Biuletyn WAT
Vol. LXVII, Nr 1, 2018

Tanie odbiorniki GNSS w systemach synchronizacji czasu

GRZEGORZ CZOPIK, TOMASZ KRASZEWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,
ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa,
grzegorz.czopik@wat.edu.pl; tomasz.kraszewski@wat.edu.pl

Streszczenie. Odbiorniki systemów GNSS (GNSS — ang. *Global Navigation Satellite Systems*) mogą być wykorzystane do dokładnego znakowania czasem. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań tanich modułów GNSS. Cena pojedynczego modułu wraz z anteną nie przekroczyła 100 złotych. Badania przeprowadzono pod kątem zastosowania odbiorników w układach synchronizacji czasu. Użyto trzech jednakowych modeli odbiorników GPS wyposażonych przez producenta w wyjścia 1PPS (1PPS — ang. *1 Pulse Per Second*). Scharakteryzowano podstawowe parametry czasowe impulsów 1PPS, zmierzono odstępy czasowe pomiędzy impulsami dla poszczególnych par odbiorników. Pomiarów dokonano metodą oscyloskopową oraz za pomocą precyzyjnego miernika czasu i częstotliwości T3200U.
Słowa kluczowe: synchronizacja czasu, 1PPS, GNSS, czas GPS.
DOI: 10.5604/01.3001.0011.8035

1. Wstęp

W obecnych czasach trudno sobie wyobrazić pozycjonowanie obiektów inne niż przy udziale odbiorników systemów satelitarnych GNSS. Z punktu widzenia przeciętnego użytkownika ich zastosowania kończą się zazwyczaj na wyznaczeniu pozycji, wysokości i prędkości. Okazuje się jednak, że wspomniane odbiorniki mogą być wykorzystane do dokładnego znakowania czasem procesów zachodzących w różnych punktach, odseparowanych od siebie przestrzennie, np. w systemach lokalizacji bazujących na pomiarze różnic czasów odbioru sygnałów lub w układach jednoczesnego wyzwalania określonych działań. Ponieważ na rynku dostępne są urządzenia specjalizowane pod kątem pomiaru czasu, istnieje możliwość uzyskania

potencjalnie dużej dokładności ich wzajemnej synchronizacji (rzędu kilkunastu–kilkudziesięciu nanosekund). Są to jednak urządzenia stosunkowo drogie. W wielu zastosowaniach rozbieżności pomiaru czasu na poziomie kilkudziesięciu, a nawet kilkuset nanosekund są do przyjęcia. Z punktu widzenia systemów wykorzystujących falę elektromagnetyczną błąd pomiaru czasu o wartości 100 ns przenosi się na błąd pomiaru odległości równy 30 metrów. Jednak dla systemów pomiaru dźwięku ta sama wartość błędu pomiaru czasu to jedynie $34 \cdot 10^{-6}$ błędu pomiaru odległości! Ponieważ zakup tanich modułów GNSS (których cena, wraz z zewnętrzną anteną, nie przekracza sumy 100 złotych) nie stanowi problemu nawet dla konstruktora hobbysty, postanowiono bliżej przyjrzeć się ich właściwościom. Oprócz dostępu do danych poprzez protokół NMEA0183, można uzyskać na wyjściu odbiornika fizyczny impuls prostokątny 1PPS zsynchronizowany z czasem GPS. W związku z powyższym zdecydowano się na obserwację powtarzalności pojawiania się tychże impulsów w badanych odbiornikach.

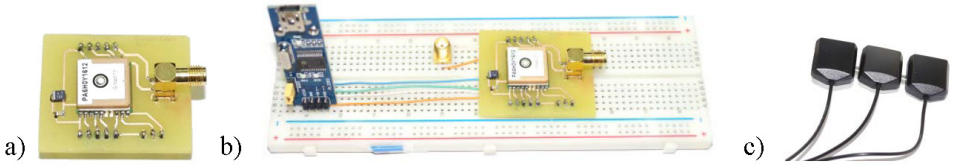
2. Obszar i metodyka badań

2.1. Przedmiot badań

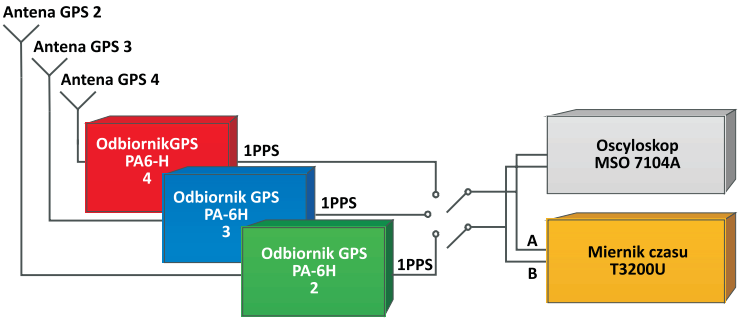
Badaniom podlegały trzy sztuki modułów odbiorczych systemu GPS PA-6H firmy GlobalTop. Są to urządzenia przygotowane do montażu powierzchniowego, konieczne było więc zaprojektowanie i wykonanie odpowiednich płytek PCB z możliwością zamontowania gniazd antenowych. Dzięki wlutowanym złączom wielostykowym układ został wpięty w uniwersalną płytkę stykową. Na jednym z wyjść układu dostępny jest sygnał 1PPS, który podlegał badaniom. Użyte zewnętrzne anteny aktywne to modele GPS316K-S3-01-A o napięciu zasilania 3 V z dołączonym trzymetrowym kablem zakończonym męskim złączem SMA. Zmontowany moduł przygotowany do badań oraz anteny pokazano na rysunku 1. Odczyt danych z układu zrealizowano za pomocą interfejsu RS-232 przy wykorzystaniu protokołu NMEA0183. Do sterowania układem wykorzystano komendy PMTK [1]. Do odczytu stanu i przeprowadzenia wstępnych ustawień badanych modułów wykorzystano aplikację firmową miniGPS oraz sporadycznie terminal do komunikacji przez łącze RS-232, bowiem nie wszystkie funkcje sterujące zostały udostępnione użytkownikowi w aplikacji producenta.

Badania przeprowadzono w układzie przedstawionym schematycznie na rysunku 2. Do wyjść 1PPS podłączono oscyloskop cyfrowy w celu obserwacji przebiegów czasowych oraz wstępnej oceny wartości opóźnień pomiędzy sygnałami.

Na potrzeby dokładnego pomiaru opóźnień oraz rejestracji serii danych pomiarowych wykorzystano miernik czasu T3200U. Stanowisko badawcze zostało zaprezentowane na rysunku 3.



Rys. 1. Elementy układu pomiarowego: a) zmontowany moduł PA-6H; b) układ na płytce stykowej; c) anteny



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego

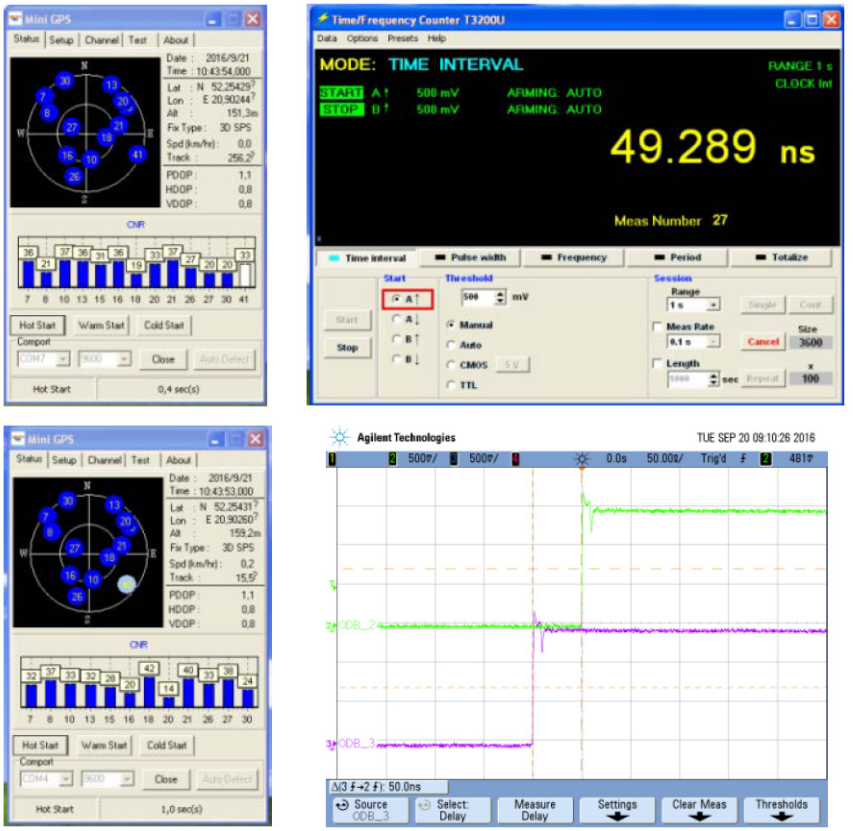
Rys. 3. Stanowisko badawcze

Należy podkreślić, że warunki pracy urządzeń na tym etapie badań były trudne, gdyż anteny odbiorników GPS zainstalowane zostały w pobliżu ściany budynku, uniemożliwiając optymalny odbiór sygnałów. W przyszłości planowane jest przeprowadzenie rozszerzonych badań w terenie otwartym.

2.2. Metodyka badań

Zasadniczym celem przeprowadzonych badań był pomiar opóźnień czasowych pomiędzy impulsami 1PPS dostępnymi na wyjściach poszczególnych odbiorników. Sterowanie odbywało się poprzez przeznaczone do tego aplikacje (rys. 4). Jednoczesna obserwacja wszystkich sygnałów i estymacja opóźnień były możliwe jedynie

za pomocą metody oscyloskopowej (oscyloskop czterokanałowy). Wprawdzie pomiary opóźnień realizowane były automatycznie i jednocześnie dla wszystkich par odbiorników, nie było jednak możliwości ich automatycznej akwizycji. Istniały także obawy co do dokładności pomiaru czasu tą metodą (jak wykazały pomiary, była ona zadowalająca).



Rys. 4. Okna programów sterowania pracą odbiorników i miernika czasu oraz zobrazowanie oscyloskopowe

W celu otrzymania maksymalnie wiarygodnych i dokładnych wyników oraz uzyskania możliwości ich zapisania i zobrazowania w kolejnym etapie przetwarzania sygnałów, posłużono się miernikiem czasu T3200U o dużej dokładności. Ponieważ dysponuje on jedynie dwoma wejściami, podczas realizacji pomiarów zawsze jeden z odbiorników traktowany był jako źródło sygnału odniesienia. Pomiarów dokonano dla wszystkich par na zasadzie „każdy z każdym". W związku z powyższym rzeczywistym przedmiotem badań był stopień niezgodności czasów generacji sygnałów 1PPS bez jawnego odwoływania się do osi czasu GPS. Oznacza to, że ocenie podlegał

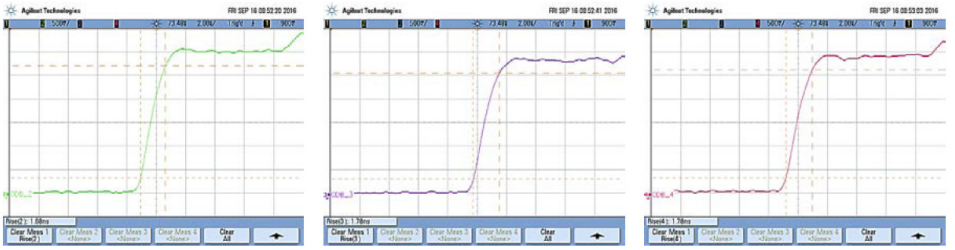
stopień desynchronizacji pomiędzy urządzeniami, który wpływa na możliwość zastosowania układów (bądź nie) w projektowanych systemach. Pomiary bezwzględne wymagałyby wykorzystania symulatora sygnałów GPS z wyjściem 1PPS.

3. Wyniki badań

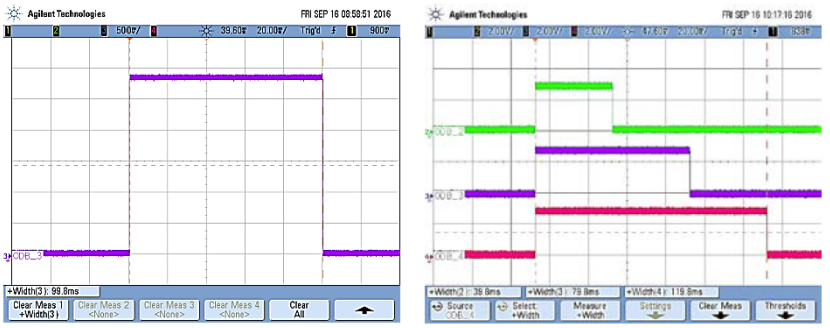
3.1. Ocena kształtu i powtarzalności impulsów 1PPS

Z punktu widzenia dokładności pomiaru czasu duże znaczenie ma kształt impulsu, a w szczególności nachylenie jego zbocza narastającego.

Na podstawie pomiarów stwierdzono, że istniała duża powtarzalność kształtu oraz czasu narastania impulsów 1PPS we wszystkich odbiornikach. Jego wartość oszacowano na poziomie 1,7÷1,8 ns (rys. 5).



Rys. 5. Pomiar czasu narastania impulsów 1PPS badanych odbiorników



Rys. 6. Pomiar czasu trwania impulsów 1PPS: a) parametry domyślne ti = 100 ms; b) ti = 40, 80 i 120 ms

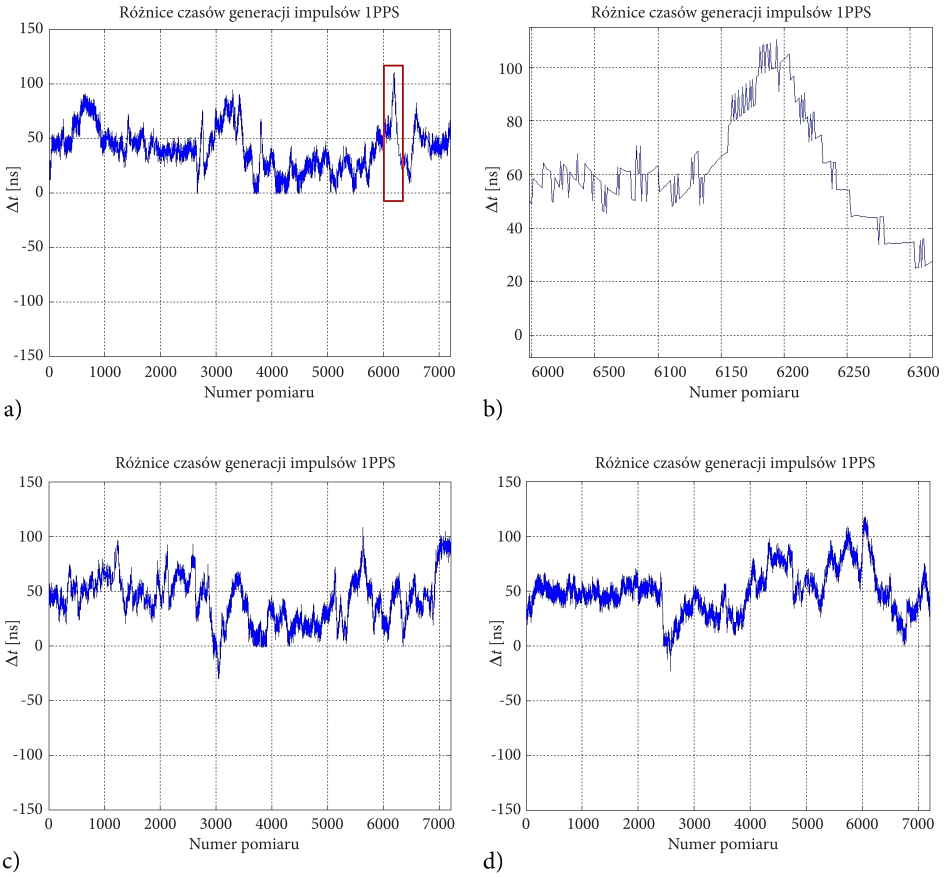
Mimo że producent nie przewiduje w oprogramowaniu zmiany parametrów impulsów, to w rzeczywistości jest to możliwe. W zależności od aplikacji, w jakiej moduły odbiorcze będą użyte, istnieje możliwość dostosowania czasu trwania impulsów 1PPS do własnych potrzeb. Domyślnie jest to wartość 100 ms, jednak

jak pokazano na rysunku 6, można uzyskać inne wartości. Ograniczeniem od dołu w badanych egzemplarzach jest wartość 125 μs.

3.2. Badanie opóźnień czasowych

Analiza danych zarejestrowanych w sesjach pomiarowych jedno- lub dwugodzinnych polegała na zobrazowaniu graficznym i analizie różnic czasowych pomiędzy wystąpieniami impulsów 1PPS na wyjściach poszczególnych odbiorników. Celem badań nie było ustalenie źródeł, ale oszacowanie wartości błędów.

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki badań realizowanych przez kolejne trzy dni dla poszczególnych par odbiorników nazwanych ODB_2, ODB_3 i ODB_4.

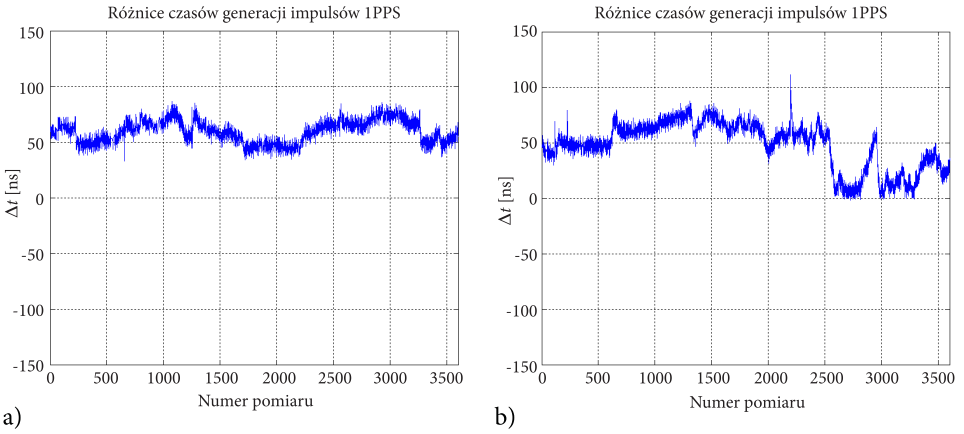


Rys. 7. Pomiar opóźnień impulsów 1PPS: a, b) ODB_3–ODB_2; c) ODB_3–ODB_4; d) ODB_4–ODB_2

Pomiary każdego dnia zaczynały się o godz. 9.11 i trwały 2 godziny. Wykres 7b przedstawia powiększony fragment zobrazowania 7a.

Na podstawie wykresów z rysunku 7 można stwierdzić, że błąd wzajemnej desynchronizacji poszczególnych par modułów rozpatrywany długoterminowo (2 godziny) nie przekroczył poziomu 120 ns.

Zmiany wartości opóźnień nie następowały w sposób gwałtowny, miały raczej charakter „pływający". Pomiary przedstawione na zobrazowaniach stanowią jedynie wycinek badań, jednak doświadczenia przeprowadzone w innych godzinach dawały podobne rezultaty. Na rysunku 8 przedstawiono dwie serie pomiarowe wykonywane około godziny 11.00 (przez dwa kolejne dni) w czasie 60 minut dla par odbiorników ODB_3– ODB_2 i ODB_3–ODB_4.



Rys. 8. Pomiar opóźnień impulsów 1PPS: a) ODB_3–ODB_2; b) ODB_3– ODB_4

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań tanich modułów odbiorników GPS pod kątem dokładności synchronizacji czasu. Na ich podstawie można stwierdzić, że dostępne fizyczne sygnały 1PPS pojawiają się na ich wyjściach „jednocześnie" z błędem nieprzekraczającym w prowadzonych doświadczeniach wartości 120 ns. Aby wyciągnąć bardziej szczegółowe wnioski, konieczne jest rozszerzenie zakresu badań poprzez zastosowanie dłuższych sesji pomiarowych. Należy również rozważyć przeprowadzenie serii badań w zdecydowanie lepszych warunkach propagacyjnych (w terenie otwartym).

Podziękowania
Autorzy składają serdecznie podziękowania na ręce Pana dr. hab. inż. Ryszarda Szpleta z Zakładu Techniki Cyfrowej Instytutu Telekomunikacji Wydziału Elektroniki WAT za udostępnienie do badań miernika czasu T3200U.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na XI Konferencji Naukowo-Technicznej „Systemy rozpoznania i walki radioelektronicznej", Ołtarzew, 22.11.2016 r.

Źródło finansowania pracy — środki własne autorów.

Artykuł wpłynął do redakcji 26.05.2017 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 8.03.2018 r.

LITERATURA

[1] FGPMMOPA6H GPS Standalone Module Data Sheet, Revision: V0A, GlobalTop Technology Inc., 2011.
[2] GlobalTop MT3339 PMTK command packet, GlobalTop Tech Inc., 2015.
[3] ThunderBolt GPS Disciplined Clock User Guide, Version 5.0, Trimble Navigation Limited, 2003.

G. CZOPIK, T. KRASZEWSKI

Low cost GNSS receivers in time synchronization systems

Abstract. The GNSS (GNSS — Global Navigation Satellite Systems) receivers can be utilized to obtain accurate time markers. The preliminary results of the cheap GNSS receivers' tests are presented in the paper. The one receiver's price (including antenna) does not exceed 30 $. The studies on the use of receivers in the time synchronization systems were executed. Three identical models of receiver modules were used. The 1PPS (1PPS — 1 Pulse Per Second) signals available on the receiver's output were used. The 1PPS's main time characteristics were described. Delay times between different receivers 1PPS signals were measured. Measurements were taken using 1 GHz oscilloscope and precise time/frequency counter T3200U.
Keywords: time synchronization, 1PPS, GNSS, GPS time
DOI: 10.5604/01.3001.0011.8035