

Porównanie transferu czasu metodą GPS CV i metodą dwukierunkową z zastosowaniem włókien światłowodowych

Albin Czubla, Roman Osmyk, Piotr Szterk

Główny Urząd Miar, Zakład Elektryczny, Laboratorium Czasu i Częstotliwości

W niniejszym referacie przedstawiono najnowsze wyniki badań prowadzonych w Głównym Urzędzie Miar, we współpracy z Telekomunikacją Polską S.A. i Akademią Górniczo-Hutniczą, badań nad precyzyjną transmisją czasu przez włókna światłowodowe. W wyniku uruchomienia pomiędzy GUM i TP S.A. stałego operacyjnego łącza światłowodowego z zaimplementowaną dwukierunkową metodą transferu czasu i dzięki pozostawieniu, jako metody zapasowej, metody GPS CV prowadzone są ciągłe porównania wyników pomiarów uzyskanych z obu tych metod. Pozwala to na stałą weryfikację i dodatkową ocenę dokładności metody GPS CV, która pozostaje metodą podstawową w przypadku pozostałych łączy do transferu czasu pomiędzy GUM a instytucjami uczestniczącymi w ciągłych krajowych porównaniach atomowych wzorców czasu i częstotliwości. Badania te są również bardzo ważne w perspektywie planów tworzenia krajowej światłowodowej sieci porównań zegarów atomowych.

Comparison of time transfer with usage of GPS CV method and two-directional method with application of optical fibers

In this paper there are presented the newest results of investigation carried on at the Central Office of Measures (GUM – Główny Urząd Miar) in cooperation with the Polish Telecom (TP S.A. – Telekomunikacja Polska S.A.) and AGH Technical University (AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza), in the scope of precise time transfer over optical fibers. Since December 2008, the permanent operational optical link with implemented two-directional time transfer method has been run between GUM and TP S.A. Due to leaving GPS CV method as a backup, there are carried on continuous comparisons of measurement results obtained with the use of both methods. This allows to verify continuously the accuracy of the GPS CV method, which is the basic method of the time transfer in the case of the remaining time transfer links between GUM and the institution participating in continuous national comparisons of atomic time and frequency transfer. The obtained metrological characteristics of the two-directional time transfer over optical fibers are much better than in the case of GPS CV method. It was confirmed that the instability of internal delay in GPS CV time transfer system is due to different types of GPS antennas and types of internal conditioning. The optical method can be used for remote calibration of GPS CV time transfer systems. Such investigations are also very important in the context of creation of the national optical fiber net of atomic clock comparisons.

1. Wstęp

Uruchomienie od grudnia 2008 roku operacyjnego łącza światłowodowego pomiędzy Głównym Urzędem Miar (GUM) i Telekomunikacją Polską S.A. (TPSA), wykorzystujące dwukierunkową transmisję sygnałów czasu było poprzedzone prawie 3-letnim okresem różnorodnych testów i prób nad precyzyjną transmisją czasu przez włókna światłowodowe [1-2]. Dzięki równoległemu pozostawieniu, jako metody zapasowej, metody GPS CV prowadzone są ciągłe porównania wyników pomiarów uzyskanych z obu tych metod. Pozwala to na dokonanie weryfikacji i dodatkowej oceny dokładności metody GPS CV.

2. Metoda GPS CV (Common-View)

Przy wykorzystaniu do transferu czasu jednoczesnej obserwacji, prowadzonych przez różne laboratoria, tych samych satelitów systemu GPS, redukuje się stosunkowo mało dokładny czas realizowany na danym satelicie i uzyskuje z dużą dokładnością różnicę wskazań $z_1 - z_2$ odległych nawet zegarów

$$z_1 - z_2 = \{Zeg_1 - GPS\}_{Lab_1} - \{Zeg_2 - GPS\}_{Lab_2} \quad (1)$$

Znajomość dokładnej pozycji anteny oraz opóźnień wnoszonych przez poszczególne elementy systemu pozwala na uzyskanie różnicy porównywanych zegarów (skal czasu) na poziomie niepewności standardowej ok. 5 ns.

3. Dwukierunkowa transmisja czasu poprzez włókna światłowodowe

Istotą dwukierunkowej transmisji czasu poprzez włókna światłowodowe jest przesyłanie przez tę samą linię światłowodową, ale w przeciwnych kierunkach, sekundowych sygnałów czasu z dwu zegarów, znajdujących się na przeciwległych końcach linii. Różnica wskazań porównywanych zegarów, przy znajomości opóźnień Op_1 i Op_2 wnoszonych przez układy przetwarzające i doprowadzające sygnały sekundowe na wejścia czasomierzy wyznaczana jest wg wzoru:

$$z_1 - z_2 = \frac{TIC(1) - TIC(2)}{2} - \frac{Op_1 - Op_2}{2} \quad (2)$$

gdzie: z_1, z_2 – wskazania zegarów, $TIC(1), TIC(2)$ – wskazania czasomierzy, Op_1, Op_2 – opóźnienia.

Zaletą tej metody jest wysoka jej precyzja, stabilność opóźnień urządzeń i układów umieszczonych po obu końcach linii, oraz szybkość uzyskania wiarygodnego wyniku pomiaru (wystarczy kilkusekundowy wspólny pomiar na obu końcach linii). Wadą jej z kolei jest m.in. konieczność wzmacniania sygnałów optycznych przy transmisji na większe odległości, powyżej 100 km, czy dyspersja chromatyczna.

4. Porównanie obu metod

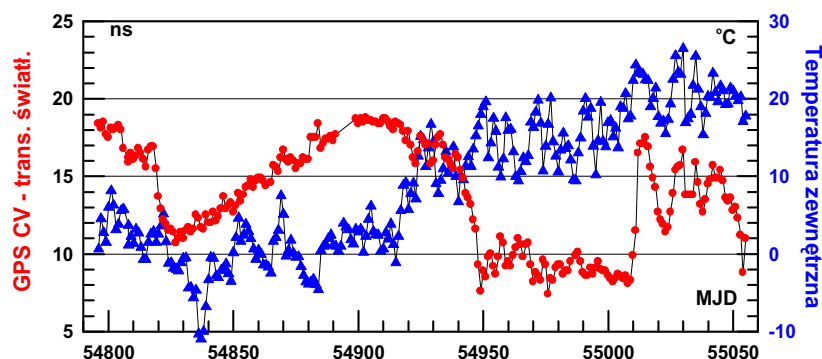
Wspólne pomiary były prowadzone od grudnia 2008 do sierpnia 2009. W przypadku metody GPS CV pomiary były rejestrowane co 16 minut, a w przypadku dwukierunkowej transmisji czasu przez światłowód – co 15 minut.

5. Kalibracja

Przy kalibracji systemu do dwukierunkowej transmisji czasu przez światłowód, tzn. wyznaczaniu opóźnień transmisji impulsowego sygnału elektrycznego i optycznego, łącznie uzyskano niepewność rozszerzoną kalibracji na poziomie ok. 0,6 ns (przy poziomie ufności ok. 95 %), podczas gdy przy kalibracji systemów do transferu czasu metodą GPS CV typowo uzyskuje się niepewność rozszerzoną co najmniej równą 10 ns.

6. Wyniki pomiarów

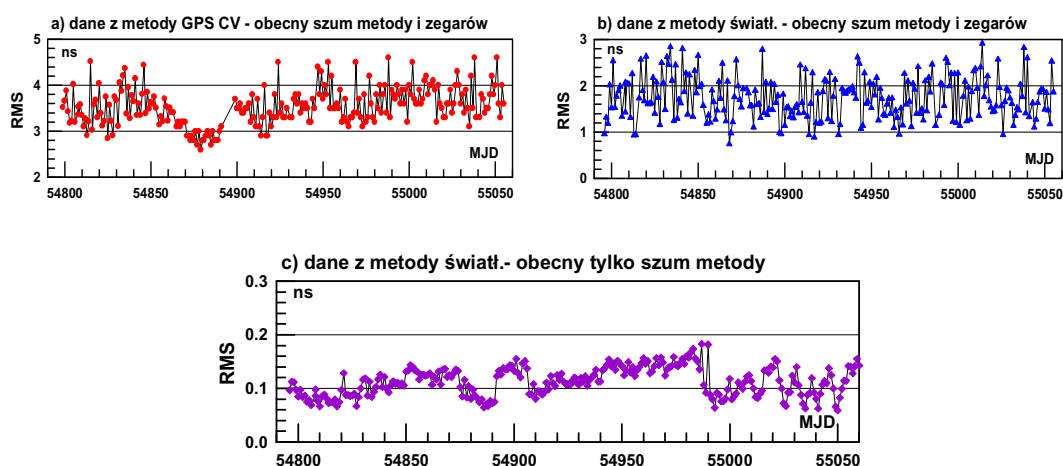
Różnice wyników pomiarów UTC(PL)-ZGO uzyskanych obu metodami na przestrzeni 9-ciu miesięcy obserwacji wahają się w granicach od 7,4 ns do 18,8 ns (rys. 1).



Rys. 1. Różnice średnich dobowych wartości UTC(PL)-ZGO uzyskanych z metody GPS CV i metody światłowodowej (krzywa z punktami) w porównaniu ze średnimi dobowymi wartościami temperatury zewnętrznej (krzywa z trójkątami). MJD oznacza zmodyfikowany dzień juliański (Modified Julian Date)

Obserwowany zakres zmian tej różnicy (11,4 ns) wynika prawdopodobnie z zastosowania różnego typu anten GPS i różnego sposobu stabilizacji ich temperatury. Wpływ mogą mieć też wahania temperatury w pomieszczeniach z badanymi systemami do transferu czasu.

Analiza dopasowania prostych regresji przy wyliczaniu średnich dobowych pozwala wyznaczyć szum wnoszony przez poszczególne metody (rys. 2). Przyjmując RMS, pierwiastki ze średnich błędów kwadratowych wyliczonych dla danych pomiarowych za miarę szumu, wyraźnie widoczne jest, że największy szum występuje w metodzie GPS CV i szum samej metody (ok. 2 ns) jest porównywalny z szumem zegara ZGO względem UTC(PL) (również ok. 2 ns), natomiast w przypadku porównań światłowodowych szum samej metody typowo nie przekracza 0,2 ns.



Rys. 2. Pierwiastek ze średnich błędów kwadratowych (RMS) dopasowania prostych regresji przy wyliczaniu średnich dobowych UTC(PL)-ZGO dla danych z metody GPS CV (a) i z metody światłowodowej (b) oraz przy wyznaczaniu wartości opóźnienia linii światłowodowej (c)

7. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że dwukierunkowa transmisja sygnałów czasu poprzez światłowód jest bardzo perspektywiczną, precyzyjną metodą transferu czasu i może być zastosowana do zdalnej kalibracji i monitorowania opóźnień wewnętrznych systemów do transferu czasu metodą GPS CV, a w przeszłości również i do kalibracji i monitorowania opóźnień wewnętrznych innych satelitarnych metod transferu czasu.

Literatura

- [1] A. Czubla, J. Konopka, M. Górnik, W. Adamowicz, J. Struś, T. Pawszak, J. Romsicki, M. Lipiński, P. Krehlik, Ł. Śliwczyński, A. Wolczko: *Comparison of precise time transfer with usage of multi-channel GPS CV receivers and optical fibers over distance of about 3 km*. Proc. 38th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Time Applications Meeting, Reston, VA, USA, (2006).
- [2] A. Czubla, J. Konopka, M. Górnik, W. Adamowicz, J. Struś, J. Romsicki, M. Lipiński, P. Krehlik, Ł. Śliwczyński, A. Wolczko: *Dwukierunkowa transmisja sygnałów czasu poprzez światłowód*. PAK, 53 bis (2007), nr 9/2007, s. 289-292.