

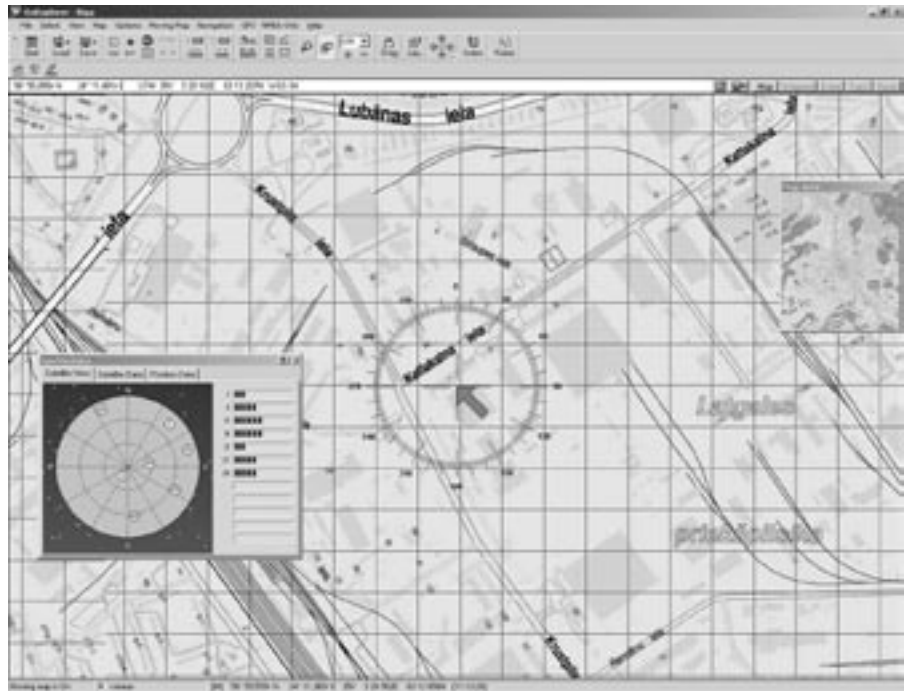
System nawigacji satelitarnej GPS, część 7

Pozycja, prędkość i czas

Z dotychczasowych rozważań wynika, że odbiornik GPS ustala położenie użytkownika (x, y, z) w prostokątnym układzie współrzędnych ECEF WGS-84.

Takich współrzędnych nie znajdziemy jednak na żadnej mapie, a więc posługiwanie się nimi jest mało praktyczne.

Bardziej użyteczne jest przeliczenie uzyskanego położenia do postaci współrzędnych elipsoidalnych (φ, λ, h) , które stanowią odpowiednio szerokość geodezyjną, długość geodezyjną i wysokość nad elipsoidą odniesienia. Kształt i rozmiary ziemskiej elipsoidy odniesienia są określone w definicji układu WGS-84. Jest to teoretyczna powierzchnia wybrana w taki sposób, aby możliwie dokładnie odzwierciedlała nieregularny kształt naszej planety. Długość i szerokość geodezyjna punktu o współrzędnych prostokątnych (x, y, z) jednoznacznie określają położenie rzutu prostokątnego tego punktu na powierzchni elipsoidy odniesienia. Wysokość jest natomiast odległością punktu (x, y, z) od tej elipsoidy. Zależności służące do przeliczenia współrzędnych prostokątnych na elipsoidalne są na pierwszy rzut oka dość zawiłe, ale nie są kłopotliwe w praktycznym użyciu. Relację pomiędzy współrzędnymi prostokąt-



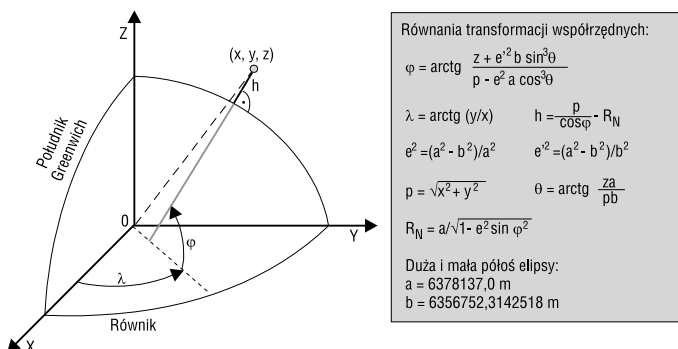
nymi, a elipsoidalnymi wyjaśniono na **rys. 29**, gdzie przedstawiono również jeden z możliwych sposobów transformacji współrzędnych. Warto zauważyć, że ze względu na spłaszczenie Ziemi, kierunek prostej biegnącej z punktu (x, y, z) do jej środka na ogół nie pokrywa się z kierunkiem przechodzącej przez ten punkt prostej prostopadłej do elipsoidy.

Warto też zwrócić uwagę, że podawana przez odbiornik GPS wysokość nad ziemską elipsoidą odniesienia nie jest równa ani wysokości nad powierzchnią Ziemi, ani wysokości nad poziomem morza H i nad powierzchnią Ziemi h_z , wyjaśniono na **rys. 30**.

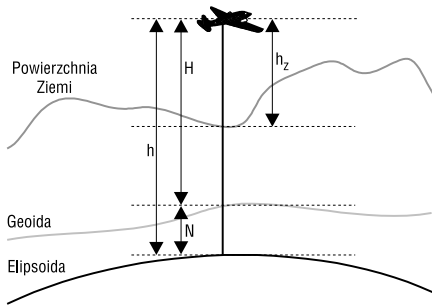
Prędkość i kurs

Oprócz położenia i czasu, system GPS umożliwia również wyznaczenie prędkości i kierunku ruchu użytkownika, czyli tzw. kursu drogi. Teoretycznie, wielkości te można by wyznaczać na podstawie dwóch kolejnych wartości położenia, otrzymanych podczas przetwarzania pseudoodległości, jednak znacznie dokładniejsze i szybciej reagujące na zmiany ruchu użytkownika wyniki uzyskuje się dzięki wykorzystaniu efektu Dopplera. Ze względu na szybki ruch satelitów GPS nawet odbiornik stacjonarny odbiera sygnały o częstotliwości zauważalnie różniącej się od nominalnej.

Dopplerowskie przesunięcie częstotliwości spowodowane ruchem satelity jest zależne od wzajemnego położenia satelity względem odbiornika i może się zmieniać w zakresie ± 5 kHz.



Rys. 29. Relacja współrzędnych prostokątnych i elipsoidalnych



Rys. 30. Relacja pomiędzy różnymi rodzajami wysokości

Największe wartości tego przesunięcia częstotliwości występują, kiedy satelita znajduje się tuż nad horyzontem, ponieważ wtedy najszybciej zbliża się lub oddala od odbiornika GPS. Zerowe przesunięcie występuje natomiast, gdy satelita znajduje się w najwyższym położeniu nad horyzontem względem odbiornika. Na rys. 31 przedstawiono sposób, w jaki zmienia się częstotliwość odbieranego sygnału wraz ze zmianą położenia satelity GPS.

Dopplerowskie przesunięcie częstotliwości może być jeszcze większe, jeśli oprócz ruchu satelity uwzględnimy także ruch użytkownika. W przypadku pieszych, pojazdów lądowych i statków, prędkości są na tyle małe, że ich wpływ na zmianę częstotliwości może być pominięty, jednak ruch szybkich samolotów odrzutowych może wprowadzać dodatkowe dopplerowskie przesunięcie częstotliwości sięgające 5 kHz, a więc porównywalne z tym, które jest spowodowane ruchem satelity GPS.

Odbiorniki GPS śledzące fazę kodu pseudolosowego C/A sygnałów

odbieranych od satelitów, śledzą również fazę fali nośnej tych sygnałów za pomocą pętli śledzenia fazy PLL (ang. *Phase-Locked Loop*) lub częstotliwość fali nośnej za pomocą pętli śledzenie częstotliwości FLL (ang. *Frequency-Locked Loop*). W skład pętli PLL lub FLL wchodzi generator przestrajany numerycznie NCO (ang. *Numerically Controlled Oscillator*). Odbiorniki GPS obliczają wartość przesunięcia dopplerowskiego poprzez odczyt częstotliwości chwilowej ustawionej w NCO lub metodą zliczania okresów sygnału wyjściowego NCO w stosunkowo krótkich odcinkach czasu (zwykle poniżej 1 s). Na podstawie tych obserwacji w odbiorniku GPS są wyznaczane wielkości zwane zmianami pseudoodległości. Zmiany pseudoodległości są wyrażone w m/s i stanowią prędkości względne ruchu odbiornika i odpowiedniego satelity, wzdłuż łączącej je prostej. Odniesieniem w tych pomiarach jest oczywiście zegar odbiornika GPS, który jak pamiętamy charakteryzuje się niezbyt wysoką dokładnością. Efekt tej ograniczonej dokładności był już widoczny w pomiarach kodowych odległości satelita-odbiornik, które jak się okazało nie są odległościami tylko pseudo-odległościami.

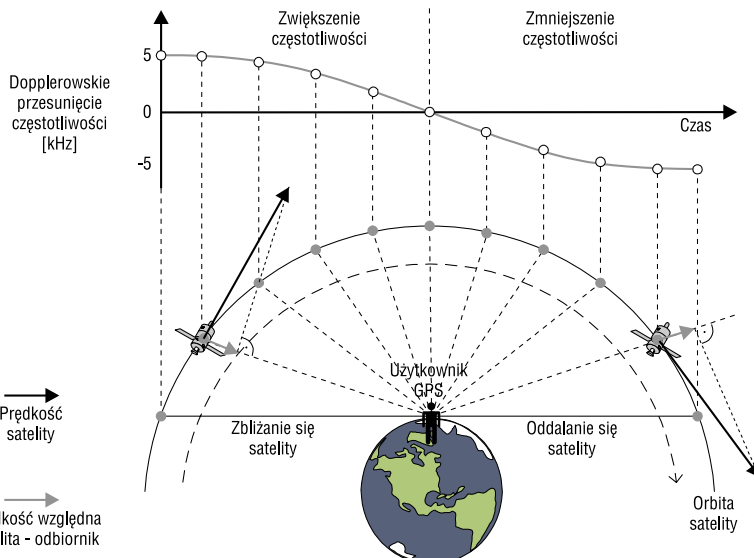
Generator kwarcowy zegara odbiornika GPS charakteryzuje się błędem częstotliwości, którego wartość jest zwykle rzędu kilku lub więcej kHz, a więc może nawet przekraczać odchyłkę częstotliwości odbieranego sygnału względem częstotliwości nominalnej spowodowaną efektem Dopplera. Błąd częstotliwości zegara

bezpośrednio przekłada się na błąd pomiaru dopplerowskiego przesunięcia częstotliwości, a tym samym na błąd obliczanych w odbiorniku zmian pseudoodległości. Wyrażony w jednostkach prędkości, czyli w m/s błąd częstotliwości zegara nosi nazwę dryftu zegara i jest często oznaczany symbolem *d*. Podobnie jak w przypadku pseudoodległości, błąd ten jest na szczęście identyczny we wszystkich równocześnie wykonanych pomiarach zmian pseudoodległości, dzięki czemu może być on łatwo usunięty poprzez wykonanie przynajmniej jednego nadmiarowego pomiaru.

Równanie przedstawiające zależność zmian pseudoodległości od położenia i prędkości odbiornika oraz satelity GPS, a także od dryftu zegara odbiornika GPS, można zapisać korzystając z zasad geometrii. Przykładowe równanie, zapisane dla pomiaru pochodzącego od pierwszego satelity, przedstawia się następująco:

$$DR_1 = \frac{(x - X_1)(v_x - V_{x1}) + (y - Y_1)(v_y - V_{y1}) + (z - Z_1)(v_z - V_{z1})}{\sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2 + (Z_1 - z)^2}} + d$$

Wielkościami znanymi w tej zależności są mierzona zmiana pseudoodległości DR_1 , obliczane na podstawie depeszy nawigacyjnej położenie satelity (X_1, Y_1, Z_1) i jego prędkość (V_{x1}, V_{y1}, V_{z1}) , a także położenie użytkownika (x, y, z) , uzyskane w wyniku rozwiązania równań pseudoodległości. W równaniu występują również cztery niewiadome, którymi są poszukiwana prędkość użytkownika w prostokątnym układzie współrzędnych (v_x, v_y, v_z) oraz dryft zegara d . Podobnie jak w przypadku wyznaczania położenia użytkownika, przy wyznaczaniu jego prędkości konieczne jest odbieranie sygnałów od przynajmniej czterech satelitów. Wówczas możemy sformułować cztery równania zmian pseudoodległości i rozwiązać układ tych równań, wyznaczając z niego cztery niewiadome (trzy składowe prędkości i dryft zegara odbiornika GPS). Prędkość użytkownika może być obliczana w odbiorniku GPS jako część rozwiązania nawigacyjnego wyznaczanego przez filtr Kalmana, lub poprzez punktowe rozwiązanie równań zmian pseudoodległości w sposób analogiczny do przedstawionego



Rys. 31. Ilustracja wpływu położenia satelity na dopplerowskie przesunięcie częstotliwości sygnału odbieranego przez nieruchomy odbiornik GPS

wcześniej sposobu wyznaczania położenia na podstawie równań pseudoodległości, tj. metodą iteracyjną, z wykorzystaniem linearyzacji.

Podobnie jak to ma miejsce w przypadku położenia, prędkość użytkownika (v_x, v_y, v_z) jest wyznaczana przez odbiornik GPS w prostokątnym układzie współrzędnych ECEF WGS-84. Z punktu widzenia użytkownika bardziej przydatne byłyby jednak składowe prędkości wyrażone w tzw. lokalnym horyzontalnym układzie współrzędnych NED. Początek tego układu znajduje się w miejscu położenia użytkownika (x, y, z) i przemieszcza się wraz z nim, a jego osie są skierowane na północ (N), wschód (E) i pionowo w dół (D). Przeliczenie składowych prędkości wyrażonych w układzie ECEF XYZ do układu NED wymaga dokonania obrotu wektora prędkości zgodnie z zależnościami, przedstawionymi na rys. 31.

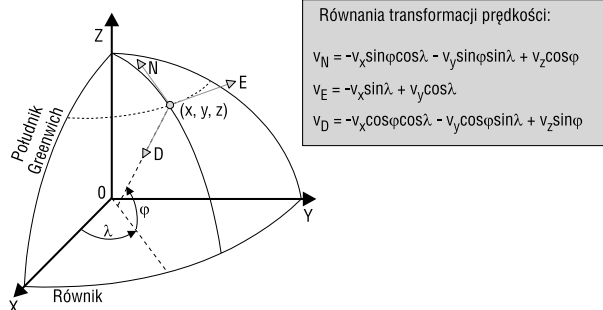
Większość użytkowników nawigacyjnych odbiorników GPS potrzebuje jedynie informacji o prędkości poziomej (horyzontalnej) oraz kursie

drogi i te właśnie dane dotyczące prędkości są zwykle podawane na wyjściu typowo skonfigurowanego odbiornika GPS, przekazującego wiadomości w formacie tekstowym, zgodnym ze standardem NMEA-0183. Prędkość horyzontalna i kurs drogi są obliczane zgodnie z następującymi zależnościami:

$$\text{Prędkość} = \sqrt{v_N^2 + v_E^2}$$

$$\text{Kurs} = \arctg \frac{v_E}{v_N}$$

W dotychczasowej części kursu, została omówiona struktura i kolejne przekształcenia sygnałów GPS, prowadzące do wydzielenia z nich informacji istotnej z punktu widzenia użytkownika. Mimo wielu uproszczeń w opisie, wyłania się z niego obraz systemu bardzo skomplikowanego, w którym konieczne było wykorzy-



Rys. 32. Układy współrzędnych ECEF i NED

Równania transformacji prędkości:

$$v_N = -v_x \sin \phi \cos \lambda - v_y \sin \phi \sin \lambda + v_z \cos \phi$$

$$v_E = -v_x \sin \lambda + v_y \cos \lambda$$

$$v_D = -v_x \cos \phi \cos \lambda - v_y \cos \phi \sin \lambda + v_z \sin \phi$$

stanie zaawansowanej wiedzy z wielu dziedzin i najnowszych osiągnięć technologicznych. Z punktu widzenia użytkownika, cała ta komplikacja jest jednak mało widoczna, ponieważ korzysta on z prostego w obsłudze odbiornika, który w postaci prostych komunikatów podaje proste w interpretacji wielkości wyjściowe, tj. położenie, prędkość i czas. W jednym z kolejnych odcinku cyklu zostanie bliżej omówiony format i zawartość danych wyjściowych typowych nawigacyjnych odbiorników GPS.

Piotr Kaniewski
pkaniewski@wat.edu.pl



DELPHI GRUNDIG

Wieleletnie doskonalenie uczyniło nas najbardziej wszechstronnym producentem części i systemów samochodowych. Zatrudniamy prawie 200 tysięcy pracowników w prawie 200 zakładach produkcyjnych na całym świecie. Nowoczesna technologia i jakość stały się podstawą szerokiej gamy rozwiązań technicznych. W Polsce działamy już od 1995 roku. Jesteśmy laureatem nagrody dla Najlepszego Inwestora Zagranicznego, a w 2003 roku zostaliśmy uhonorowani godłem Inwestor w Kapitał Ludzki.

Do pracy w **Centrum Technicznym w Krakowie** poszukujemy osób na stanowiska:

INŻYNIER PROGRAMISTA (ref. SE)

Zakres obowiązków:

Tworzenie oprogramowania dla samochodowych systemów sterowania, multimedialnych lub nawigacji satelitarnej.

Wymagania:

- Wykształcenie wyższe (informatyka, elektronika, telekomunikacja lub pokrewne)
- Znajomość języka C lub C++

Dodatkowym atutem będzie znajomość:

- Systemów czasu rzeczywistego i systemów wbudowanych
- Technologii obiektowych oraz języka UML
- Inżynierii oprogramowania
- Cyfrowego przetwarzania sygnałów
- Systemów multimedialnych
- Pakietu Matlab

Wymagania ogólne: dobra znajomość języka angielskiego, mobilność (częste podróże służbowe), umiejętność pracy w zespole

Zaakceptowanym kandydatom oferujemy: interesującą pracę w międzynarodowym zespole, w dynamicznie rozwijającej się firmie * kontakt z najnowszymi technologiami * współpracę z największymi producentami samochodów * możliwość rozwoju i doskonalenia zawodowego * konkurencyjne wynagrodzenie i atrakcyjny pakiet socjalny * przyjazną atmosferę i bardzo dobre warunki pracy

Osoby zainteresowane prosimy o przesyłanie CV i listu motywacyjnego w języku polskim i angielskim na adres:

Magda Szyndera, Delphi Poland S.A. – Centrum Techniczne, ul. Podgórk Tynieckie 2, 30-399 Kraków, e-mail: magda.szyndera@delphi.com

Prosimy o podanie w liście motywacyjnym symbolu referencyjnego.

Przesyłamy potwierdzenie otrzymania aplikacji. W przypadku braku potwierdzenia, prosimy przesłać dokumenty pocztą tradycyjną.

Uprzejmie informujemy, że kontaktujemy się tylko z wybranymi kandydatami. Na aplikacji prosimy o zawarcie następującej klauzuli: Wyrażam zgodę na przetwarzanie moich danych osobowych zawartych w mojej ofercie pracy dla potrzeb niezbędnych do realizacji procesu rekrutacji (zgodnie z ustawą o ochronie danych osobowych z dnia 29.08.97 Dz. U. 133 Poz. 883)