

Albin CZUBLA, Roman OSMYK, Piotr SZTERK

GŁÓWNY URZĄD MIAR, ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa

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

Dr Albin CZUBLA

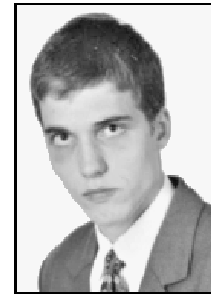
Kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar. Ukończył fizykę na UMCS w Lublinie w 1994 r., doktorat – 1999 r. Zajmuje się metrologią czasu i częstotliwości w zakresie prowadzenia atomowych skal czasu, analizy stabilności sygnałów czasu i częstotliwości, precyzyjnego transferu czasu oraz rozwijania metod pomiarowych i analizy niepewności wyniku pomiaru.



e-mail: timegum@gum.gov.pl

Mgr inż. Piotr SZTERK

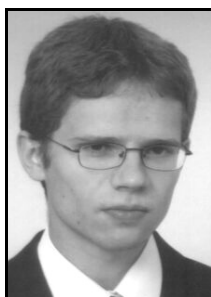
Starszy metrolog w Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar. Studia na kierunku informatyka ukończone w 2008 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Od 2008 r. pracuje w Głównym Urzędzie Miar. Specjalista w dziedzinie utrzymywania atomowych wzorców czasu i częstotliwości. Z zamiłowania elektronik (systemy mikroprocesorowe), akustyk i konstruktor systemów pomiarowych.



e-mail: szterkp@gmail.com

Mgr Roman OSMYK

Starszy metrolog w Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar. Absolwent Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Opolskiego, kierunek: fizyka, specjalność: fizyka doświadczalna - ukończone w 2006 r. Od 2008 r. pracuje w Głównym Urzędzie Miar. Specjalista w dziedzinie utrzymywania atomowych wzorców czasu i częstotliwości.



e-mail: romanosmyk@gmail.com

Keywords: time and frequency metrology, GPS CV method, optical fibers, two-way time transfer.

1. Wstęp

Wykorzystanie włókien światłowodowych na potrzeby precyzyjnego transferu czasu nie jest nowym pomysłem i nowym rozwiązaniem [1-3], natomiast uruchomione od grudnia 2008 roku stałe operacyjne łącze światłowodowe pomiędzy Głównym Urzędem Miar (GUM) i Telekomunikacją Polską (TP), wykorzystujące dwukierunkową transmisję sygnałów czasu, jest pierwszym nam znanym na świecie zastosowaniem połączenia światłowodowego w celu włączenia zegara atomowego do międzynarodowych porównań w ramach tworzenia międzynarodowych atomowych skal czasu UTC i TAI.

Uruchomienie operacyjnego łącza światłowodowego w obecnej postaci było poprzedzone prawie 3-letnim okresem różnorodnych testów i prób nad precyzyjną transmisją czasu przez włókna światłowodowe [4-5], prowadzonych przez GUM we współpracy z TP i AGH (Akademią Górniczo-Hutniczą) w oparciu o skonstruowane i rozwijane przez AGH specjalizowane przetworniki elektryczno-optyczne. 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, która pozostaje metodą podstawową w przypadku pozostałych łącz do transferu czasu pomiędzy GUM a instytucjami uczestniczącymi w ciągłych krajowych porównaniach atomowych wzorców czasu i częstotliwości.

W dalszej części przedstawione zostały najnowsze wyniki badań w tym zakresie oraz najbliższe perspektywy. Zagadnienie to jest bardzo istotne ze względu na zarówno krajowe, jak i europejskie plany tworzenia światłowodowej sieci do precyzyjnych porównań zegarów atomowych i skal czasu [6].

2. Metoda GPS CV

Wykorzystanie do transferu czasu sygnałów satelitów nawigacyjnych systemów satelitarnych, obejmujących swym zasięgiem całą kulę ziemską, jest obecnie najpowszechniej stosowaną w laboratoriach czasu i częstotliwości metodą zdalnych porównań zegarów atomowych i skal czasu. Metoda obserwacji jednoczesnych satelitów systemu GPS (Global Positioning System), zwana metodą GPS CV (Common-View), polega na prowadzeniu obserwacji satelitów GPS, zgodnie z ustalonym wspólnym dla wszystkich laboratoriów harmonogramem śledzeń, i wyznaczaniu chwilowych różnic pomiędzy czasem realizowanym lokalnie przez porównywany zegar lub system a czasem systemu GPS realizowanym na danym satelicie ($\{z - GPS\}_{Lab}$) (rys. 1). Przy zachowaniu warunku jednoczesności, prowadzonych przez różne laboratoria, obserwacji tych samych satelitów systemu GPS można zredu-

Streszczenie

W niniejszym referacie przedstawiono najnowsze wyniki, prowadzonych w GUM we współpracy z TP i AGH, badań nad precyzyjną transmisją czasu przez włókna światłowodowe w oparciu o uruchomione pomiędzy GUM i TP stałe operacyjne łącze światłowodowe z zaimplementowaną dwukierunkową metodą transferu czasu i pozostawioną, jako metodą zapasową, metodą GPS CV. Wykazano, że dwukierunkowa transmisja sygnałów czasu poprzez światłowód może być zastosowana do zdalnej kalibracji i monitorowania opóźnień wewnętrznych satelitarnych systemów do transferu czasu.

Słowa kluczowe: metrologia czasu i częstotliwości, metoda GPS CV, światłowody, dwukierunkowy transfer czasu.

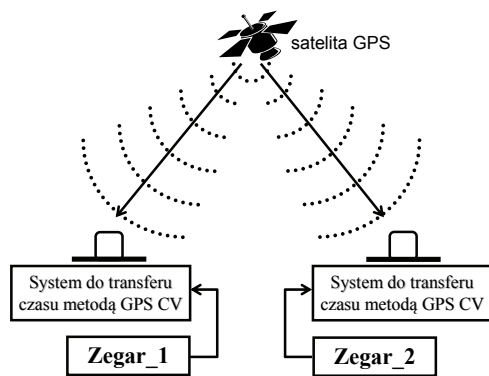
Comparison of time transfer by means of GPS CV and two-way method using optical fibers

Abstract

In this paper there are presented the newest results of investigations carried out at the Central Office of Measures (GUM - Główny Urząd Miar) in cooperation with the Polish Telecom (TP - Telekomunikacja Polska S.A) and AGH University of Science and Technology (AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza) on a precise time transfer using optical fibers [4-5]. Since December 2008 the constant operational optical link with implemented two-way time transfer method has been run between GUM and TP (Fig. 2, Section 3). Due to using GPS CV method (Fig. 1, Section 2) as a backup, there is carried out continuous comparison of measurement results obtained from both two method. It allows constant verification of the accuracy of the GPS CV method which is the basic method for time transfer in the case of the remaining time transfer links between GUM and the other institutions participating in continuous national comparisons of atomic time and frequency standards. The obtained metrological characteristics of the two-way time transfer using optical fibers are much better than in the case of GPS CV method (Figs. 3 and 4, Section 4). There was confirmed the unstability of internal delays in GPS CV time transfer systems [10-11], probably 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 context of planning to create an optical fiber net for atomic clock comparisons [6].

kować stosunkowo mało dokładny czas realizowany na danym satelicie i uzyskać z dużą dokładnością różnicę wskazań: $z_1 - z_2$ odległych nawet zegarów, wykorzystując wzór (1):

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



Rys. 1. Ilustracja metody GPS CV
Fig. 1. Illustration of GPS CV method

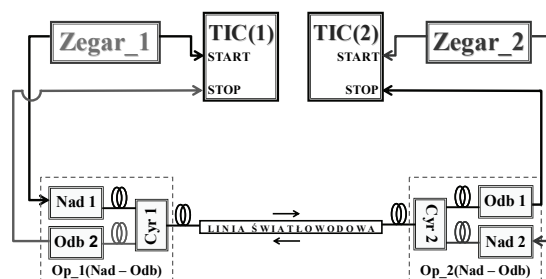
Dokładność tak realizowanego transferu czasu uzależniona jest do jakości zaimplementowanego modelu atmosfery, pozwalającego na wyliczenie opóźnienia sygnału na drodze od satelity do anteny, oraz dokładności wyznaczenia opóźnień wnoszonych przez kable antenowe, kable doprowadzające sygnały odniesienia i wewnętrzne układy pośredniczące w przekazywaniu sygnałów do wewnętrznego czasomierza, który mierzy przedział czasu pomiędzy sygnałem odniesienia a sygnałem uzyskanym z odbiornika GPS, przetwarzającego sygnały odebrane z satelitów. 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. Dominujący udział w tej niepewności wnosi składowa systematyczna.

Zaletą metody GPS CV jest powszechność i łatwość jej zastosowania, łatwość samodzielnej obróbki danych pomiarowych, brak dodatkowych kosztów użytkowania, możliwość jednoczesnego pomiaru z wieloma laboratoriami oraz stosunkowo duży zasięg – jedynym warunkiem jest obserwacja tych samych satelitów w tym samym czasie, dzięki czemu możliwe są porównania tą metodą również pomiędzy Europą a Ameryką. Do jej słabości zaliczyć należy natomiast duże wahania opóźnień poszczególnych elementów systemu w ciągu roku, zwłaszcza opóźnienia wewnętrznego anteny i części kabla antenowego wychodzącego na zewnątrz budynku, większe błędy transferu czasu przy niskiej elewacji obserwowanych satelitów oraz wyraźnie zaznaczający się w wynikach porównań dobowy rytm zmian grubości jonosfery w okresie wschodu i zachodu Słońca niewystarczająco kompensowany zastosowanym modelem.

Odmianą metody GPS CV jest obecnie stosowana w Sekcji Czasu Międzynarodowego Biura Miar (BIPM - Bureau International des Poids et Mesures) do przeliczeń danych pomiarowych, uzyskiwanych z laboratoriów czasu i częstotliwości na całym świecie, metoda GPS AV (All-in-View), która, poprzez zastosowanie złożonych i skomplikowanych obliczeń uwzględniających poprawki na położenia satelitów GPS oraz wyniki pomiarów rzeczywistych opóźnień wnoszonych przez jonosferę, nie wymaga już prowadzenia wspólnych obserwacji, pozwala na odrzucenie z porównań satelitów o niskich elewacjach i umożliwia porównanie zegarów znajdujących się nawet po przeciwnych stronach kuli ziemskiej. Dokładność tej metody pozostaje jednak na podobnym poziomie jak metody GPS CV, ze względu na pozostały dominujący wpływ w niepewności wyniku pomiaru składowych systematycznych o wolnozmiennym charakterze.

3. Dwukierunkowa transmisja czasu poprzez włókna światłowodowe

Zastosowanie włókien światłowodowych do precyzyjnego transferu czasu znajduje się obecnie w obszarze zainteresowań wielu laboratoriów czasu i częstotliwości [7-9] ze względu na bardzo wysoką precyzję transferu czasu w niewielkim stopniu zależną od warunków zewnętrznych. 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 przeciwnych końcach linii (rys. 2).



Rys. 2. Schemat systemu dwukierunkowej transmisji sygnałów czasu
Fig. 2. Diagram of the two-way time transfer system

Zainstalowanie na obu jej końcach precyzyjnych czasomierzy (TIC – Time Interval Counter), które mierzą przedziały czasu pomiędzy sygnałem sekundowym z lokalnego zegara a sygnałem sekundowym ze „zdalnego” zegara, przesyłanym za pośrednictwem linii światłowodowej, pozwala na wyznaczenie różnicy wskazań porównywanych zegarów, pod warunkiem znajomości opóźnień Op_1 i Op_2 wnoszonych przez układy przetwarzające i doprowadzające sygnały sekundowe na wejścia czasomierzy (wzór (2)).

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

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

Nie jest wymagana znajomość opóźnienia wnoszonego przez wspólną, dla transmisji w obu kierunkach, linię światłowodową, ponieważ przy wyznaczaniu różnicy wskazań zegarów opóźnienie to ulega redukcji, istotne są natomiast tylko różnice opóźnień układów optycznych i elektrycznych na obu końcach linii, które można łatwo zmierzyć.

Zaletą tej metody jest wysoka jej precyzja, stabilność opóźnień urządzeń i układów umieszczonych po obu końcach linii, ze względu utrzymywane tam zwykle warunki laboratoryjne (stabilizowana temperatura, kontrolowana wilgotność), minimalizowanie wpływu warunków zewnętrznych (redukowanie opóźnienia linii światłowodowej) oraz szybkość uzyskania wiarygodnego wyniku pomiaru (wystarczy kilkusekundowy wspólny pomiar na obu końcach linii). Wadą jej z kolei jest konieczność wzmocnienia sygnałów optycznych przy transmisji na większe odległości, powyżej 100 km, zmienna temperaturowo dyspersja chromatyczna wnosząca dodatkowe niekompensowane opóźnienia linii światłowodowej, a także możliwość jednoczesnego pomiaru tylko pomiędzy dwoma laboratoriami oraz potencjalnie wysoki dodatkowy koszt związany z ew. doprowadzeniem do danej lokalizacji i użytkowaniem linii światłowodowej.

4. Porównanie obu metod

Prawie 9-cio miesięczny okres prowadzenia nieprzerwanych wspólnych pomiarów pomiędzy zegarem głównym odniesienia TPSA (zwanym dalej ZGO), stanowiącego podstawę synchronizacji częstotliwości sieci telekomunikacyjnej w Polsce, a skalą czasu

UTC(PL), stanowiącą główną polską realizację międzynarodowego czasu koordynowanego UTC i podstawę do wyznaczania czasu urzędowego w Polsce, za pomocą systemów do transferu czasu metodą GPS CV oraz systemu do dwukierunkowej transmisji czasu przez światłowód pozwala na porównanie charakterystyk metrologicznych tych metod. Wspólne pomiary były prowadzone od grudnia 2008 do sierpnia 2009. W przypadku metody GPS CV pomiary były rejestrowane co 16 min, a w przypadku dwukierunkowej transmisji czasu przez światłowód – co 15 minut.

4.1. Kalibracja

Operacyjne uruchomienie systemu do dwukierunkowej transmisji czasu przez światłowód zostało poprzedzone wykonaniem kalibracji urządzeń końcowych, tzn. wyznaczeniem w części „optycznej” opóźnień transmisji impulsowego sygnału elektrycznego od wejścia na nadajniki (przetworniki elektryczno-optyczne) sygnałów optycznych do wyjść transmisyjnych z cyrkulatorów. Dodatkowo wykonane zostały pomiary i obliczenia sumarycznych opóźnień wnoszonych przez część „elektryczną” przy transmisji impulsowych sygnałów sekundowych od punktu definicyjnego UTC(PL) i punktu definiującego skalę czasu realizowaną przez ZGO do wejść na nadajniki optyczne i na wejścia START czasomierzy oraz od wyjść odbiorników sygnału optycznego do wejść STOP czasomierzy. Łącznie uzyskano niepewność kalibracji na poziomie ok. 0,6 ns (niepewność rozszerzona 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.

Na stosunkowo dużą wartość niepewności poprawki kalibracyjnej w przypadku metody GPS CV dominujący wpływ mają wolnozmiennne czynniki systematyczne o charakterze sezonowym (wahania roczne temperatury), natomiast czynniki przypadkowe (składowe niepewności wyznaczone metodą typu A) mają w przybliżeniu stałą wartość równą 1-2 ns. [10, 11]. Związane jest to głównie z wpływem zmiennych warunków zewnętrznych na opóźnienia wnoszone przez elektronikę anteny GPS i końcową część kabla antenowego, które znajdują się na zewnątrz budynku, oraz skutecznością układów termostabilizacji anteny.

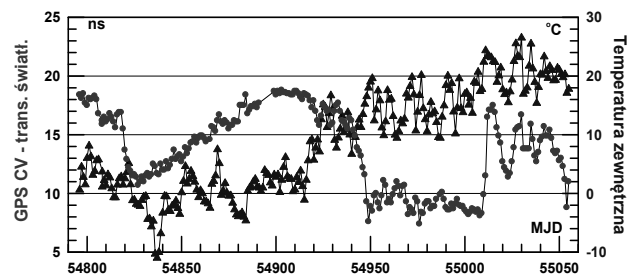
Zgodnie z wcześniejszymi wynikami badań przyjęto, że przy dwukierunkowej transmisji optycznej, na rozważanym odcinku długości ok. 3 km, nieskompensowane efekty systematyczne nie przekraczają wartości ok. 0,2 ns [5]. Ostatnie badania wykonywane przez AGH, w oparciu o udoskonalone przetworniki elektryczno-optyczne ze stabilizowaną długością fali na poziomie 1 pm i z dodatkowym układem stabilizacji temperatury umieszczonej w przetworniku optoelektroniki, wykazują, że efekty systematyczne przy transmisji dwukierunkowej nie powinny przekraczać ok. 30 ps/100 km [12].

4.2. Wyniki pomiarów

Różnice wyników pomiarów UTC(PL)-ZGO uzyskanych z obu metod na przestrzeni 9-ciu miesięcy obserwacji wahają się w granicach od 7,4 ns do 18,8 ns (rys. 3).

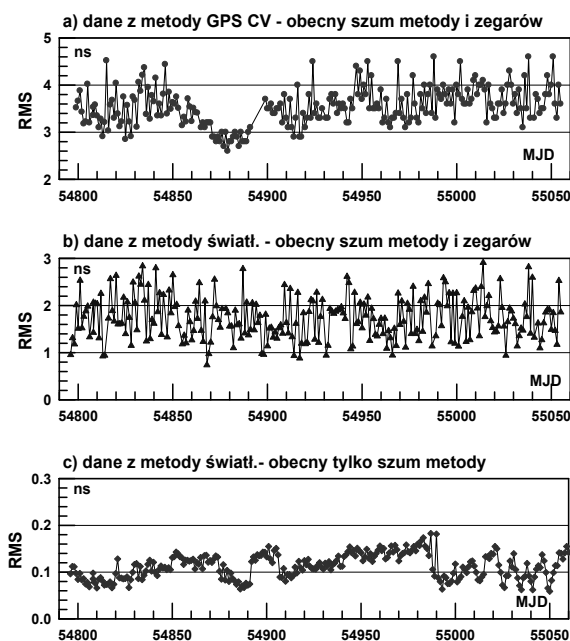
Obserwowany zakres zmian tej różnicy (11,4 ns) jest zgodny z szacunkową stabilnością poprawek kalibracyjnych systemów transferu czasu metodą GPS CV [10,11] i wynika prawdopodobnie z zastosowania różnego typu anten GPS i różnego sposobu stabilizacji ich temperatury w przypadku obu systemów transferu czasu metodą GPS CV. Jedną z tych anten posiadała tylko układ podgrzewający elektronikę do temperatury ok. 50 °C i nie była wyposażona w specjalnie izolowaną termicznie obudowę, podczas gdy druga antena miała podwójny system termostabilizacji, chłodzący w razie potrzeby dodatkową obudowę do temperatury ok. 25 °C i stale podgrzewający układy wewnętrzne anteny do temperatury ok. 50 °C, oraz grubą warstwę izolacji termicznej oddzielającej dodatkową obudowę od jej właściwych układów wewnętrznych. Przy zastosowaniu anten tego samego typu wahania powinny być znacznie mniejsze. Natomiast wyjaśnienie przyczyn ob-

serwowanego wpływu temperatury na wyznaczaną różnicę, o charakterze okresowo korelacji dodatniej i ujemnej, wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań i szerszej analizy z uwzględnieniem zakresu wahań temperatury w obrębie doby i bezwładności termicznej poszczególnych elementów anten. Istotny wpływ mogą mieć również wahania temperatury w pomieszczeniach, gdzie są zainstalowane badane systemy do transferu czasu.



Rys. 3. 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)

Fig. 3. Differences between 24-hour average values of UTC(PL)-ZGO obtained from GPS CV method and fiber transmission method (the curve with dots) in comparison with 24-hour average values of external temperature (the curve with triangles)



Rys. 4. 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 średnich dobowych wartości opóźnienia linii światłowodowej (c)

Fig. 4. Root mean squared errors (RMS) of regression line fitting for calculation 24-hour average values of UTC(PL)-ZGO for measurement data obtained from GPS CV method (a) and optical fiber method (b) as well as for calculation of 24-hour average values of optical line delay (c)

Analiza dopasowania prostych regresji przy wyliczaniu średnich dobowych pozwala wyznaczyć szum wnoszony przez poszczególne metody. Na rysunku 4. przedstawiono pierwiastki ze średnich błędów kwadratowych (RMS) wyliczonych dla danych pomiarowych uzyskanych z rozważanych metod. Przyjmując RMS 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 z dwukierunkową transmisją sygnałów czasu

szum samej metody typowo nie przekracza 0,2 ns. Przy analizie danych pomiarowych okazało się, że obserwowane wstępnie przypadki „pozornie” zwiększonego szumu metody światłowodowej są artefaktem związanych z przesunięciem o kilka pozycji kolumn porównywanych danych. Ze względu jednak na dominującą tu szum zegarów, nie ma to większego wpływu na wartość różnicy UTC(PL)-ZGO, ale dzięki wyliczeniu kontrolnemu wartości RMS dopasowania prostej regresji do cząstkowych wartości opóźnienia linii światłowodowej, można w ten sposób monitorować spójność uzyskiwanych tą metodą wyników pomiarów.

Uzyskany w metodzie światłowodowej szum na poziomie poniżej 0,2 ns odpowiada w przybliżeniu szumowi wnoszonemu przez zastosowane do pomiaru przedziału czasu czasomierze oraz zawiera obserwowane podczas doby wahania opóźnienia linii światłowodowej. Faktyczny poziom szumu wnoszonego przez przetworniki i elementy optyczne badanego układu jest co najmniej 10-ciokrotnie mniejszy [5].

5. Wnioski

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 przyszłości również i do kalibracji i monitorowania opóźnień wewnętrznych innych satelitarnych metod transferu czasu. Istotnym problemem w tym względzie mogą być koszty użytkowania łączy światłowodowych w postaci ciemnego włókna lub wydzielonego kanału optycznego.

Ponadto zostało potwierdzone, że opóźnienie wewnętrzne systemu do transferu czasu metodą GPS CV ulega istotnym zmianom sezonowym, stąd przy szacowaniu niepewności transferu czasu metodą GPS CV nie można niedoceniać wpływu czynników systematycznych oraz należy dążyć do precyzyjnego ustalenia źródeł wahań opóźnień wewnętrznych systemów do transferu czasu metodą GPS CV i minimalizować te wahania.

Autorzy niniejszego artykułu składają serdecznie podziękowania Panom: M. Lipińskiemu, P. Krehlikowi i L. Śliwcyńskiemu z Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Panom: J. Romsickiemu, W. Adamowiczowi i T. Pawszakowi z Telekomunikacji Polskiej S.A. za owocną współpracę, dzięki której zostały przeprowadzone tego typu badania i możliwy jest dalszy rozwój w Polsce tego obszaru metrologii czasu i częstotliwości.

6. Literatura

- [1] Kihara M., Imaoka A.: SDH-based time and frequency transfer system. 9th European Frequency and Time Forum, Besançon Francja, (1995), str. 317-322.
- [2] Jefferts S. R., Weiss M. A., Levine J., Dilla S., Parker T. E.: Two-Way Time Transfer Through SDH And SONET Systems. 10th European Frequency and Time Forum, Brighton UK, (1996), str. 461-464.
- [3] Emardson R., Hedekvist P. O., Nilsson M., Ebenhag S.C., Jaldehag K., Jarlemark P., Johansson J., Pendrill L., Rieck C., Löthberg P., Nilsson H.: Time and Frequency Transfer in an Asynchronous TCP/IP over SDH-network Utilizing Passive Listening. Proceedings of the IEEE, (2005), str. 908-913.
- [4] Czubla A., Konopka J., Górnik M., Adamowicz W., Struś J., Pawszak T., Romsicki J., Lipiński M., Krehlik P., Śliwcyński L., Wolczko A.: 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.
- [5] Czubla A., Konopka J., Górnik M., Adamowicz W., Struś J., Romsicki J., Lipiński M., Krehlik P., Śliwcyński L., Wolczko A.: Dwukierunkowa transmisja sygnałów czasu poprzez światłowód. PAK, 53 bis (2007), nr 9/2007, str. 289-292.
- [6] T&F Roadmap 2: Time and frequency transfer, www.euramet.org, 2006.
- [7] Ebenhag S.-C., Hedekvist P. O., Rieck C., Skoogh H., Jarlemark P., Jaldehag K.: Evaluation of Out-put Phase Stability in an Fiber-Optic Two-Way Frequency Distribution System, Proc. 40th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Time Applications Meeting, Reston, VA, USA, 2008.
- [8] Fujieda M., Kumagai M., Gotoh T., Hosokawa M.: Ultrastable Frequency Dissemination via Optical Fiber at NICT, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 58, (2009), nr 4, 1223-1228.
- [9] Piester D., Fujieda M., Rost M., Bauch A.: Time transfer through optical fibers (TTOF): First results of calibrated clock comparisons, Proc. 41st Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, Santa Ana Pueblo, New Mexico, USA, 2009.
- [10] Azoubib J., Lewandowski W.: Uncertainties of time links used for TAI, Proc. 34th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Time Applications Meeting, Reston, VA, USA, 2002.
- [11] Circular T, www.bipm.org, dostępny on-line.
- [12] Lipiński M., Krehlik P., Śliwcyński L.: w przygotowaniu.

otrzymano / received: 02.07.2010
przyjęto do druku / accepted: 02.08.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczone:

- spisy treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK