczyzny równika (na ryc. 1 płaszczyzna pozioma) – oznaczony na ryc. 1 jako „R” – wynosi  $17^\circ + (n \cdot 60^\circ)$ , gdzie  $n$  jest numerem orbity. Kąt „R” jest niekiedy nazywany rektascensją węzła wstępującego. Rozmieszczenie satelitów na każdej z orbit jest dobrane zgodnie z założeniami orbit Walkera. Pokrewne systemy nawigacyjne, takie jak GLONASS i Galileo również „korzystają” z orbit Walkera, różnią się jednak wysokością orbit oraz liczbą satelitów w systemie.



Ryc. 1. Konstelacja satelitów GPS w przestrzeni kosmicznej

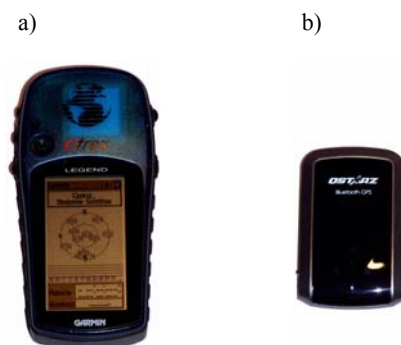
Fig. 1. Constellation of GPS satellite in space

Położenie poszczególnych satelitów w systemie GPS jest jednym z głównych parametrów (innym głównym parametrem jest czas) tzw. depeszy nawigacyjnej, przesyłanej z satelity do odbiornika GPS. Depesza nawigacyjna jest ciągiem bitów, którego dokładną postać można znaleźć w literaturze fachowej [2]. Nasuwa się jednak pytanie: jak odbiornik rozpozna, z którego satelity otrzymuje sygnał? W systemie GPS każdy satelita koduje (moduluje) transmitowane dane kodem pseudolosowym (PRN – *Pseudo Random Noise*), charakterystycznym dla danego satelity. Taki rodzaj dostępu do przesyłanych danych nazywa się CDMA (*Code Division Multiple Access*). W odbiorniku tworzone są kopie kodów PRN i porównywane z sygnałem cyfrowym modulującym depeszę nawigacyjną. W ten sposób odbiornik identyfikuje satelitę. Jednak sama modulacja kodem PRN nie umożliwia przesłania danych – potrzebna jest częstotliwość nośna, która pozwoli na przesłanie danych na odległość. W GPS istnieją dwie częstotliwości nośne: L1 (1575,42 MHz) oraz L2 (1227,60 MHz), istnieją także dwa rodzaje kodu pseudolosowego: kod C/A (*Coarse Acquisition*) i P (*Protected*). Kod P jest nadawany w obu częstotliwościach L1 i L2, ale jest dostępny tylko dla użytkowników uprzywilejowanych, pozwalając im na dokładność wyznaczenia pozycji dziesięciokrotnie większą niż w przypadku kodu C/A (kod C/A jest tworzony za pomocą generatora 1,023 MHz, natomiast kod P przy użyciu generatora 10,23 MHz). Dla nas – zwykłych użytkowników – istotny jest tylko kod C/A nadawany na częstotliwości fali nośnej L1.

Depesza nawigacyjna składa się z 1500 bitów danych (długość jednego bitu to 0,02 s, więc nadanie całej depeszy trwa 30 s). Każda depesza zawiera znacznik czasu, parametry efemeryd (orbit satelitów) oraz dane kontynuowane w kolejnych depeszach (powtarzanych

co 12,5 min, więc 25 kolejnych depech), na które składają się: model jonosfery oraz aktualny stan wszystkich satelitów w systemie.

Wysłanie danych z satelity do odbiornika „rozgranicza” segment kosmiczny od segmentu użytkownika. Wspomniany wcześniej tzw. segment naziemny, transparentny dla użytkownika, wspomaga system GPS.



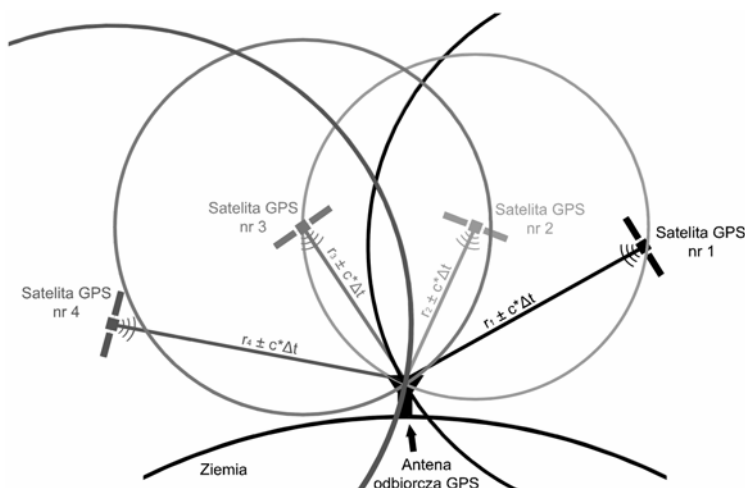
Ryc. 2. Odbiorniki GPS: a) odbiornik autonomiczny Garmin eTrex Legend, b) moduł GPS firmy Qstarz BT-Q818

Fig. 2. GPS receivers: a) Garmin eTrex Legend autonomic receiver, b) Qstarz BT-Q818 GPS module

Segment użytkownika to wszelkiego rodzaju odbiorniki sygnału GPS. Odbiornik może być autonomicznym urządzeniem (ryc. 2a) lub stanowić moduł zajmujący się wyłącznie akwizycją i prostą obróbką danych (ryc. 2b). Od razu należy zauważyć, że to odbiornik wyznacza pozycję. Dodatkowo pozycja wyznaczona przez odbiornik (z odpowiednią dokładnością) jest pozycją anteny odbierającej sygnał z satelity. Aby wyznaczyć pozycję szukaną przez użytkownika, trzeba dysponować jakimś układem odniesienia. Takim układem odniesienia w systemie GPS jest układ ECEF (*Earth Centered/Earth Fixed* – współrzędne względem środka Ziemi i względem Ziemi nieruchomy). Otrzymane współrzędne są przeliczane do układu WGS-84 (*World Geodetic System – 84*), choć istnieje możliwość przeliczenia ich do innego układu, w którym mamy mapę (papierową bądź cyfrową).

Punkt w przestrzeni, o którego położenie „pytamy” odbiornik, opisany jest przez trzy współrzędne (długość i szerokość geograficzną oraz wysokość). Aby odbiornik mógł wyznaczyć wartości tych trzech niezależnych zmiennych, potrzeba trzech niezależnych źródeł danych. Dlatego do uzyskania współrzędnych niezbędny jest nam sygnał z trzech satelitów GPS. Mierząc czas przebiegu sygnału z jednego satelity do anteny odbiornika, można określić, że antena znajduje się na powierzchni sfery o promieniu równym odległości satelita–antena odbiornika. Dokładając do tego czas przebiegu sygnału z drugiego satelity i wyznaczając drugą sferę, uzyskujemy okrąg (przecięcie się dwóch sfer), na którym znajduje się antena. Żeby pomiar był jednoznaczny, odbiornik mierzy czas uzyskania sygnału z trzeciego satelity, otrzymując tym samym przecięcie się okręgu i sfery – czyli dwa punkty. Odrzucając punkt znajdujący się nie na powierzchni Ziemi, otrzymujemy pozycję anteny odbiornika. Jest to jednak sytuacja idealna, która zakłada idealne zsynchronizowanie zegara odbiornika i zegara satelity GPS. W rzeczywistości w satelitach znajdują się dokładne zegary atomowe, natomiast w odbiornikach montuje się zwykłe zegary kwarcowe. Określa się

więc dodatkową zmienną, którą jest błąd zegara odbiornika, taki sam względem wszystkich satelitów i wynoszący  $\Delta t$ . Mając więc cztery zmienne niezależne (trzy określające położenie punktu w przestrzeni i czwartą – błąd czasu  $\Delta t$ ), potrzebny jest dodatkowy sygnał z czwartego satelity. Odbiornik wyznacza pozycję oraz błąd zegara na podstawie danych z pomiarów czterech czasów przebiegu sygnałów z satelitów do anteny odbiornika (ryc. 3).



Ryc. 3. Odbiór sygnału GPS z satelitów – wyznaczenie pozycji i błędu zegara odbiornika

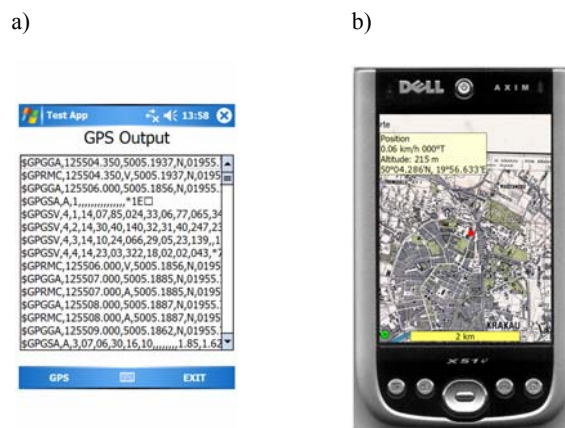
Fig. 3. Receiving GPS signal from satellites – calculating position and clock fault

Mając już określoną pozycję (jest ona obarczona pewnym błędem), możemy ją wykorzystać do różnych celów. Dlatego następnie przybliżona zostanie możliwość obróbki danych spływających z odbiornika do komputera. Na rycinie 2b pokazano moduł GPS, który odbiera dane z satelitów, wyznacza swoją pozycję (posiada wbudowaną antenę), a następnie przesyła dane dotyczące pozycji przez interfejs Bluetooth do dowolnego urządzenia zgodnego ze standardem Bluetooth. O standardzie komunikacji cyfrowej Bluetooth czytelnik może dowiedzieć się więcej z [7]. Odbiornik Qstarz BT-Q818 przesyła dane o pozycji w formacie NMEA 0183 (ustanowionym przez *National Marine Electronics Association* [6]). Dane te mogą być odbierane przez dowolne urządzenie elektroniczne wyposażone w moduł Bluetooth (komputer/laptop, palmtop, telefon komórkowy itp.). Dane w standardzie NMEA 0183 zawierają, oprócz pozycji, aktualny czas, liczbę satelitów, z których odbiornik otrzymuje sygnał oraz dokładność wyznaczenia pozycji. Taki ciąg danych można poddać dowolnej obróbce, a wykorzystać do tego można komputer przenośny (palmtop), gdyż gwarantuje on odpowiednią szybkość przetwarzania danych, jest niewielki, a jego cena jest relatywnie niska (za palmtop dobrej marki zapłacimy ok. 1500 zł).

### 3. Palmtop i GPS – zastosowania

Komputer kieszonkowy (palmtop) jest miniaturą komputera stacjonarnego. Współczesne palmtopy wydajnością dorównują komputerom stacjonarnym z początku pierwszej de-

kady XXI w. Tak samo jak biurkowe komputery – wyposażone są w procesor, pamięć operacyjną, karty pamięci, pełnią rolę dysków twardych, a na dodatek droższe wersje palmtopów posiadają nawet specjalne karty graficzne wspomagające wyświetlanie grafiki trójwymiarowej. Palmtop firmy Dell, model Axim x51v (ryc. 4b) ma prędkość taktowania procesora 624 MHz, a wielkość pamięci operacyjnej RAM to 64 MB. System operacyjny to *Windows Mobile 5.0*.



Ryc. 4. a) przykładowy zrzut ekranu programu odbierającego dane z modułu GPS w formacie NMEA 0183, b) wykorzystanie odebranej pozycji do określenia położenia na mapie za pomocą palmtopa

Fig. 4. a) exemplary screenshot of program which receives GPS data in NMEA 0183 format, b) utilizing GPS data to set up position on a map

Taka konfiguracja palmtopa pozwala bez przeszkód odbierać i analizować dane GPS. Teraz przedstawiony zostanie krótki program (stworzony przez autora niniejszego artykułu), którego zadaniem jest odbieranie informacji z modułu GPS przez łącze Bluetooth. Program został napisany w języku C# za pomocą *Microsoft Visual Studio 2005* [3] oraz *Windows Mobile 5.0 Pocket PC Software Development Kit*. Zasada działania programu jest prosta – urządzenie przechodzi w tryb monitorowania portu szeregowego Bluetooth, w momencie pojawienia się w buforze portu szeregowego danych są one wyświetlane na ekran (ryc. 4a). Jest to przykład danych odebranych z odbiornika przesyłającego dane w formacie NMEA 0183. Na rycinie 4b pokazano możliwość zintegrowania pozycji wskazanej przez odbiornik z mapą cyfrową. W tym przykładzie jest to mapa Krakowa z siatką kilometrową z 1944 r., która została zeskanowana, skalibrowana do układu WGS-84 i zapisana w specjalnym formacie GeoTIFF [5].

Większość zaawansowanych (droższych) odbiorników GPS umożliwiła przesyłanie danych pozycyjnych do komputera poprzez interfejs szeregowy RS-232. Dane szeregowo w standardzie RS-232 można w dość prosty sposób przesłać przez łącze Bluetooth. Wynika to bezpośrednio ze specyfikacji obu standardów (w obu przypadkach jest to transmisja szeregowo). Korzystając z dostępnych na rynku modułów elektronicznych, można dokonać takiej konwersji. Dzięki temu, korzystając z odbiornika GPS do zastosowań profesjonalnych, można dane pozycyjne przesyłać do palmtopa i poddać dalszej obróbce. Drogie od-



biorniki GPS pozwalają wyznaczać pozycję z dokładnością centymetrową. Dokładne informacje na temat systemów poprawy dokładności wskazań pozycji GPS można znaleźć w [2].

Odbiorniki o zwiększonej dokładności znalazły szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, nauki oraz w technice militarnej. W tym artykule przedstawione zostaną różne sposoby zastosowania odbiorników GPS w inżynierii środowiska. Przede wszystkim system GPS okazał się przydatny w geodezji i kartografii. Pozwala na dokładne wyznaczenie pozycji obiektów w przestrzeni, dzięki czemu w łatwy sposób mogą one zostać przeniesione na mapę cyfrową. Operację nanoszenia i opisu wprowadzanego do mapy cyfrowej obiektu można wykonać za pomocą komputera przenośnego, właśnie z zastosowaniem konwertera RS-232 – Bluetooth. Dzięki niewielkim wymiarom palmtopa stosowanie go w terenie nie sprawia trudności. Istnieje możliwość integracji mapy cyfrowej (de facto bazy danych) urządzenia przenośnego z systemem komputerowym w późniejszej fazie obróbki wyników pomiarów. Zastosowanie technik GPS w inżynierii wodnej [1] można także rozszerzyć o możliwość wykorzystania komputera przenośnego do akwizycji informacji o położeniu oraz jej ewentualnej obróbki w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

W budownictwie wodnym, będącym dziedziną inżynierii środowiska, także można wskazać przykłady, w których możliwości systemów nawigacyjnych znajdują zastosowanie. Przy pomiarach przemieszczeń zapór wodnych, wykorzystując stacjonarny odbiornik GPS (lub kilka odbiorników – przez co zwiększymy dokładność wyznaczenia pozycji), można co jakiś czas odbierać dane pozycyjne zapisane w pamięci odbiornika. Podobne zastosowanie można wskazać w budownictwie ogólnym przy monitorowaniu odkształceń wysokich budynków pod wpływem ruchu podłoża lub wiatru. W tych przypadkach istotne jest, aby pomiary były monitorowane w sposób ciągły. Zastosowanie palmtopa ogranicza się do możliwości odczytu danych w dowolnym czasie i ewentualnej ich obróbki w trybie postprocessingu (np. obróbki danych w laboratorium).

Geotechnika także znalazła przeznaczenie dla systemów nawigacji satelitarnej. Konkretnym przykładem zastosowania GPS w tej dziedzinie inżynierii środowiska jest monitorowanie przemieszczeń podłoża na stromych stokach w czasie budowy zapory wodnej Xiaowan wraz z elektrownią wodną na rzece Lanchang w Chinach [4]. Wykorzystywany jest tam system złożony z układu anten odbiorczych GPS oraz elektronicznego systemu monitorowania. Dane przesyłane przez sieć Internet może oglądać obsługa budowy zapory w dowolnym miejscu.

Głównym mankamentem systemu GPS pozostaje wciąż niedokładność wyznaczenia pozycji. Na dodatek niedokładność ta jest zmienna w czasie, zależy od wielu czynników i nie można jej jednoznacznie określić. Współczesne systemy nawigacyjne kompensują błędy pomiarowe, jednak wyznaczenie pozycji dla wymienionych powyżej sposobów używania wymaga stosowania tzw. metod różnicowych (DGPS – *Differential GPS*). W skrócie metoda ta polega na zastosowaniu dwóch lub więcej odbiorników GPS, przy czym co najmniej jeden musi znajdować się w miejscu o znanym położeniu. Pozostałe otrzymują z tego odbiornika poprawki pozycji, które w dużym stopniu kompensują niedokładność wyznaczenia pozycji w pozostałych odbiornikach.

#### 4. Wnioski

Zastosowania technik GPS nie zostały jeszcze do końca określone. Istnieją bowiem dziedziny nauki, które w niedalekiej przyszłości zaczną korzystać z systemów nawigacji

satelitarnej. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że system nawigacyjny może przedstawić użytkownikowi „jedynie” informacje na temat pozycji w przestrzeni oraz aktualnego czasu. Często właśnie wyznaczenie (synchronizacja) czasu oraz wyznaczenie pozycji to najtrudniejsze zadanie w pracach inżynierskich oraz naukowych. W 2010 r., kiedy to planowane jest zakończenie modernizacji systemu GPS, na pewno zostaną opracowane jego nowe zastosowania. Także uruchomienie nowych globalnych systemów nawigacji satelitarnej, takich jak: GLONASS (Rosja), Galileo (Europa) oraz Beidou (Chiny), będzie miało wpływ na ich nowe zastosowania.

#### Literatura

- [1] Bojarski A., Kopczyńska-Bożek B., Mazoń S., *Zastosowanie satelitarnego systemu lokalizacyjnego GPS w inżynierii wodnej*, III Konferencja nt. „Współczesne problemy inżynierii wodnej”, Wisła 1997.
- [2] Narkiewicz J., *GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne*, WKiŁ, Warszawa 2007.
- [3] Sharp J., *Microsoft Visual C# 2005 Krok po kroku*, APN PROMISE Sp. z o.o., Warszawa 2006.
- [4] Xiufeng H., Wengang S., Yongqi Ch., Xiaoli D., *Steep-Slope Monitoring*, GPS World, [www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com), 2005.
- [5] GeoTIFF Format Specification, Revision 1.0, 28 December 2000, <http://remotesensing.org/geotiff/spec/geotiffhome.html>.
- [6] NMEA Reference Manual, SIRF Technology Inc., Revision 1.3, January 2005.
- [7] Technologia Bluetooth, <http://www.bluetooth.com/>.