

TECHNIKA GPS W URZĄDZENIACH MOBILNYCH (I)

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia technologiczne w zakresie możliwości sterowania urządzeniami mobilnymi za pomocą systemu GPS. Od strony teoretycznej przypomniano zagadnienia komunikacji satelita-odbiornik i zasadę pozycjonowania odbiornika. Zaprezentowano także obszar zastosowania techniki GPS w maszynach roboczych, pojazdach i innych urządzeniach, w tym przykład wykorzystania GPS w maszynach melioracyjnych, opracowanych w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

Słowa kluczowe: GPS, NAVSTAR, GLONASS, EGNOS, RTK, DGPS, nawigacja satelitarna, techniki pomiarów geodezyjnych, automatyczne prowadzenie maszyn, maszyny mobilne, maszyny melioracyjne

Rys historyczny

System globalnego pozycjonowania (ang. Global Positioning System), w skrócie GPS, został opracowany po drugiej wojnie światowej w Stanach Zjednoczonych, z przeznaczeniem do celów nawigacji okrętów w marynarce wojennej. Z systemem nawigacji globalnej wiązało się także zadanie umieszczenia sztucznych satelitów na orbitach okołoziemskich, jako punktów odniesienia i głównych urządzeń pomiarowych. To przedsięwzięcie wkomponowało się w ogólny nurt podboju kosmosu i przyczyniło się do powstania wielu produktów ubocznych, które dzisiaj powszechnie są wykorzystywane w technice cywilnej.

W ostatnim dziesięcioleciu duży wpływ na rozwój nawigacji satelitarnej miało jego udostępnienie do zastosowań cywilnych. Dzięki temu pojawiły się nowe źródła finansowania rozwoju badań i opracowywania nowych technologii.

System nawigacji satelitarnej znany jest powszechnie pod nazwą GPS, ale systemów nawigacji jest kilka i mają one następujące nazwy [6, 7, 14, 18]:

- NAVSTAR (Navigational Satellite Time and Ranging) - to system powszechnie znany jako GPS. Jest to system amerykański, obecnie najnowocześniejszy. Składa się z segmentu kosmicznego, zawierającego 31 satelitów, segmentu naziemnego, w którego skład wchodzi stacje kontrolne i monitorujące oraz segmentu użytkownika, czyli odbiorników sygnału,
- GLONASS (Global Navigation Satellite System) - rosyjski odpowiednik systemu GPS, składający się z 24 satelitów oraz naziemnej stacji kontroli. System GLONASS zarządzany jest przez wojska Federacji Rosyjskiej, ale udostępnia także sygnał cywilny,
- Galileo - system europejski, budowany przez Europejską Agencję Kosmiczną, będzie się składać z 30 satelitów i oferować dokładność w granicach 50 cm dla użytkowników komercyjnych,
- GNSS (Global Navigation Satellite System) - obecnie tworzony jest ogólnosiwiatowy system nawigacji, przeznaczony do zastosowań cywilnych, m.in. do nawigacji lotniczej. System zakłada wielokrotnienie źródeł informacji pozycyjnej, zapewnienie nieprzerwanego dopływu danych korekcyjnych oraz możliwość stałego monitoringu jakości danych pozycyjnych. Pierwsza wersja systemu, GNSS-1, bazuje na systemach NAVSTAR i GLONASS. W wersji GNSS-2 dojdą satelity systemu Galileo,
- Beidou (znany także pod nazwą Compass) - chiński projekt systemu satelitarnego. Pierwszy satelita został wystrzelony w 2000 roku. Dokładność cywilna ma być rzędu 10 metrów i obejmować zasięgiem Chiny,

- IRNSS - projekt indyjski, który podobnie jak system chiński, ma obejmować Indie i tereny okoliczne.

Systemy nawigacji satelitarnej były opracowane pierwotnie dla celów wojskowych, ale obecnie ich zastosowanie jest szersze:

- militarne - naprowadzanie rakiet, pozycjonowanie, nawigacja,
- ratownictwo - określanie pozycji, lokalizacja zaginionych pojazdów oraz osób,
- transport - automatyczna identyfikacja poruszających się obiektów, sterowanie ruchem i ostrzeganie o potencjalnych zagrożeniach, nawigacja samochodowa, monitoring ruchu, naprowadzania samolotów, kierowanie statkami morskimi,
- nawigacja osobista - pomoc w identyfikacji nieznanego terenu, nadzór nad pracownikami podczas pracy, lokalizacja w terenie, geotagowanie (geotagging),
- finanse, bankowość - globalny i godny zaufania system pomiaru czasu,
- geodezja - do określania położenia z dokładnością sięgającą kilku milimetrów dzięki zastosowaniu pomiaru różnicowego,
- badania naukowe.

Źródła błędów w pomiarach satelitarnych i metody ich eliminacji

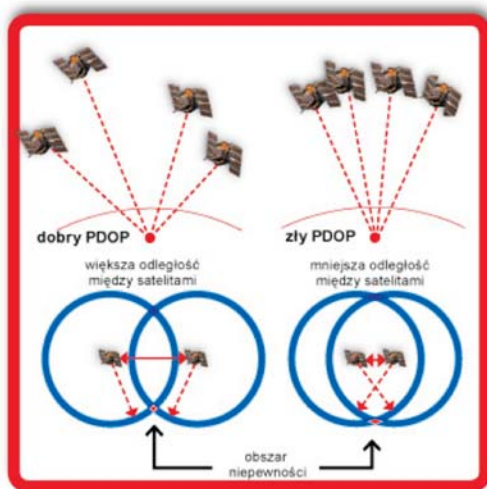
Jest wiele czynników mających wpływ na dokładność wyznaczania pozycji w pomiarach satelitarnych. Przede wszystkim sygnał satelitarny został opracowany dla celów wojskowych i w takich zastosowaniach, z wykorzystaniem wysoko precyzyjnych i zarazem bardzo drogich odbiorników wojskowych, możliwa jest do uzyskania dokładność pozycjonowania rzędu 5 cm. Ta dokładność jest uzyskiwana bez stosowania sygnałów korekcyjnych, a dzieje się to dzięki dostępowi do odkodowanego sygnału pseudolosowego P-kod. Odbiorniki cywilne nie mają jednak takich możliwości, dlatego opracowano różne metody korekcji sygnałów, pozwalające uzyskać duże dokładności bez konieczności dekodowania sygnału satelitarnego.

Źródła błędów w pomiarach GPS wyszczególniono w tab.1.

Opóźnienia jonosferyczne i troposferyczne redukuje się w odbiornikach dwukanałowych, dzięki pomiarom jednocześnie sygnału L1 i L2 (sygnały te mają różne częstotliwości o różnej czułości na zakłócenia atmosferyczne). Błąd efemeryd jest eliminowany poprzez odbiór poprawek nadawanych z satelity. Poprawki do efemeryd obliczane są przez stacje naziemne, śledzące ruch satelitów. Błąd zegara i błędy obliczeń odbiornika zależą od jego jakości i ceny.

Tab. 1. Źródła błędów w pomiarach GPS [1, 12]
 Table 1. Source of errors in GPS measurement [1, 12]

Źródło błędu	Wpływ błędu na dokładność pomiaru [m]
Naturalne	
Opóźnienie jonosferyczne	4.0
Opóźnienie troposferyczne	0.7
Zasłanianie satelity przez przeszkody terenowe	błąd niemiernowany, im więcej jest satelitów, tym lepszy pomiar (wymagane min. 4)
Sztuczne	
Szyfrowanie sygnału	100-150
Częściowe odszyfrowanie	10-15
Błąd efemeryd	2.1
Błąd zegara	2.1
Odbicia (wielotorowości)	1.4
Błąd obliczeniowy odbiornika	0.5
Błędy wzajemnego ułożenia satelitów PDOP	Wartości niemiernowane, obliczane z wzorów (rys. 1)



Rys. 1. Błędy wzajemnego ułożenia satelitów PDOP - zasada wyznaczania [12]

Fig. 1. PDOP - errors of common satellites location - the way of determination [12]

Także do odbiornika należy eliminacja błędów wielotorowości sygnału. Błąd ten polega na odbieraniu przez odbiornik sygnału odbitego od przeszkody. Taki sygnał jest nieco słabszy od sygnału z satelity i aby go wyeliminować, należy mierzyć także moc sygnału. Do tego potrzebny jest odbiornik o dużej czułości i rozdzielczości. Błąd wielotorowości ma największe znaczenie podczas pomiarów w pobliżu dużych obiektów, takich jak drzewa i budynki. Czym bliżej jest odbiornik budynku, tym trudniej odróżnić sygnał właściwy od sygnału odbitego. Przykładowo, odbiorniki geodezyjne gorszej jakości mają trudności by uzyskać dokładność centymetrową w odległości mniejszej niż 2-3 m od ściany budynku. W takich przypadkach stosuje się metody pośrednie pomiaru, wspomaganie np. przez dalmierz laserowy.

Największą jednak trudność sprawiają pomiary w terenie, gdzie niebo nad odbiornikiem jest zasłonięte przez drzewa i budynki. Z doświadczeń wynika, że odbiorniki do nawigacji samochodowej mają trudności w uzyskaniu sygnału w lasach, zwłaszcza gęstych i przy złej pogodzie (np. podczas mgły lub opadów), ponieważ „nie widzą” dostatecznej liczby satelitów. Ciekawostką jest także niemożność korzystania z odbiornika satelitarnego w samochodzie z podgrzewaną przednią szybą, która ekranuje sygnał. W tym przypadku należy podłączyć zewnętrzną antenę GPS.

Systemy geodezyjne, które korzystają z satelitów amerykańskich i rosyjskich, mają większą zdolność uzyskiwania wymaganej liczby satelitów, także w środku lasu, pod drzewami, chociaż jest to raczej rezultat sporadyczny, a nie reguła. Uzyskanie dokładności 2-3 cm, jest w takich warunkach możliwe, ale trafienie miejsca gdzie pojawi się dobry sygnał już zależy od szczęścia i pory dnia. Wynika to z niewidoczności satelitów i błędów wielotorowości sygnału, który w lesie odbija się od każdego drzewa. Wprawdzie można sterować w odbiorniku poziomem mocy sygnału i obniżyć go, ale można w ten sposób dopuścić sygnały odbite i pomimo uzyskania tzw. „fix” (czyli najwyższa dokładność pozycji) zmierzona pozycja niewiele będzie miała wspólnego z prawdą. Tutaj niezwykle ważne jest doświadczenie i wiedza geodety, który potrafi za pomocą pomiarów kontrolnych sprawdzić jakość uzyskanych wyników. Zakładając brak dobrego sygnału satelitarnego w lesie, dokładność pomiarów nawet najlepszym sprzętem geodezyjnym może wynieść 2-4 m.

Istotną zaletą jest rozróżnienie dokładności pomiarowej w kierunku poziomym i pionowym. Dokładności te zależą w dużej mierze od aktualnej lokalizacji satelity nad odbiornikiem, ale generalnie przyjmuje się, że dokładność wyznaczenia wysokości jest mniejsza od wyznaczenia pozycji poziomej (od dwóch do kilka razy gorsza).

Metody korekcji sygnałów

Jedną z podstawowych metod korekcji sygnału są pomiary różnicowe DGPS (*Differential GPS*). Pomiar różnicowy polega na obliczaniu przez odbiornik swojej pozycji z uwzględnieniem poprawek pochodzących ze stacji referencyjnych (korekcyjnych, bazowych). Poprawki odbierane są w technologii RTK (*Real Time Kinematic*), która pozwala na przesył tych poprawek w czasie rzeczywistym, poprzez modem radiowy lub modem GSM.

Stacja bazowa ma niezmienną pozycję, dlatego jest ona obliczona z wielu pomiarów i wyznaczona statystycznie. Inicjacja pracy stacji polega m.in. na 1-2 min. pomiarze własnej pozycji, w celu jej uśrednienia i uzyskania dużej dokładności. Tak przygotowana stacja zostaje zsynchronizowana z odbiornikiem na pojeździe (np. ciągniku rolniczym), aby oba odbiorniki wykonywały ten sam pomiar w tym samym momencie. Stacja oblicza poprawkę (przesunięcie różnicowe pozycji) aktualnie odbieranego sygnału z poszczególnych satelitów w stosunku do własnej, stałej pozycji i przekazuje ją do odbiornika w pojeździe. Odbiornik odejmuje sygnał ze stacji bazowej od sygnału obliczonego samodzielnie, dzięki czemu wzrasta jego dokładność pozycjonowania. Tą metodą można uzyskiwać dokładności 2 cm, dla odbiorników najdokładniejszych i 10-20 cm dla odbiorników tańszych i mniej dokładnych (rys. 2).

Stacje bazowe ustawia się na polu przed rozpoczęciem pracy, lub montuje na dachu pobliskich budynków. Zasięg działania stacji wynosi kilka kilometrów. W ten sposób może być realizowana obsługa całego gospodarstwa rolniczego. W pracach budowlanych, przy budowie dróg, konieczne jest przemieszczanie stacji referencyjnej na nowe miejsce pracy. Stacje, ze względu na wysoki koszt zakupu (20 000 do 40 000 zł) muszą być też chronione przed kradzieżami.

Komunikacja stacji bazowej z pojazdem odbywa się za pośrednictwem sygnału radiowego. Sygnał o małej mocy i zasięgu do 2-3 km może być emitowany bezpłatnie. Stacje pracujące z większym zasięgiem (kilkadziesiąt kilometrów) wymagają już koncesji radiowej i pociąga to za sobą dodatkowe koszty. Objęcie zasięgiem stacji bazowej gospodarstw rozległych na dużych obszarach jest więc utrudnione. Jeszcze większy problem pojawia się w gospodarstwach wielko-

obszarowych, kiedy jedno pole rozciąga się na długości kilku kilometrów lub jest zlokalizowane na terenie pagórkowatym. Aby stacja bazowa działała, musi być ustawiona w miejscu widocznym dla pojazdu i w takim terenie pomiar DGPS jest niemożliwy. Dlatego metoda korekcji za pomocą przenośnych stacji nie zawsze jest wygodna w użyciu.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Ciągnik rolniczy, wyposażony w odbiornik GPS i naziemną stację RTK

Fig. 2. Tractor equipped with GPS receiver and overground RTK station

W Polsce w 2007 roku zrealizowano projekt dofinansowany ze środków Unii Europejskiej, dzięki któremu zbudowano sieć naziemnych stacji korekcyjnych o nazwie ASG-EUPOS (rys. 3). System ASG-EUPOS jest rozwiązaniem unikatowym w skali europejskiej. Koszt abonamentowy dostępu do sygnału korekcyjnego nie jest wysoki, zbliżony do wysokości rachunków GSM. Do komunikacji potrzebny jest też sygnał GSM, więc płaci się dodatkowo jeszcze za komunikację GPRS w sieci GSM, pomiędzy odbiornikiem a stacją korekcyjną. Zatem koszt dostępu do poprawek GPS jest porównywalny z użytkowaniem telefonu komórkowego.

System ASG-EUPOS oferuje kilka usług korekcyjnych [10]:

a) serwisy czasu rzeczywistego, wymagające odbiorników wyposażonych w moduł komunikacji GSM lub Internet:

- NAWGEO - korekcja kinematyczna RTK, o dokładności 3 cm w płaszczyźnie poziomej i 5 cm w kierunku pionowym, serwowana zarówno dla sygnału L1 jak i L2,
- KODGIS - korekcja kinematyczna DGPS, o dokładności do 25 cm, tylko sygnał L1,
- NAWGIS - korekcja kinematyczna DGPS, o dokładności do 3 m, tylko sygnał L1,

b) serwisy post-processingu, czyli obróbki danych pomiarowych po wykonaniu pomiaru, przesyłanych przez usługę Internetową (dostępne dla sygnału L1):

- POZGEO - korekcja statyczna,
- POZGEO D - korekcja statyczna i kinematyczna.

Obie korekcje POZGEO i POZGEO D pozwalają na pomiar z dokładnością od 1 do 10 cm. Ale dokładność zależy od sposobu rejestracji danych pomiarowych. Dokładniejsze wyniki uzyskuje się, gdy odbiornik rejestruje kilka pomiarów będąc unieruchomionym w tym czasie.

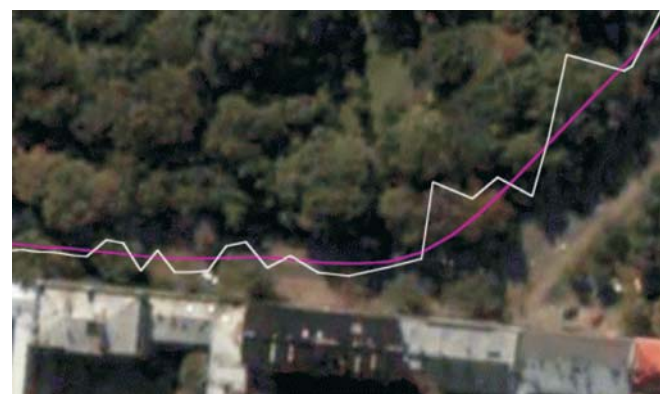
Omówione sposoby korekcji sygnału mają zastosowanie dla małych prędkości ruchu, np. w geodezji, prowadzenie maszyn roboczych i rolniczych itp. Ponieważ serwowanie pozycji przez odbiornik, związane także z przesyłem poprawek, jest powolne i wynosi maksymalnie 5 Hz, to w przypadku dużych prędkości jazdy samochodem uzyskanie wysokich dokładności byłoby tą drogą niemożliwe. Dlatego w takich przypadkach mają zastosowanie odbiorniki GPS wyposażone



Rys. 3. Naziemna sieć stacji korekcyjnych w systemie ASG-EUPOS [10]

Fig. 3. Overground correction stations network in ASG-EUPOS system [10]

w jednostkę inercyjną IMU (żyroskop). Żyroskop doskonale nadaje się do pomiarów, gdzie występują duże przyspieszenia, ale nie sprawdzi się w pomiarach stacjonarnych i quasi-stacjonarnych. Z doświadczeń wynika, że dryft (uchyb) pozycji wyznaczonej przez IMU może osiągnąć już kilkanaście centymetrów po ok. 10 sekundach postoju pojazdu. Ale podczas postoju „dobry w pomiarach” jest z kolei odbiornik DGPS z dostępem do sygnału RTK, dlatego oba systemy mogą się dobrze uzupełniać. Na rys. 4 pokazano, jak skutecznie jednostka IMU koryguje tor ruchu pojazdu w stosunku do samego sygnału GPS. Takie rozwiązania sprawdzają się zwłaszcza w terenie zadrzewionym, zabudowanym, a nawet w długich tunelach, gdzie sygnał GPS zanika (pod warunkiem, że pojazd się nie zatrzyma).



Rys. 4. Porównanie trajektorii ruchu pojazdu, zarejestrowanej przez odbiornik GPS z wyłączoną jednostką inercyjną (linia biała) i z włączoną (linia fioletowa) [13]

Fig. 4. Comparison of vehicle movement trajectory recorded by GPS receiver without activated inert unit (white line) and with activated inert unit (violet line) [13]

Typowy odbiornik GPS, kiedy rozpoczyna pracę, nie potrafi określić kierunku jazdy (kierunku ustawienia pojazdu względem mapy, lub względem kierunków świata). Można to uzyskać dopiero po rozpoczęciu jazdy, kiedy odbiornik oblicza wektor kierunku ruchu z poszczególnych pozycji pomia-

rowych. Bardzo często jest to odcinek kilkudziesięciu metrów, a nawet 100 m. Jest to niezwykle istotna cecha z punktu widzenia sterowania maszyn roboczych i rolniczych, gdzie nie można sobie pozwolić na dodatkowe przejazdy przed rozpoczęciem pracy, tylko po to, aby przygotować odbiornik do pracy i śledzenia mapy. Rozwiązania problemu są dwa: elektroniczny kompas i dwie anteny GPS.

Pierwsze rozwiązanie jest stosowane w niektórych odbiornikach geodezyjnych i ma na celu ułatwić pracę geodety, aby mapa wyświetlana na ekranie odbiornika samoczynnie ustawiała się do kierunku północnego.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Dwie anteny GPS, zainstalowane na dachu ciągnika rolniczego dla celów orientacji wektora kierunku jazdy
Fig. 5. Double GPS antenna installed on tractor roof for giving the orientation vector of movement direction

Drugie rozwiązanie znajduje zastosowanie w maszynach roboczych i rolniczych. Dwie anteny (rys. 5) dają odbiornikowi jednoczesny pomiar dwóch punktów, przy czym antena pierwsza obsługuje nawigację, a druga orientuje kierunek we-

która na mapie, czyli kierunek ustawienia pojazdu względem mapy.

Część II artykułu ukaże się w następnym zeszycie „Techniki Rolniczej Ogrodniczej Leśnej” i będzie zawierała przykłady zastosowań systemów GPS w urządzeniach mobilnych.

Bibliografia

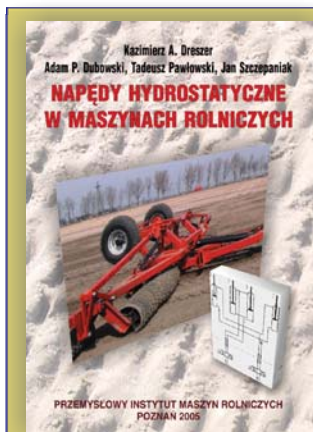
- [1] Kamprowski R.: Analiza dokładności i możliwości zastosowania odbiornika GPS dla potrzeb rolnictwa. Praca magisterska. Uniwersytet Rolniczy w Poznaniu, Wydział Rolniczy, Instytut Inżynierii Rolniczej, 2003.
- [2] Ratajczak P., Spadło M., Vicente N., Bąkiewicz P., Szulc T.: Precyzyjny siewnik (sterowany systemem GPS) do wysiewu różnych gatunków nasion w postaci wzorów dla zastosowań w zieleni miejskiej. Rozpoznanie zapotrzebowania, opracowanie koncepcji rozwiązań i testy z wykorzystaniem modelu doświadczalnego. Opracowanie niepublikowane, PIMR-7727, 2010.
- [3] Rutkowski J., Vicente N., Spadło M., Ratajczak P.: Algorytm sterowania siewnikiem precyzyjnym. XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa: Zastosowanie technologii informacyjnych w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza, 2011.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic.
- [6] <http://gps.wroclaw.pl>.
- [7] <http://pl.wikipedia.org>.
- [8] <http://www.agrisystem.pl>.
- [9] <http://www.amazone.de>.
- [10] <http://www.asgeupos.pl/>.
- [11] <http://www.furuno.com/>.
- [12] <http://www.geoforum.pl>.
- [13] <http://www.gps.pl>.
- [14] <http://www.gps.rytko.com>.
- [15] <http://www.maps.google.pl>.
- [16] <http://www.navroad.com>.
- [17] http://www.poettinger.at/landtechnik/download/lionsem_pl.pdf.
- [18] <http://www.technologiadgps.org.pl>.
- [19] <http://www.trmble.com>.

GPS TECHNIQUE IN MOBILE DEVICES (I)

Summary

The selected technical issues in the range of mobile devices control with the use of GPS system were presented in the paper. From the theoretical side there were also presented issues of communication between satellite and receiver as well as the principle of receiver positioning. The examples of the use of GPS technique in many areas were presented too, such as: control of working machines, vehicles, cars etc. Additionally the new machines (GPS seeder, melioration machine) designed in Industrial Institute of Agricultural Engineering were presented too.

Key words: GPS, NAVSTAR, GLONASS, EGNOS, RTK, DGPS technique, satellite navigation, geodetic survey, autonomous machine steering, mobile machines, melioration machines



NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych

60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31

tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;