

Precyzyjny światłowodowy transfer czasu i częstotliwości w relacji GUM-AOS (420 km)

Albin Czubla¹, Roman Osmyk¹, Piotr Szterk¹, Łukasz Śliwczyński², Przemysław Krehlik², Łukasz Buczek², Marcin Lipiński², Jerzy Nawrocki³, Paweł Nogaś³, Dariusz Lemański³, Piotr Dunst³ (¹ Zakład Elektryczny, GUM; ² AGH, Kraków; ³ AOS CBK PAN, Borowiec)

W artykule przedstawiono najnowsze wyniki, prowadzonych w GUM i AOS oraz w ścisłej współpracy z AGH, badań nad precyzyjnym transferem czasu i częstotliwości przez włókna światłowodowe w oparciu o uruchomione pomiędzy GUM i AOS operacyjne łącze światłowodowe ze stabilizacją opóźnienia, o łącznej długości optycznej ok. 420 km.

Wprowadzenie

W styczniu 2012 roku, we współpracy z Telekomunikacją Polską S.A. oraz Poznańskim Centrum Superkomputerowo Sieciowym, zostało uruchomione dalekośiężne światłowodowe połączenie pomiędzy Głównym Urzędem Miar (GUM) w Warszawie a Obserwatorium Astrogeodynamicznym CBK PAN (AOS) w Borowcu k. Poznania – łącznie 420 km długości trasy optycznej z zainstalowanymi, opracowanymi i rozwijanymi przez Akademię Górniczo-Hutniczą (AGH), specjalizowanymi urządzeniami końcowymi (nadajnik i odbiornik) oraz urządzeniami do wzmacniania sygnału optycznego, zachowującymi symetrię opóźnień sygnałów optycznych transmitowanych w obu kierunkach przez to samo włókno [1-9]. Łącze to zachowuje stałą, stabilizowaną na poziomie kilkunastu ps, wartość opóźnienia, którą można wyznaczyć i kontrolować w oparciu o pomiar przedziału czasu pomiędzy sygnałami pomocniczymi w miejscu instalacji nadajnika. Równolegle pomiędzy oboma laboratoriami prowadzone są przy użyciu systemów do transferu czasu typu TTS-4 porównania z zastosowaniem metody GPS CV (*GPS Common-View*) i metody GPS PPP (*GPS Precise Point Positioning*).

Konfiguracja i kalibracja połączenia

Zastosowana na łączu GUM-AOS metoda precyzyjnego transferu czasu i częstotliwości poprzez włókna światłowodowe [1-4] wymaga obecnie tzw. „ciemnego” włókna światłowodowego, nieobciążonego zwykłym ruchem telekomunikacyjnym. Transfer wzorcowych sygnałów czasu 1 pps (*1 pulse per second*) i częstotliwości 5/10 MHz (*sygnał sinusoidalny*) odbywa się jednokierunkowo: od na-

dajnika do odbiornika. Na wyjściach odbiornika generowany jest sygnał 10 MHz i 1 pps.

Nadajnik został zainstalowany w Laboratorium Czasu i Częstotliwości w GUM (Warszawa), gdzie utrzymywany jest państwowy wzorzec jednostek miar czasu i częstotliwości, a odbiornik zainstalowano w Laboratorium Czasu w AOS CBK PAN. Dodatkowo na trasie GUM-AOS zainstalowano 6 dwukierunkowych wzmacniaczy optycznych w celu kompensacji tłumienia sygnału, a każde z urządzeń wyposażono w interfejs Ethernet do zdalnej kontroli ich pracy.

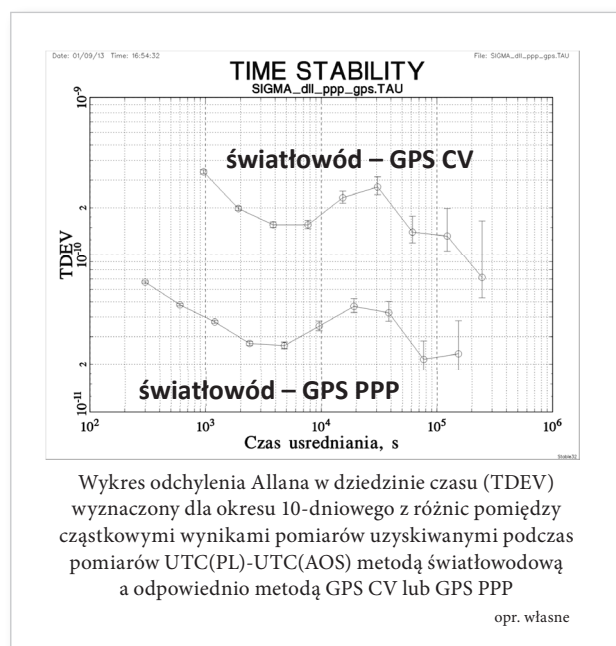
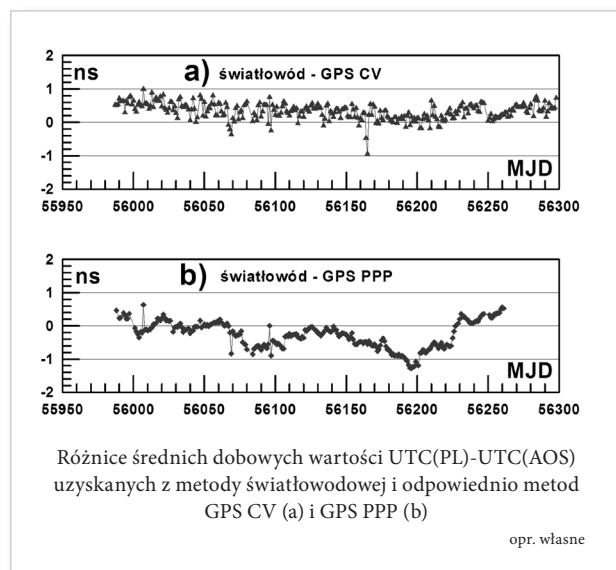
Łącznie uzyskano połączenie o długości optycznej ok. 420 km, odległości w linii prostej ok. 270 km, skumulowanej dyspersji chromatycznej ok. 1700 ps/nm, tłumieniu ok. 120 dB i, w skali roku, wahaniach kompensowanego opóźnienia światłowodu ok. 300 ns [1].

Łącze skalibrowano na poziomie niepewności rozszerzonej ok. 0,25 ns (przy poziomie ufności ok. 95 %), co jest istotne, tylko w oparciu o: wykonane przed docelową instalacją systemu pomiaru stałych opóźnień wewnętrznych urządzeń nadawczych i odbiorczych, następnie pomiary parametrów optycznych zestawionej linii światłowodowej oraz, po uruchomieniu połączenia, dodatkowe pomiary przedziału czasu wykonywane lokalnie w laboratorium, z którego nadawane są sygnały, i oszacowanie wartości poprawki Sagnaca w oparciu o przybliżoną znajomość trasy światłowodu.

Wyniki pomiarów

Przykładowe wyniki pomiarów ze światłowodowego transferu sygnałów czasu i częstotliwości z GUM do AOS przedstawiono na rysunkach w postaci obserwowanych różnic wyników pomiędzy tą metodą a metodami GPS CV i GPS PPP oraz analizy stabilności tych różnic.

Uzyskane wyniki pomiarów potwierdzają poprawność dokonanej kalibracji łącza światłowodowego oraz wysoką stabilność i perspektywiczność rozwijanej metody światłowodowej transferu czasu i częstotliwości.



Literatura

- [1] Śliwczyński Ł., Krehlik P., Czubla A., Buczek Ł., Lipiński M.: *Dissemination of time and RF frequency via stabilized fiber optic link over the distance of 420 km*, Metrologia, (2012) przyjęte do druku.
- [2] Śliwczyński Ł., Krehlik P., Buczek Ł., Lipiński M.: *Active propagation delay stabilization for fiber optic frequency distribution using controlled electronic delay lines*, IEEE Trans. on Instrum. and Meas., 60 (2011), 1480-1488.
- [3] Krehlik P., Śliwczyński Ł., Buczek Ł., Lipiński M.: *Fiber optic joint time and frequency transfer with active stabilization of the propagation delay*, IEEE Trans. on Instrum. and Meas., 61 (2012), 2844-2851.
- [4] Śliwczyński Ł., Krehlik P., Buczek Ł., Lipiński M.: *Frequency transfer in electronically stabilized fiber optic link exploiting bidirectional optical amplifiers*, IEEE Trans. on Instrum. and Meas., 61 (2012), nr 9, 2573-2580, DOI 10.1109/TIM.2012.2188663.
- [5] Czubla A., Konopka J., Górnik M., Adamowicz W., Struś J., Romsicki J., Lipiński M., Krehlik P., Śliwczyński Ł., Wolczko A.: *Dwukierunkowa transmisja sygnałów czasu poprzez światłowód*. PAK, 53 bis (2007), nr 9/2007, 289-292.
- [6] Czubla A., Osmyk R., Szterk P.: *Porównanie transferu czasu metodą GPS CV i metodą dwukierunkową z zastosowaniem włókien światłowodowych*, PAK, 56/09 (2010), 1012-1015.
- [7] Czubla A., Śliwczyński Ł., Krehlik P., Buczek Ł., Lipiński M., Nawrocki J.: *Stabilization of the propagation delay in fiber optics in a frequency distribution link using electronic delay lines: first measurement results*, Proc. of PTTI (2010), 389-396.
- [8] Śliwczyński Ł., Krehlik P., Buczek Ł., Lipiński M., Kołodziej J.: *Fiber optic RF frequency transfer on the distance of 480 km with active stabilization of the propagation delay*, Proc. of EFTF, Göteborg, Szwecja (2012), 424-426.
- [9] Czubla A., Osmyk R., Szterk P., Adamowicz W., Marszałec M., Śliwczyński Ł.: *Optical Fiber Time and Frequency Transfer inside Urban Telecom Network in Warsaw - Results of Initial Tests*, Proc. of EFTF, Göteborg, Szwecja, (2012), 371-374.

Autorzy niniejszego artykułu składają serdeczne podziękowania: Telekomunikacji Polskiej S.A. oraz Poznańskiemu Centrum Superkomputerowo-Sieciowemu za udostępnienie połączenia światłowodowego.

Praca została częściowo sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach grantu DEC-2011/03/B/ST7/01833.