

System nawigacji satelitarnej GPS, część 2

Budowa systemu i struktura sygnałów

Osoby, które choćby przez chwilę korzystały z typowego nawigacyjnego odbiornika GPS wiedzą, że posługiwanie się nim jest bardzo proste. Obecnie większość odbiorników posiada wyświetlacze graficzne, na których przedstawiana jest mapa okolicy z zaznaczonym położeniem użytkownika. W tańszych modelach współrzędne położenia są podawane tekstowo, a użytkownik systemu GPS powinien rozumieć ich znaczenie i potrafić znaleźć je na tradycyjnej mapie papierowej. Do obsługi tego typu urządzeń wystarczy więc podstawowy poziom wiedzy z zakresu geografii. Efektywne wykorzystywanie odbiorników GPS we własnych projektach wymaga jednak już nieco szerszej znajomości tematu – głównie podstaw działania systemu NAVSTAR GPS. Po przedstawieniu w poprzednim artykule genezy powstania tego systemu, nadszedł zatem czas na opisanie jego funkcjonowania. W niniejszym artykule wyjaśniono podstawowe zagadnienia związane z budową i organizacją systemu oraz strukturą sygnałów nadawanych z satelitów GPS.

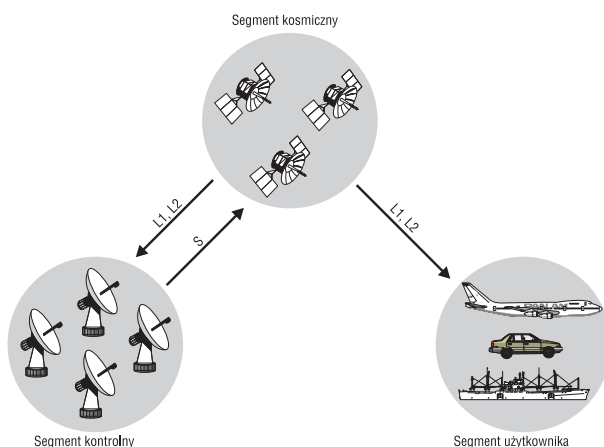


Segmenty systemu GPS

System NAVSTAR GPS składa się z trzech składników zwanych segmentami. Są to: segment kosmiczny, segment kontrolny i segment użytkownika. Schemat systemu przedstawiający relacje pomiędzy poszczególnymi segmentami przedstawiono na rys. 7.

Segment kosmiczny, zgodnie z początkowymi założeniami konstruktorów systemu, miał się składać z nominalnej liczby 24 satelitów. Obecnie konstelacja jest liczniejsza i zbliża się do 30 satelitów, przy czym maksymalnie może wynosić 32. Satelity GPS są umieszczone na 6 prawie kołowych orbitach półsynchronicznych o promieniu około 26560 km. Orbits półsynchroniczne są to takie orbity, na których okres obiegu satelity wokół Ziemi wynosi pół doby gwiazdowej.

Doba gwiazdowa jest nieco krótsza od doby słonecznej, którą posługujemy się na co dzień i trwa 23 h 56 min 4,009054 s średniego czasu słonecznego. Okres obiegu satelitów wokół Ziemi wynosi około połowy tego czasu, tj. 11 h 57 min 57,26 s. Został on wybrany w taki sposób, aby mimo obrotu kuli ziemskiej, wszystkie satelity raz na dobę przechodziły w przybliżeniu nad tymi samymi punktami na powierzchni Ziemi o tej samej porze. Płaszczyzny orbitalne satelitów są rozłożone równomiernie, co 30° długości geograficznej, wzdłuż równika i nachylone względem jego płaszczyzny pod kątem 55°. Rozmieszczenie satelitów na poszczególnych orbitach jest natomiast nierównomierne i zostało zoptymalizowane w taki sposób, aby zapewnić widzialność jak największej liczby satelitów o każdej porze i w każdym miejscu na kuli ziemskiej oraz zminimalizować skutki ewentualnego uszkodzenia któregoś z satelitów. Przy braku obiektów blokujących sygnały GPS, obecna konstelacja systemu



Rys. 7. Schemat systemu NAVSTAR GPS



Rys. 8. Rozmieszczenie elementów segmentu kontrolnego systemu NAVSTAR GPS

zwykle zapewnia widoczność w pobliżu Ziemi przynajmniej 4–5 satelitów, przy czym typowo ich liczba jest większa (7–8) i maksymalnie może wynosić nawet 12. W obecnej wersji systemu, satelity GPS nadają zmodulowane sygnały radiowe na dwóch częstotliwościach z pasma L (L1 i L2), a w przyszłości będzie nadawany jeszcze jeden sygnał z tego pasma (L5).

Segment kontrolny składa się z głównej stacji kontrolnej znajdującej się w Colorado Springs w USA oraz pięciu stacji monitorujących, rozmieszczonych w równomiernych odstępach w pasie równikowym (rys. 8). Każda ze stacji monitorujących jest wyposażona w cezowe zegary atomowe i zawiera wiele wysokiej klasy odbiorników GPS odbierających sygnały na częstotliwościach L1 i L2. Pomiary wykonywane przez stacje monitorujące są przesyłane do głównej stacji kontrolnej, która na ich podstawie oblicza parametry orbit satelitów, błędy zegarów satelitów, parametry propagacji sygnału w jonosferze i inne parametry nawigacyjne oraz określa, czy dany satelita pracuje prawidłowo. Następnie opracowane w głównej stacji kontrolnej dane są okresowo (zwykle raz na dobę) przesyłane do satelitów z jednej ze stacji nadawczych znajdujących się przy czterech z pięciu stacji monitorujących. Oprócz aktualnych danych nawigacyjnych, segment kontrolny wysyła niekiedy do satelitów komendy sterujące. Ich zadaniem może być korekcja zegarów atomowych sateli-

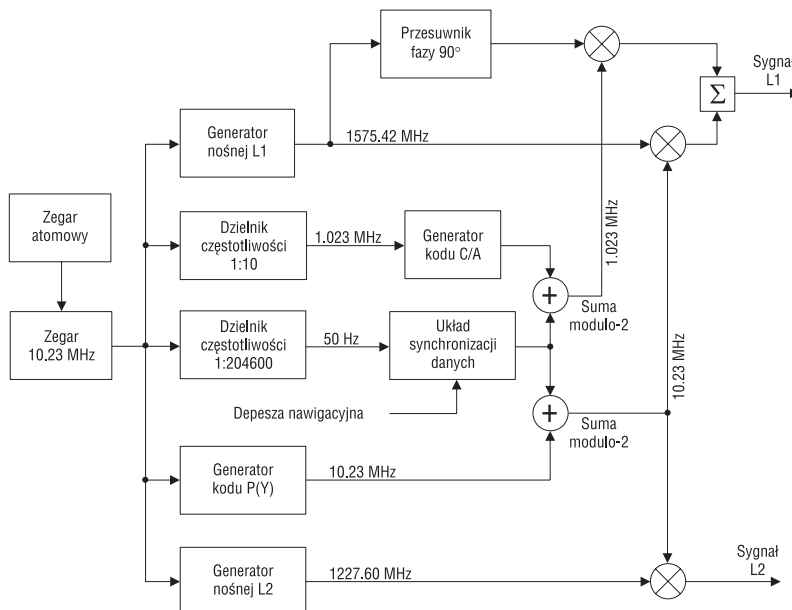
tów, zmiana oprogramowania na satelitach, drobne skorygowanie trajektorii lub znaczna zmiana położenia satelity na orbicie w celu minimalizacji skutków uszkodzenia innego satelity. Transfer komend i danych do satelitów odbywa się na częstotliwościach z pasma S, które w systemie GPS nie są wykorzystywane do celów nawigacyjnych.

W skład segmentu użytkowników wchodzi wszystkie cywilne i wojskowe odbiorniki systemu NAVSTAR GPS. Mogą to być odbiorniki jednoczęstotliwościowe, odbierające sygnały na częstotliwości L1, lub dwuczęstotliwościowe, odbierające sygnały na częstotliwościach L1 i L2. Spośród wszystkich wyko-

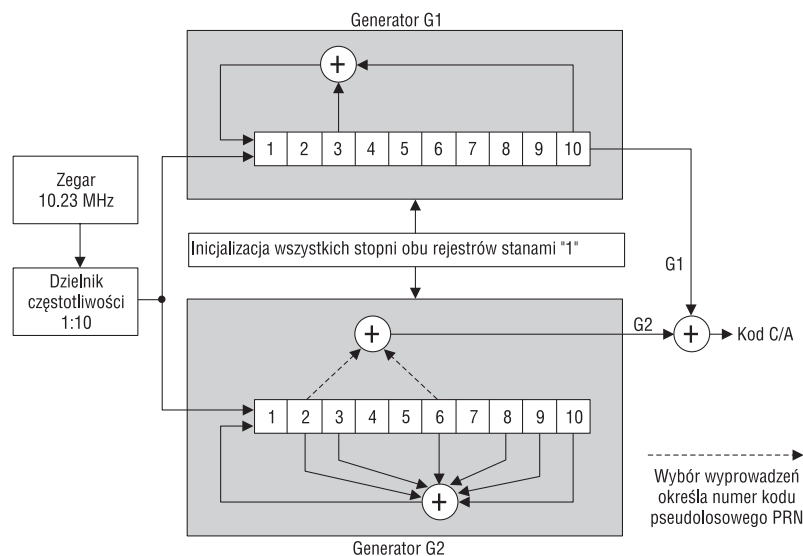
rzystywanych obecnie odbiorników GPS tylko około 10% stanowią odbiorniki wojskowe. Gama dostępnych na rynku odbiorników cywilnych jest bardzo szeroka i obejmuje urządzenia przeznaczone do pozycjonowania i nawigacji powietrznej, morskiej oraz lądowej, do transferu precyzyjnego czasu, do określania orientacji przestrzennej z wykorzystaniem odbiorników wieloantennowych, do precyzyjnych pomiarów geodezyjnych i do wielu zastosowań specjalnych. Podobnie szeroka jest też rozpiętość cenowa oferty odbiorników GPS.

Sygnały systemu GPS

Podczas projektowania systemu GPS konstruktorzy brali pod uwagę różne dostępne zakresy częstotliwości, na których mogłyby być nadawane sygnały z satelitów. Rozważano wybór częstotliwości z pasma UHF w pobliżu 400 MHz i częstotliwości z pasma C (4...6 GHz). Zaletą częstotliwości w pobliżu 400 MHz jest najmniejsze tłumienie sygnału spośród wymienionych trzech zakresów, natomiast istotnym problemem są znaczne opóźnienia sygnału w jonosferze i zakłócenia kosmiczne. Ponadto wygospodarowanie dwóch niezajętych pasm z tego zakresu o wymaganej szerokości około 20 MHz byłoby kłopotliwe. Wadą pasma C jest natomiast o około 10 dB silniejsze tłumienie sygnału, niż w przypadku sygnału z pasma L. Oznacza to konieczność zasto-



Rys. 9. Zasada wytwarzania sygnałów zmodulowanych w systemie GPS



Rys. 10. Generator kodu pseudolosowego C/A

sowania na satelitach nadajników o większej mocy oraz dodatkowe silne tłumienie sygnału występujące podczas opadów deszczu. To ostatnie zjawisko byłoby szczególnie niepożądane, ponieważ zgodnie z założeniami system miał zapewniać pozycjonowanie w dowolnych warunkach pogodowych.

Ostatecznie wybór padł na dwie częstotliwości z pasma L, w którym tłumienie sygnału w atmosferze jest jeszcze do przyjęcia i przy akceptowalnym poziomie mocy sygnału nadawanego z satelity GPS umożliwia osiągnięcie w pobliżu Ziemi mocy wystarczającej do jego odbioru. Fale elektromagnetyczne z tego zakresu są jednak silnie tłumione przez stałe obiekty, takie jak budynki, drzewa, karoseria pojazdu, itp., z czego należy sobie zdawać sprawę wybierając miejsce instalacji anteny odbiornika GPS. Decyzja o nadawaniu równocześnie na dwóch częstotliwościach wynikała z faktu, że opóźnienie jonosferyczne jest zależne od częstotliwości sygnału. Odbierając dwa sygnały o różnych częstotliwościach można to opóźnienie obliczyć i skompensować, poprawiając tym samym dokładność pozycjonowania. Sposób wytwarzania sygnałów systemu GPS na pokładzie satelity przedstawiono na **rys. 9**.

Każdy satelita systemu GPS nadaje równocześnie dwa sygnały zmodulowane, oznaczane jako L1 i L2. Częstotliwości fal nośnych obu sygnałów są wielokrotnościami podstawowej częstotliwości zegara satelity wynoszącej 10,23 MHz i po-

dobnie jak ona mają stałość atomowego wzorca czasu:

$$f_1 = 1575,42 \text{ MHz} = 154 \cdot 10,23 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 1227,60 \text{ MHz} = 120 \cdot 10,23 \text{ MHz}$$

Sygnał zegara 10,23 MHz jest również wykorzystywany do taktowania generatorów kodów C/A i P(Y) oraz synchronizacji danych zawartych w depeszy nawigacyjnej, dzięki czemu wszystkie sygnały biorące udział w wytworzeniu końcowych sygnałów L1 i L2 są ze sobą zsynchronizowane (koherentne).

Kody pseudolosowe

Kody C/A i P(Y) są często oznaczane skrótem PRN, pochodzącym od angielskiego słowa *pseudorandom*, co w języku polskim oznacza pseudolosowy. Kody pseudolosowe PRN stanowią pozornie przypadkowe ciągi zer i jedynek logicznych. W rzeczywistości są one generowane zgodnie ze znanymi algorytmami, opisanymi w specyfikacji systemu ICD-GPS-200 (<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/icd200/default.htm>). W systemie GPS są stosowane dwa rodzaje kodów PRN: kod C/A – przeznaczony dla użytkowników cywilnych i kod P(Y) – przeznaczony dla użytkowników wojskowych.

Skrót C/A, według różnych źródeł, pochodzi z jęz. angielskiego od *Coarse/Acquisition* (zgrubna lub wstępna akwizycja) lub *Clear/Access* (swobodny dostęp). Oba wyjaśnienia skrótu odnoszą się do dwóch różnych aspektów korzystania z kodu C/A. W wojskowych odbiornikach GPS kod C/A jest wykorzystywany do wstępnej akwizycji sygnału,

a następnie odbiornik przechodzi do śledzenia kodu P(Y). Odbiorniki cywilne korzystają natomiast wyłącznie z kodu C/A, do którego dostęp jest swobodny i nie wymaga posiadania specjalnych uprawnień. Kod C/A ma krótki okres równy 1 ms i składa się z 1023 odcinków (bitów) generowanych z szybkością 1023 milionów odcinków na sekundę (1,023 MHz). Kod P (*Precision*) ma natomiast bardzo długi okres wynoszący około 267 dni i jest generowany 10 razy szybciej niż kod C/A (10,23 MHz). W literaturze angielskojęzycznej pojedynczy odcinek kodu PRN jest określany jako *chip*. Każdy satelita GPS nadaje indywidualnie przypisany mu kod C/A. Kod P jest wprowadzany tylko jeden, ale z bardzo długiego okresu tego kodu, każdemu satelicie przyporządkowano inny wycinek o długości jednego tygodnia, zatem okres sekwencji nadawanej przez każdego satelitę wynosi 1 tydzień.

Kod Y jest specjalnie zaszyfrowaną wersją kodu P, powstającą jako suma modulo 2 (funkcja logiczna XOR) jawnego kodu P i tajnego kodu W. Sygnały dwuwartościowe (binarne) mogą być unipolarne, jeśli przyjmują stany 0/1, lub bipolarne, gdy przyjmują stany -1/+1. Suma modulo 2 jest określona dla sygnałów unipolarnych, a jej odpowiednikiem dla sygnałów bipolarnych jest mnożenie.

Kod W jest również kodem pseudolosowym, którego szybkość wynosi 511,5 kbd (511,5 kHz), a więc na 1 odcinek kodu W przypada 20 odcinków kodu P. Odbiór sygnału zmodulowanego kodem Y jest niemożliwy bez posiadania specjalnego odbiornika wojskowego i dodatkowego modułu deszyfratora. W początkowym okresie działania systemu NAVSTAR GPS nie stosowano szyfrowania kodu P, pomimo, że był on z założenia przeznaczony dla użytkowników wojskowych. Kodowanie kodu P do postaci kodu Y, określane terminem *Antispoofing* i oznaczane A-S, wprowadzono dopiero w 1994 roku, głównie w celu uniknięcia „podrabiania” (*ang. spoofing*) sygnału GPS i zamierzonego wprowadzania w błąd wojskowych odbiorników GPS. Celem tego dodatkowego szyfrowania nie było wprowadzenie uniemożliwienia odbioru sygnału z kodem P, ale przy oka-

zji wprowadzenia A-S użytkownicy cywilni stracili taką możliwość. Brak możliwości odtworzenia kodu Y w odbiorniku cywilnym sprawia, że odbiorniki te są w stanie demodulować wyłącznie sygnały z kodem C/A i tym samym mają dostęp jedynie do mniej dokładnej, standardowej usługi pozycjonowania SPS. Wyposażone w deszyfrator odbiorniki wojskowe mają natomiast dostęp do precyzyjnej usługi pozycjonowania PPS. Na rys. 10 przedstawiono sposób, w jaki wytwarzane są kody pseudolosowe C/A.

Kody C/A generowane na pokładzie satelitów GPS powstają jako suma modulo 2 dwóch sekwencji bitów G1 i G2. Sygnały G1 i G2 mają długość wynoszącą 1023 bity i są generowane za pomocą dwóch 10-stopniowych rejestrów przesuwanych, taktowanych sygnałem zegarowym o częstotliwości 1,023 MHz. Stan początkowy obu rejestrów jest inicjalizowany wysokim poziomem na wszystkich pozycjach. Powstające w generatorze kody C/A, zwane kodami Golda, mają również długość wynoszącą 1023 bity. Stało się więc jasne, dlaczego w systemie GPS przyjęto częstotliwość podstawową wynoszącą właśnie 10,23 MHz. Taktując układ generatora kodu C/A sygnałem z dzielnika częstotliwości 1:10 uzyskuje się okres kodu C/A równy 1 ms. Przebieg kodu PRN powstającego w generatorze zależy od pozycji wyprowadzeń z dolnego rejestru przesuwanego, z których w sumatorze modulo 2 jest tworzony sygnał G2. Spośród możliwych 45 kombinacji wyprowadzeń w dokumentacji systemu GPS przewidziano wykorzystanie tylko 37. Powstającym przy tych układach połączeń kodom PRN nadano numery od 1 do 37. Satelity GPS mogą nadawać sygnały z kodami C/A o numerach PRN od 1 do 32 (stąd ograniczenie maksymalnej liczby aktywnych satelitów w konstelacji do 32), natomiast pozostałe kody PRN przewidziano dla naziemnych urządzeń wspomagających pracę systemu. Numer kodu PRN jednoznacznie identyfikuje satelitę GPS nadającego sygnał zmodulowany tym kodem. Schemat generatora kodu P jest nieco bardziej skomplikowany niż schemat generatora kodu C/A. Można go znaleźć między innymi w dokumentacji systemu ICD-GPS-200. Podobnie jak

Tab. 1. Zawartość depezy nawigacyjnej

Nr podramki	Najważniejsze dane zawarte w podramce
1	– numer tygodnia czasu GPS liczony od północy z 5 na 6 stycznia 1980 i zerowany co 1024 tygodnie (ostatnie i jedyne jak dotąd zerowanie miało miejsce 22.08.1999), – parametry korekcji zegara satelity GPS, w postaci współczynników wielomianu 2-go stopnia opisującego zmiany jego błędu w czasie, – znaczniki i współczynniki określające stan i sprawność satelity, przewidywaną przez segment kontrolny dokładność jego pseudoodległości, itp.
2, 3	– dane orbitalne satelity (tzw. efemerydy), pozwalające na bardzo dokładne obliczenie położenia i prędkości nadającego je satelity,
4	– przybliżone, ale zachowujące aktualność dłużej niż efemerydy, dane orbitalne satelitów systemu GPS o numerach PRN ≥ 25 (fragment tzw. almanachu), – współczynniki pozwalające na obliczenie uniwersalnego czasu koordynowanego UTC (<i>ang. Universal Time Coordinated</i>) na podstawie czasu GPS, – parametry poprawki jonosferycznej dla jednoczesności odbiorników GPS, odbierających wyłącznie sygnał L1, – znaczniki informujące o zastosowaniu A-S, – dane o stanie i sprawności satelitów o numerach PRN ≥ 25 ,
5	– almanach satelitów systemu GPS o numerach PRN 1–24, – dane o stanie i sprawności satelitów o numerach PRN 1...24.

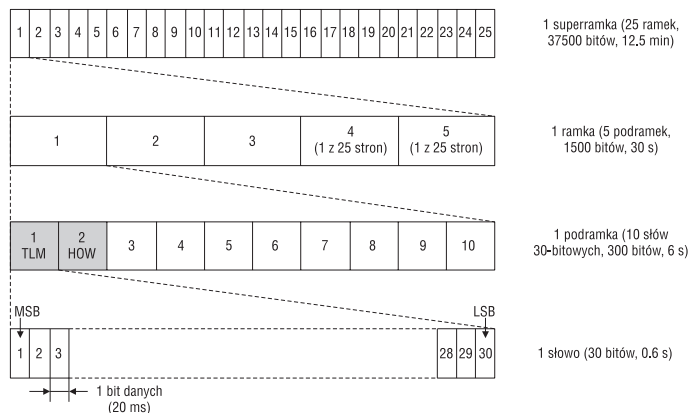
w generatorze kodu C/A, w generatorze kodu P również występują rejestry przesuwne ze sprzężeniami zwrotnymi, a zasada działania obu układów jest zbliżona.

Kody pseudolosowe spełniają w systemie NAVSTAR GPS kilka bardzo istotnych funkcji. Umożliwiają one między innymi wykonywanie pomiarów prowadzących do określenia odległości satelity – odbiornik, tzw. pseudoodległości, które są niezbędne do wyznaczenia położenia użytkownika. Sposób realizacji pomiarów pseudoodległości i ich wykorzystanie w pozycjonowaniu zostanie opisany w kolejnej części artykułu. Ponadto, jak już wspomniano, kody PRN wszystkich satelitów GPS są unikatowe, co pozwala odróżnić ich sygnały, pomimo nadawania na tych samych częstotliwościach przez wszystkie satelity. Metodę równoczesnej transmisji w tym samym paśmie częstotliwości sygnałów zmodulowanych różnymi kodami PRN określa się jako zwielokrotnianie kanału z podziałem kodowym CDM (*ang. Code Division Multiplexing*) lub wielokrotny dostęp z podziałem kodowym CDMA (*ang. Code Division Multiple Access*). Nie jest to jedyne możliwe sposoby zwielokrotniania kanału. W rosyjskim systemie GLONASS przyjęto inną koncepcję i zastosowano zwielokrotnianie z podziałem częstotliwościowym FDM (*ang. Frequency Division Multiplexing*), gdzie każdy satelita nadaje sygnały zmodulowane takimi samymi kodami pseudolosowymi, ale na innych częstotliwościach nośnych.

Modulacja sygnałem zawierającym kod PRN należy do modulacji szerokopasmowych, powodujących rozproszenie widma sygnału na znacznie szersze pasmo niż pasmo częstotliwości zajmowane przez sygnał danych nawigacyjnych. Tę formę modulacji oznacza się jako DS (*ang. Direct Sequence*), a rozpraszanie widma za jej pomocą określa się jako DS-SS (*ang. Direct Sequence Spread Spectrum*). Inną znaną i szeroko stosowaną metodą modulacji szerokopasmowej jest modulacja FH (*ang. Frequency Hopping*). Modulacje szerokopasmowe charakteryzują się zwiększeniem odporności sygnału na celowe i przypadkowe zakłócenia. Ma to oczywiście ogromne znaczenie w systemie GPS, który jest wykorzystywany w aplikacjach wojskowych. Zastosowanie modulacji DS kodem C/A zapewnia poprawę odporności na zakłócenia sygnału GPS o około 20...30 dB w porównaniu z sygnałami wąskopasmowymi. W przypadku modulacji DS z kodem P jest to poprawa rzędu 30...40 dB.

Zawartość depezy nawigacyjnej

Oba sygnały GPS L1 i L2 są zmodulowane nie tylko kodami pseudolosowymi, ale również ciągłym strumieniem danych nawigacyjnych, zawierającym tzw. depezę nawigacyjną. Dwa binarne sygnały modulujące fale nośne L1 i L2 są wytwarzane jako suma modulo 2 ciągu bitów depezy nawigacyjnej i ciągu bitów odpowiedniego kodu pseudolosowego C/A lub P(Y). Depesza jest formowana z da-



Rys. 11. Format depeszy nawigacyjnej

nych przesyłanych do satelity z naziemnego segmentu kontrolnego systemu NAVSTAR GPS i jest nadawana z satelity z szybkością 50 Bd (50 Hz). Dane zawarte w depeszy nawigacyjnej są niezbędne do wyznaczenia w odbiorniku GPS położenia, prędkości i czasu. Bity danych o czasie trwania 20 ms są logicznie pogrupowane w słowa, podramki (*ang. subframes*), ramki (*ang. frames*) i superramki (*ang. superframes*). Format depeszy nawigacyjnej, z zaznaczeniem czasu trwania i liczby bitów w poszczególnych elementach struktury, przedstawiono na **rys. 11**.

Pełna depesza nawigacyjna jest zawarta w superramce, złożonej z 375000 bitów, której transmisja trwa 12,5 minuty. Superramka składa się z 25 ramek o czasie trwania 30 sekund, złożonych z 1500 bitów każda. W skład ramki wchodzi pięć 300-bitowych podramek, złożonych z 10 słów 30-bitowych. Czas trwania pojedynczej podramki wynosi 6 sekund. Słowa wchodzące w skład podramki są transmitowane w czasie 0,6 sekundy od najstarszego bitu (MSB) do najmłodszego (LSB).

W skład każdej podramki wchodzi dwa szczególnie ważne słowa TLM (*ang. Telemetry*) i HOW (*ang. Hand-Over Word*). Słowo telemetryczne TLM rozpoczyna się 8-bitową preambułą (10001011), która jest używana przez odbiorniki GPS do odnalezienia początku podramki. Słowo HOW pozwala natomiast wyznaczyć czas nadania kolejnej podramki i służy odbiornikom wojskowym z kodem P(Y) do przejścia od śledzenia cywilnego kodu C/A do śledzenia kodu wojskowego P(Y). Pozostałe 8 słów każdej podramki stanowią dane nawigacyjne.

Pomijając okresową aktualizację danych, podramki 1, 2 i 3 powtarzają się w każdej ramce, natomiast podramki 4 i 5 mają 25 różnych wersji nazywanych stronami. W kolejnych ramkach jest transmitowana jedna z 25

stron podramki 4 i 5, zatem przesłanie kompletu danych wymaga nadania 25 ramek, czyli jednej superramki. Zawartość poszczególnych podramki depeszy nawigacyjnej zestawiono w **tab. 1**.

Odbiór informacji zawartej w pojedynczej ramce, a w zasadzie w jej trzech pierwszych podramkach, jest wystarczający do wyznaczenia położenia użytkownika GPS. Teoretycznie oznacza to, że minimalny czas od uruchomienia odbiornika do wyznaczenia położenia wynosi 18 sekund (3 razy czas trwania podramki). W praktyce włączenie odbiornika może nastąpić w dowolnym momencie trwania ramki, np. na początku czwartej podramki, zatem gwarantowany czas otrzymania pierwszych trzech podramki wynosi 30 sekund i taki można przyjąć minimalny czas od uruchomienia odbiornika do pierwszego ustalenia położenia TTFF (*ang. Time To First Fix*). TTFF jest ważnym parametrem odbiornika GPS, określającym jak szybko urządzenie jest gotowe do pracy. Czas ten jest oczywiście zależny od widoczności satelitów, od budowy i oprogramowania odbiornika oraz od czasu, który upłynął od jego ostatniego wyłączenia i tym samym od stopnia aktualności danych zgromadzonych w pamięci odbiornika. Jeśli przerwa w pracy była krótka, większość danych nawigacyjnych przechowywanych w pamięci odbiornika GPS pozostaje aktualna i położenie jest ustalane znacznie szybciej, zwykle w ciągu pojedynczych sekund. Z drugiej strony, jeśli odbiornik nie był włączany przez wiele dni, lub został przetransportowany w stanie wyłączonym na bardzo dużą odległość, poszukiwanie satelitów, a następnie odbiór i zdekodowanie ich sygnałów może zająć nawet kilka minut. W ta-

kiej sytuacji odbiornik powinien też pozostać włączony przez czas gwarantujący odbiór całej superramki, co przyspieszy jego uruchamianie przy kolejnych włączeniach.

Producenci odbiorników GPS zwykle podają średni czas reaktywacji sygnału po chwilowej utracie jego śledzenia, np. w wyniku krótkotrwałego przesłonięcia anteny odbiornika lub krótkiej przerwy w jego zasilaniu, a także średnie czasy TTFF dla różnych przypadków aktualności położenia użytkownika, czasu zegara odbiornika GPS oraz efemerydów i almanachu przechowywanych w pamięci odbiornika. Podawane w danych technicznych odbiorników GPS czasy TTFF są określane następująco:

- czas gorącego startu (*ang. hot start*), określany dla przypadku, gdy efemerydy zgromadzone i zapisane w pamięci odbiornika GPS podczas ostatniego okresu pracy są nadal aktualne oraz odbiornik jest zsynchronizowany z czasem GPS,
- czas ciepłego startu (*ang. warm start*), określany dla przypadku, gdy odbiornik utracił synchronizację z czasem GPS, ale znane jest przybliżone położenie i czas, oraz gdy efemerydy zgromadzone w pamięci odbiornika utraciły już swoją ważność, co następuje po około 4 godzinach, ale mogą być wciąż użyteczne przy obliczaniu położenia satelitów,
- czas zimnego startu (*ang. cold start*), kiedy znane jest przybliżone położenie i czas, w pamięci odbiornika jest zapisany aktualny almanach, natomiast efemerydy nie są zapisane lub są całkowicie nieaktualne,
- czas przeszukiwania nieba (*ang. search the sky*), określany przy całkowitym braku danych o położeniu odbiornika, czasie i danych orbitalnych, np. w przypadku pierwszego uruchomienia zakupionego odbiornika GPS.

Średni czas reaktywacji wynosi typowo od dziesiątych części sekundy do pojedynczych sekund. Czas gorącego startu wynosi zwykle kilkanaście sekund, ciepłego startu – kilkadziesiąt sekund, zimnego startu – od kilkudziesięciu do stu kilkadziesięciu sekund, zaś czas przeszukiwania nieba może wynosić nawet kilka minut.

Piotr Kaniewski