

Piotr Grall
Cezary Specht
Akademia Marynarki Wojennej

OCENA PORÓWNAWCZA STANDARDÓW SPS SYSTEMU GPS W ASPEKCIE DOKŁADNOŚCI OKREŚLENIA POZYCJI

STRESZCZENIE

W artykule dokonano oceny porównawczej standardów opisujących charakterystyki pracy standardowego serwisu pozycyjnego systemu GPS (*Standard Positioning Service* — SPS) gwarantowane przez właściciela systemu. W pierwszej części przedstawiono miary służące do określenia dokładności SPS stosowane w kolejnych wersjach standardu. W drugiej części zaprezentowano wartości poszczególnych miar dokładności stosowane w standardzie SPS oraz ich zestawienie porównawcze. Artykuł kończą ogólne wnioski dotyczące dokładności SPS.

Słowa kluczowe:

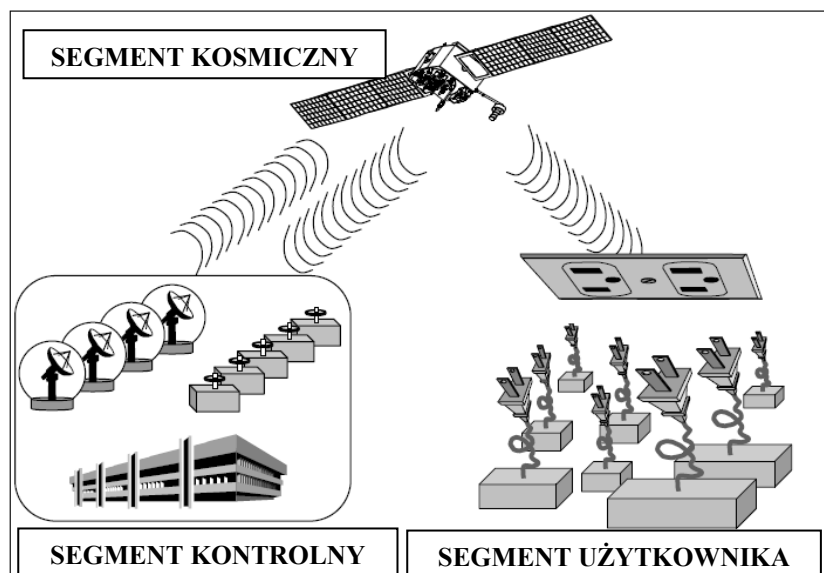
GPS, *Standard Positioning Service*, SPS, miary dokładności wyznaczenia pozycji.

WSTĘP

System GPS jest dziś podstawowym źródłem informacji pozycyjnej w szeroko rozumianej nawigacji. W 1984 roku decyzją prezydenta USA Ronalda Reagana udostępniono użytkownikom cywilnym standardowy serwis pozycji nadający sygnały kodowe *C/A (Coarse/Acquisition)* na częstotliwości L1 wykorzystywane do określenia pozycji i czasu odbiornika. Ze względu na swoje pierwotne przeznaczenie jako systemu wojskowego dokładność pozycji dla nieautoryzowanych cywilnych użytkowników SPS została celowo pogorszona za pomocą techniki selektywnej dostępności (*Selective Availability* — SA). W 1993 roku wydano pierwszą wersję standardu określającego gwarantowane charakterystyki pracy SPS [6]. Kolejna jego wersja ukazała się równolegle z ogłoszeniem osiągnięcia przez system GPS pełnych możliwości operacyjnych (*Full Operational Capability* — FOC) w 1995 roku [7].

W warunkach działającej SA SPS nie zapewniał jednak dokładności lepszej niż 100 m w płaszczyźnie horyzontalnej. W 1999 roku udostępniono dla użytkowników cywilnych rosyjski system nawigacji satelitarnej GLONASS, ponadto rozpoczęto prace nad stworzeniem europejskiego systemu nawigacji satelitarnej GALILEO, które stanowią potencjalną konkurencję dla GPS [17, 13]. Z drugiej strony użytkownicy różnorodnych aplikacji GPS oczekiwali wyższej dokładności, niż mógł zapewnić SPS z włączonym SA. 2 maja 2000 roku decyzją prezydenta USA Billa Clintona wyłączono SA, powodując znaczący wzrost dokładności pozycji [14]. Nowe warunki pracy systemu znalazły odzwierciedlenie w trzeciej wersji standardu SPS wydanej w 2001 roku [4]. Modernizacja konstelacji satelitów oraz segmentu kontrolnego [2, 10] spowodowała poprawę parametrów pracy serwisu, co znalazło potwierdzenie w najnowszej, czwartej wersji standardu SPS [5].

Na dokładność pozycji otrzymanej przez odbiornik SPS składają się charakterystyki pracy poszczególnych segmentów tworzących architekturę systemu GPS, a mianowicie segment kosmiczny, segment kontrolny oraz segment użytkownika (rys. 1.).



Rys. 1. Architektura GPS

Źródło: Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard 4th Edition, United States of America Department of Defense, September 2008.

Departament Obrony USA nadzoruje jedynie pracę segmentów kontrolnego i kosmicznego, dlatego też charakterystyki pracy gwarantowane w standardach SPS

dotyczą dokładności wynikającej z charakterystyki funkcjonowania tych właśnie segmentów. Z drugiej strony użytkownik SPS zainteresowany jest przede wszystkim końcową dokładnością uzyskiwaną przez wykorzystywany przez niego odbiornik. Jakość i zastosowane w odbiorniku rozwiązania techniczne mają zasadnicze znaczenie dla dokładności otrzymanej pozycji [8, 11, 16]. W szczególności dotyczy to wykorzystanego modelu kompensacji opóźnienia jonosferycznego [1, 12, 15], które jest główną składową błędu określenia pozycji dla odbiornika jednoczęstotliwościowego. W artykule zaprezentowano różnorodne miary dokładności pozycji, które pozwalają na pełniejsze zrozumienie zagadnienia dokładności pozycji otrzymywanej przy wykorzystaniu SPS.

MIARY DOKŁADNOŚCI GPS SPS

Standardowy serwis pozycyjny w wersjach 1993 i 1995

Istnieje kilka miar stosowanych do określania dokładności zaproponowanych w SPS. W wersjach standardu SPS [6, 7] dokładność pozycji prezentowana jest w postaci trzech różnych miar:

- dokładności przewidywalnej (*predictable accuracy*);
- dokładności powtarzalnej (*repeatable accuracy*);
- dokładności względnej (*relative accuracy*).

Dokładność przewidywalna jest to procent czasu w stosunku do wybranego przedziału, podczas którego różnica pomiędzy zmierzoną a rzeczywistą pozycją odbiornika mieści się wewnątrz określonej granicy dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi lub w jej pobliżu.

Dokładność powtarzalna jest to procent czasu w stosunku do wybranego przedziału, podczas którego różnica pomiędzy zmierzoną pozycją w jednym momencie a pozycją zmierzoną w drugim momencie dla tej samej lokalizacji odbiornika mieści się wewnątrz określonej granicy tolerancji dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi lub w jej pobliżu (za punkt odniesienia służy nie rzeczywista pozycja odbiornika, lecz pozycja średnia w serii pomiarów).

Dokładność względna jest to procent czasu w stosunku do wybranego przedziału, podczas którego różnica pomiędzy dwoma estymacjami pozycji zmierzonymi przez dwa odbiorniki w tym samym momencie mieści się wewnątrz określonej granicy tolerancji dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi lub w jej pobliżu.

Pierwsza z tych miar jest klasyczną miarą dokładności pozycji, przy czym należy zaznaczyć, że dokładność systemu była celowo pogarszana za pomocą SA, na skutek czego błędy pozycji nie wynikały jedynie z technicznych możliwości serwisu. Druga miara określa, z jaką dokładnością można wrócić za pomocą odbiornika GPS do określonej wcześniej pozycji. Trzecia miara określa korelację pomiędzy błędami pozycji identycznych odbiorników, które znajdują się we wzajemnym sąsiedztwie. Wielkość tej miary stała się podstawą do tworzenia różnicowych satelitarnych systemów pozycyjnych (DGNSS).

Standardowy serwis pozycyjny w wersjach 2001 i 2008

2 maja 2000 roku zgodnie z decyzją prezydenta USA zaprzestano nadawania celowych zakłóceń sygnału GPS na częstotliwości L1. W październiku 2001 roku został wydany nowy dokument określający gwarantowaną dokładność SPS [4]. Standard ten posługuje się zmienionymi w stosunku do poprzednich edycji charakterystykami serwisu. Zasadniczym pojęciem powiązanim z dokładnością, jakie zostaje wprowadzone w tym standardzie, jest sygnał w przestrzeni — SPS SIS (*Standard Positioning Service Signal in Space*), czyli dostępny dla użytkownika sygnał radiowy wykorzystywany do określenia pseudoodległości od poszczególnych satelitów w standardowym serwisie pozycyjnym. Statystyka błędu pomiaru odległości użytkownika (*SPS SIS User Range Error Statistic*) określona jest w dwóch następujących aspektach:

- dla pojedynczego satelity statystyka SPS SIS URE jest zdefiniowana jako odchylenie standardowe różnicy między zmierzoną pseudoodległością (przy pominięciu błędu zegara odbiornika i błędów związanych z propagacją fal radiowych oraz błędów odbiornika) a rzeczywistą odległością pomiędzy satelitą a użytkownikiem dla dowolnego punktu wewnątrz strefy działania serwisu dla określonego przedziału czasu;
- dla całej konstelacji statystyka SPS SIS URE jest zdefiniowana jako średnia statystyka ze wszystkich satelitów dla określonego przedziału czasu.

Wielkość SIS URE zależy wyłącznie od właściwości pracy segmentu kontrolnego i segmentu kosmicznego. Segment kontrolny śledzi pozycję każdego satelity, określając wektor błędów jego położenia i stanu zegara w stosunku do utrzymywanego przez US Naval Observatory wzorca czasu UTC [9]. Na podstawie zmierzonych wartości obliczany jest błąd pomiaru odległości użytkownika:

$$URE = \sqrt{(\delta_R - \delta_{Ck})^2 + 0,0192 \cdot (\delta_A^2 + \delta_C^2)}, \quad (1)$$

gdzie:

- URE — chwilowa wartość błędu pomiaru odległości użytkownika [m];
 δ_R — błąd położenia satelity mierzony wzdłuż promienia jego orbity [m];
 δ_A — błąd położenia satelity mierzony wzdłuż jego trajektorii [m];
 δ_C — błąd położenia satelity mierzony prostopadle do jego trajektorii [m];
 δ_{clk} — błąd zegara satelity [m].

Statystyka SIS URE określana jest dla poszczególnych satelitów oraz całej konstelacji w określonym przedziale czasu. W celu obliczenia dokładności pozycji należy wykorzystać następujące zależności [5]:

$$M_{DOP} = DOP \cdot UERE ; \quad (2)$$

$$UERE = \sqrt{URE^2 + UEE^2} , \quad (3)$$

gdzie:

- M_{DOP} — błąd pomiaru (horyzontalny, wertykalny, przestrzenny, czasu, w zależności od wybranego współczynnika DOP);
 $UERE$ — ekwiwalentny błąd pomiaru odległości użytkownika (*User Equivalent Range Error*);
 URE — błąd pomiaru odległości użytkownika (*User Range Error*);
 UEE — błąd odbiornika użytkownika (*User Equipment Error*);
 DOP — odpowiedni współczynnik geometryczny położenia satelitów względem odbiornika: VDOP, HDOP, TDOP lub PDOP.

W najnowszej edycji standardu nadal stosuje się wielkość SIS URE dla określenia dokładności serwisu. Dokładność jest w nim definiowana jako statystyczna różnica pomiędzy estymowaną lub mierzoną wielkością a jej wartością rzeczywistą. Wielkości te wyrażone są w postaci przedziału dla prawdopodobieństwa $p = 0.95$ lub jako odchylenie standardowe — RMS.

Należy podkreślić, że zarówno standard w wersji z roku 2001, jak i z 2008 gwarantuje jedynie określoną wielkość SIS URE, natomiast wartości określające dokładność pozycji są podane jedynie jako ilustracja i nie należy traktować ich jako wielkości gwarantowanych. Dodatkowo, faktyczne wielkości błędów pomiaru pseudoodległości do poszczególnych satelitów zależą przede wszystkim od generacji satelity i od jego

indywidualnej charakterystyki pracy [9, 10]. Wzory (2, 3) zakładają jednakową wartość SIS URE dla wszystkich satelitów [11] i nie uwzględniają zróżnicowania wag poszczególnych pseudoodległości przy obliczaniu pozycji odbiornika.

CHARAKTERYSTYKI DOKŁADNOŚCI

Standardowy serwis pozycyjny w wersjach 1993 i 1995

Wersje standardu z lat 1993 i 1995 nie różnią się pod względem gwarantowanej dokładności pozycji serwisu, dlatego też będą przedstawione wspólnie. Standard z 1995 roku został wydany równoległe z ogłoszeniem pełnej operacyjności systemu GPS w dniu 14 lipca 1995 r. Zaprezentowane charakterystyki odnoszą się do sytuacji, w której odbiornik znajduje się w strefie działania, w warunkach poprawnej pracy serwisu. Standard nie określa dokładności w sytuacji, w której jeden z powyższych warunków nie jest spełniony. Charakterystyki zawarte w pierwszych wersjach standardu zaprezentowane są w poniższej tabeli.

Tabela 1. Standard dokładności pozycji [6, 7]

Miara dokładności	Uwarunkowania
dokładność przewidywalna <ul style="list-style-type: none"> • błąd horyzontalny ≤ 100 m ($p = 0.95$) ≤ 300 m ($p = 0.9999$) • błąd wertykalny ≤ 156 m ($p = 0.95$) ≤ 500 m ($p = 0.9999$) 	<ul style="list-style-type: none"> • w strefie działania, w warunkach dostępności i niezawodności serwisu • standard opracowany na podstawie pomiarów w 24-godzinnych interwałach, uśredniony dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi
dokładność powtarzalna <ul style="list-style-type: none"> • błąd horyzontalny ≤ 141 m ($p = 0.95$) • błąd wertykalny ≤ 221 m ($p = 0.95$) 	<ul style="list-style-type: none"> • w strefie działania, w warunkach dostępności i niezawodności serwisu • standard opracowany na podstawie pomiarów w 24-godzinnych interwałach, uśredniony dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi
dokładność względna <ul style="list-style-type: none"> • błąd horyzontalny ≤ 1 m ($p = 0.95$) • błąd wertykalny ≤ 1.5 m ($p = 0.95$) 	<ul style="list-style-type: none"> • w strefie działania, w warunkach dostępności i niezawodności serwisu • standard opracowany na podstawie pomiarów w 24-godzinnych interwałach, uśredniony dla dowolnego punktu na powierzchni Ziemi • standard zakłada, że odbiorniki określają pozycję, wykorzystując ten sam zestaw satelitów, a pozycja określana jest w przybliżeniu w tym samym czasie

Standardowy serwis pozycyjny w wersji 2001

Standard SPS z 2001 roku prezentuje następujące dokładności SIS URE.

Tabela 2. Standard dokładności pomiaru pseudoodległości [4]

Miara dokładności SIS URE	Uwarunkowania
≤ 6.0 m RMS dla całej konstelacji	średnia dla dowolnego satelity w dowolnym 24-godzinnym przedziale, dla dowolnego punktu w strefie działania serwisu

Na podstawie tej wartości zgodnie z określoną w [5] metodyką obliczona została dokładność pozycji zawarta w poniższej tabeli, przy założeniu, że usunięto z konstelacji dwa satelity o największym wpływie na błąd określenia oraz przyjmując UEE równy zeru.

Tabela 3. Dokładność pozycji [4]

Miara dokładności	Uwarunkowania
dokładność pozycji — średnia globalna: <ul style="list-style-type: none"> • błąd horyzontalny ≤ 13 m ($p = 0.95$) • błąd wertykalny ≤ 22 m ($p = 0.95$) 	<ul style="list-style-type: none"> • zdefiniowano dla określenia pozycji i czasu przez odbiornik znajdujący się w reprezentatywnych warunkach • standard oparty na pomiarze 24-godzinnym, uśredniony dla wszystkich pozycji w strefie działania serwisu
dokładność pozycji dla najgorszej lokalizacji: <ul style="list-style-type: none"> • błąd horyzontalny ≤ 36 m ($p = 0.95$) • błąd wertykalny ≤ 77 m ($p = 0.95$) 	<ul style="list-style-type: none"> • zdefiniowano dla określenia pozycji i czasu przez odbiornik znajdujący się w reprezentatywnych warunkach • standard oparty na pomiarze 24-godzinnym, uśredniony dla dowolnej pozycji w strefie działania serwisu

Standardowy serwis pozycyjny w wersji 2008

Standard podaje następującą specyfikację dla dokładności SIS URE.

Tabela 4. Standard dokładności SIS URE [5]

Standard dokładności SIS URE	Uwarunkowania
<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 7.8 m ($p = 0.95$) podczas normalnego trybu pracy dla wszystkich AOD — średnia globalna • ≤ 6.0 m ($p = 0.95$) podczas normalnego stanu trybu pracy dla zerowego AOD — średnia globalna • ≤ 12.8 m ($p = 0.95$) podczas normalnego trybu pracy dla dowolnego AOD — średnia globalna 	<ul style="list-style-type: none"> • dla dowolnego zdatnego SPS SIS • przy pominięciu modelowania błędu opóźnienia jonosferycznego dla częstotliwości L1 • zawiera poprawkę na błędy opóźnienia grupowego sygnałów na częstotliwości L1 • Zawiera błąd synchronizacji kodu P i C/A na częstotliwości L1

Standard dokładności SIS URE	Uwarunkowania
<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 30 m ($p = 0.9994$) podczas normalnego trybu pracy dla wszystkich AOD — średnia globalna • ≤ 30 m ($p = 0.9979$) podczas normalnego trybu pracy dla zerowego AOD — najgorsza lokalizacja 	<ul style="list-style-type: none"> • dla dowolnego zdatnego SPS SIS • przy pominięciu modelowania błędu opóźnienia jonosferycznego dla częstotliwości L1 • zawiera poprawkę na błędy opóźnienia grupowego sygnałów na częstotliwości L1 • zawiera błędy synchronizacji kodu P i C/A na częstotliwości L1 • obliczone na podstawie pomiarów z jednego roku, średnia dzienna dla strefy działania • standard oparty na założeniu wystąpienia trzech usterek serwisu w ciągu roku, z których każda trwa nie więcej niż sześć godzin
<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 388 m ($p = 0.95$) podczas rozszerzonego trybu pracy (po 14 dniach bez aktualizacji depeszy nawigacyjnej) 	<ul style="list-style-type: none"> • dla dowolnego zdatnego SPS SIS

Dane zawarte w powyższej tabeli należy uzupełnić o dodatkowy komentarz. Składowe ekwiwalentnego błędu pomiaru odległości użytkownika — UERE oraz dokładność pozycji odbiornika SPS zmieniają się w funkcji czasu. Zmiany dokładności w czasie będą znaczne, jeżeli segment kontrolny nie będzie w stanie aktualizować depeszy nawigacyjnej satelitów. Taka sytuacja może wystąpić w przypadku utraty zdolności działania segmentu kontrolnego na skutek naturalnych klęsk żywiołowych lub na skutek celowej działalności człowieka. Podobna sytuacja zaistnieje, gdy satelita nie będzie mógł odebrać lub przetworzyć wysyłanych z Ziemi aktualizacji depeszy nawigacyjnej. W takim przypadku UERE będzie się stopniowo zwiększał, pogarszając dokładność serwisu. Jeżeli dane satelity są aktualizowane zgodnie z harmonogramem (nie rzadziej niż raz dziennie), to pozostaje on w normalnym trybie pracy, jeśli jednak uaktualnienia są rzadsze, satelita przechodzi w rozszerzony tryb pracy. Tryb pracy poszczególnych satelitów jest nadawany w depeszy nawigacyjnej. Dla większości satelitów jedno uaktualnienie danych na dzień jest wystarczające dla uzyskania gwarantowanego poziomu dokładności. Jeżeli trajektoria satelity ulega zbyt gwałtownym, nieprzewidzianym zmianom lub zegar satelity jest niestabilny, uaktualnienia następują częściej, przy czym zakłada się, że w najgorszym przypadku potrzebne są trzy uaktualnienia dziennie. Dla każdego z tych dwóch trybów pracy zagwarantowane są oddzielne standardy dokładności serwisu.

Kolejnym pojęciem wymagającym wyjaśnienia jest AOD (*Age of Data* — wiek danych). Wiek danych jest to czas, jaki upłynął od wyznaczenia przez segment kontrolny danych dotyczących przewidywanego błędu zegara i efemeryd satelity, które następnie przesyłane są do satelity i nadawane w uaktualnionej depeszy nawigacyjnej. Wiek danych jest zatem w przybliżeniu czasem, jaki upłynął od ostatniego uaktualnienia danych przez satelitę powiększony o czas wypracowania i przesłania depeszy nawigacyjnej przez segment kontrolny. Moment wypracowania danych nazywa się zerowym wiekiem danych. Wiek danych wzrasta aż do momentu wypracowania kolejnych danych przez segment kontrolny. Kiedy wiek danych osiąga swoje maksimum, również błąd pomiaru pseudoodległości jest największy. W dowolnie wybranej chwili pracy serwisu jest mało prawdopodobne, aby wiek danych wszystkich satelitów miał jednocześnie wartość maksymalną. Dlatego też miarą, którą najlepiej charakteryzuje wartość SIS URE całej konstelacji, jest średnia dla wszystkich AOD.

URE nie jest tożsamy z błędem pozycji odbiornika, w najnowszej wersji standardu umieszczono zatem dodatkowo informacje o dokładności pozycji dla reprezentatywnego odbiornika GPS. Musi on spełniać następujące wymagania:

- być zaprojektowany zgodnie ze standardem IS-GPS-200;
- śledzić sygnały ze wszystkich widocznych satelitów powyżej pięciu stopni wysokości topocentrycznej (przy braku przeszkód terenowych); zakłada się również, że odbiornik działa w środowisku o nominalnym poziomie zakłóceń, który nie wpływa na zdolności do przechwycenia i śledzenia sygnałów;
- obliczenia pozycji i odległości prowadzić w oparciu o układ odniesienia WGS-84;
- wyznaczać pozycję i czas w oparciu o dane ze wszystkich widocznych satelitów;
- kompensować efekt Dopplera fazy fali nośnej i pomiarów kodu C/A;
- przetwarzać dane o stanie SIS zawarte w depeszy nawigacyjnej, przy wyznaczaniu pozycji, i wykluczać marginalne lub niezdatne SIS;
- zapewniać użycie bieżących i wewnętrznie spójnych efemeryd i danych o czasie dla satelitów przy wyznaczaniu pozycji;
- przerywać śledzenie satelity w przypadku, gdy przestaje on nadawać sygnał o właściwych parametrach;
- znajdować się na dokładnie określonej pozycji (dotyczy odbiornika sygnału czasu).

Prezentowane wartości dokładności pozycji, podobnie jak w przypadku wersji z 2001 roku, obliczone są przy założeniu, iż UEE równy jest zeru (tabela 5.).

Tabela 5. Przykładowa dokładność pozycji SPS 2008 [5]

Miara dokładności	Uwarunkowania
dokładność pozycji — średnia globalna ($p = 0.95$): <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 9 m błąd horyzontalny • ≤ 15 m błąd wertykalny 	<ul style="list-style-type: none"> • zdefiniowane dla określenia pozycji i czasu przez odbiornik znajdujący się w reprezentatywnych warunkach • standard oparty na pomiarze 24-godzinnym, uśredniony dla wszystkich pozycji w strefie działania serwisu
dokładności pozycji dla najgorszej lokalizacji ($p = 0.95$): <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 17 m błąd horyzontalny • ≤ 37 m błąd wertykalny 	<ul style="list-style-type: none"> • zdefiniowane dla określenia pozycji i czasu przez odbiornik znajdujący się w reprezentatywnych warunkach • standard oparty na pomiarze 24-godzinnym, uśredniony dla dowolnej pozycji w strefie działania serwisu

SPS 2008 jako pierwszy prezentuje przykładowe składowe błędów związanych z odbiornikiem użytkownika (tabela 6.). Wartości te mogą być wykorzystane do oszacowania dokładności pozycji odbiornika przy zastosowaniu wzorów (2 i 3).

Tabela 6. Błąd odbiornika użytkownika — UEE [5]

Źródło błędu	Tradycyjny odbiornik	Ulepszony odbiornik	Nowoczesny odbiornik
Kompensacja opóźnienia jonosferycznego	niedostępne	niedostępne	niedostępne
Kompensacja opóźnienia troposferycznego	3.9	4.0	3.9
Szum odbiornika i rozdzielczość	2.9	2.0	0.4
Wielodrogowość	2.4	0.5	0.2
Inne błędy segmentu użytkownika	1.0	1.0	1.0
Sumarycznie w metrach ($p = 0.95$)	5.5	4.6	4.5

Porównanie standardów GPS SPS

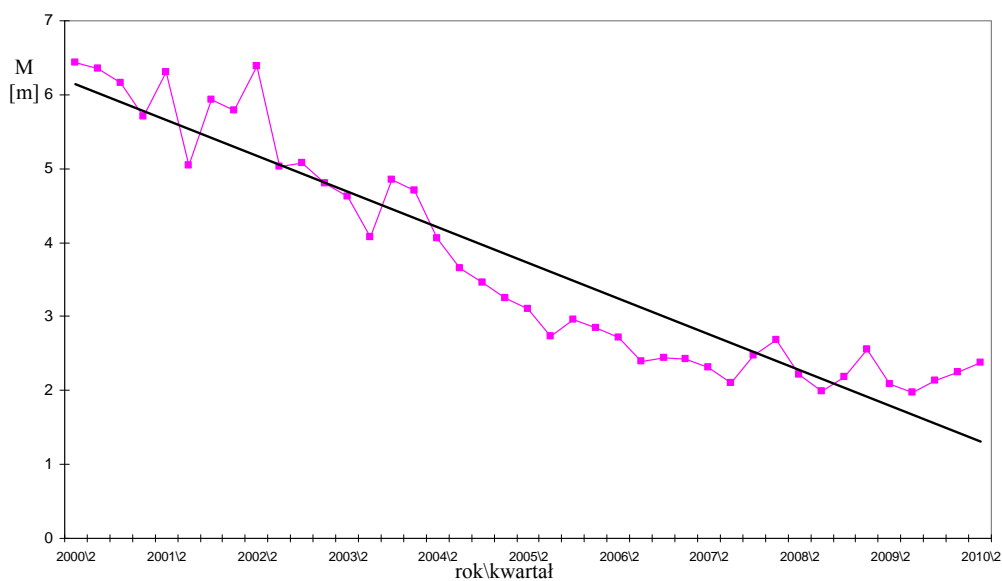
W tabeli 7. zaprezentowano zbiorcze porównanie kolejnych edycji standardów SPS. Analizując zawarte w niej zestawienie, należy zauważyć zdecydowany wzrost gwarantowanej dokładności zarówno horyzontalnej, jak i wertykalnej w warunkach wyłączanej SA. Dodatkowo prace modernizacyjne w latach 2001–2008 spowodowały dalszy wzrost gwarantowanej dokładności serwisu o około trzydzieści procent. W nowszych wersjach standardu wyróżniono dwie miary dokładności: globalną i dla najgorszej lokalizacji. Pozwalają one na szersze zrozumienie dokładności serwisu, która nie

jest jednakowa dla całej strefy działania serwisu. W najgorszej lokalizacji serwis zapewnia obecnie ponad dwukrotnie mniejszą dokładność w stosunku do średniej globalnej.

Tabela 7. Zestawienie porównawcze kolejnych wersji standardów SPS

Miary dokładności	SPS 1993/1995	SPS 2001	SPS 2008
dokładność globalna p = 0.95			
horyzontalna	≤ 100 m	≤ 13 m	≤ 9 m
wertykalna	≤ 156 m	≤ 22 m	≤ 15 m
dokładność w najgorszej lokalizacji p = 0.95			
horyzontalna	≤ 100 m	≤ 36 m	≤ 17 m
wertykalna	≤ 156 m	≤ 77 m	≤ 37 m
URE	brak	≤ 6 m RMS (dla całej konstelacji)	≤ 7.8 m 95%, (dla najgorszego satelity odpowiednik 4.0 RMS)

Faktyczną dokładność SPS GPS można analizować na podstawie kwartalnych danych zbieranych przez ośrodki badawcze Federal Aviation Administration [3]. Rysunek 2. przedstawia wyniki tych obserwacji od 2000 roku (od momentu wyłączenia SA) wraz z tendencją zmiany dokładności określenia pozycji w płaszczyźnie horyzontalnej.



Rys. 2. Tendencja zmiany globalnej dokładności horyzontalnej SPS po 1 maja 2000 r. (p = 0.95)

Źródło: *Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Performance Analysis Reports, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, 2000–2010.*

Z wykresu wynika wyraźnie, że faktyczna dokładność otrzymywanej pozycji jest lepsza niż gwarantowana przez standard. Dzieje się tak, ponieważ przed publikacją kolejnej wersji standardu miały miejsce prace modernizacyjne segmentów kontrolnego i kosmicznego.

WNIOSKI

Analiza porównawcza standardów SPS systemu GPS prowadzi do następujących konkluzji:

1. Wraz z wyłączeniem SA znacząco wzrosła dokładność pozycji SPS.
2. Wzrost dokładności SPS uzyskiwany jest dzięki systematycznej modernizacji segmentów kontrolnego i kosmicznego.
3. Gwarantowane obecnie charakterystyki pracy SPS dotyczą jedynie właściwości funkcjonowania segmentu kontrolnego i segmentu kosmicznego.
4. Dokładność pozycji odbiornika nie zależy jedynie od parametrów SPS, lecz również od błędów, których źródłem jest segment użytkownika.
5. Dokładność określenia pozycji odbiornika zależy między innymi od liczby użytych satelitów, ich położenia względem odbiornika, zastosowanego w odbiorniku rozwiązania technicznego i warunków środowiska, w jakich pracuje.
6. Wraz z wyłączeniem SA główną miarą określającą dokładność serwisu jest dokładność przewidywalna (średnia globalna lub dla najgorszej lokalizacji). Dokładność powtarzalna i względna nie są już wykorzystywane w standardzie jako charakterystyki SPS.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chen K., Gao Y., *Ionospheric Effect Mitigation for Real-Time Single-Frequency Precise Point Positioning*, 'Navigation', 2008, Vol. 55, No 3 Fall, pp. 205–213.
- [2] Creel T., Dorsey A. J., Mednicki P. J., Little J., Mach R. G., Renfro B. A., *New, Improved GPS*, 'GPS World', 2006, March, pp. 20–31.
- [3] *Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Performance Analysis Reports*, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City, 2000–2010.

- [4] *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, United States of America Department of Defense, October 2001.
- [5] *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, 4th Edition, United States of America Department of Defense, September 2008.
- [6] *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification*, United States of America Department of Defense, November 1993.
- [7] *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification*, 2nd Edition, United States of America Department of Defense, June 1995.
- [8] Heister H., Heunecke O., Pflugmacher A., *Investigation to the Accuracy of handheld Garmin GPS Receivers*, 'European Journal of Navigation', 2009, Vol. 7 No 3 December, pp. 11–17.
- [9] Marquis W., *Increased Navigation Performance from GPS Block IIR*, 'Navigation', 2003–2004, Vol. 50, No 4, Winter, pp. 219–233.
- [10] Marquis W., *M is for Modernization*, 'GPS World', 2001, September, pp. 36–42.
- [11] Milbert D., *Dilution of Precision Revisited*, 'Navigation', 2008, Vol. 55, No 1, Spring, pp. 67–81.
- [12] Morton Y. T., Grass F., Zhou Q., Herdtner J., *Assessment of the Higher Order Ionosphere Error on Position Solutions*, 'Navigation', 2009, Vol. 56, No 3, Fall, pp. 185–193.
- [13] Ochieng W. Y., Sauer K., Cross P. A., Sheridan K. F., Iliffe J., Lannelongue S., Ammour N., Petit K., *Potential Performance levels of a combined Galileo/GPS Navigation System*, 'Journal of Navigation', 2001, Vol. 54, No 2, pp. 185–197.
- [14] *Statement by the President regarding the United States decision on the Global Positioning System accuracy*, Office of the Press Secretary, White House Press Release, 1 May 2000.
- [15] Rife J., Sen S., *Limits of Linear, Single-Frequency Filter Design for Minimizing Ionosphere Divergence Error*, 'Navigation', 2009, Vol. 56, No 2, September, pp. 123–134.
- [16] Tiberius C., *Handheld GPS Receiver Accuracy*, 'GPS World', 2003, February, pp. 46–50.
- [17] Tytgat L., *Galileo and GPS Friends or Foes?*, 'GPS World', 2001, September, pp. 44–45.

COMPARATIVE EVALUATION OF GPS SPS STANDARDS FOR ACCURACY IN FIXING POSITION

ABSTRACT

The article is focused on different approaches to the GPS Standard Positioning Service (SPS) accuracy guaranteed by the U.S.A. government. The article presents changing accuracy metrics used in subsequent editions of GPS SPS specifications. The article ends up with a comparison of accuracy standards and general conclusions on GPS SPS accuracy.

Keywords:

GPS, Standard Positioning Service, SPS, position fixing accuracy measures.