

Michał MARSZALEC¹, Marzenna LUSAWA¹, Albin CZUBLA², Dariusz NERKOWSKI¹, Włodzimierz LEWANDOWSKI³, Jerzy NAWROCKI⁴, Tomasz KOSSEK¹

¹ INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY, ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

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

³ INTERNATIONAL BUREAU OF WEIGHTS AND MEASURES, 12 Bis Grande Rue, 92310 Sevres

⁴ LABORATORIUM ASTRO-GEODYNAMICZNE CENTRUM BADAŃ KOSMICZNYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK, ul. Drapalka 4, 62-023 Borowiec

Badania nad nowymi algorytmami zespołowych skal czasu w Bazie Danych TA(PL)

Mgr inż. Michał MARSZALEC

Kierownik Zespołu Metrologii Czasu i Częstotliwości w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności-PIB. Ukończył Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej w 2000 r. Zajmuje się metrologią czasu i częstotliwości w zakresie rozwoju algorytmów zespołowych skal czasu, Bazy Danych dla Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) oraz metod pomiarowych.



e-mail: M.Marszalec@itl.waw.pl

Mgr Marzenna LUSAWA

Specjalistka naukowo-techniczna Zespołu Metrologii Czasu i Częstotliwości w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności – PIB. Ukończyła Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 2008 r. Zajmuje się metrologią czasu i częstotliwości w zakresie rozwoju algorytmów zespołowych skal czasu, Bazy Danych dla Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) oraz metod pomiarowych.



e-mail: M.Lusawa@itl.waw.pl

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. Dariusz NERKOWSKI

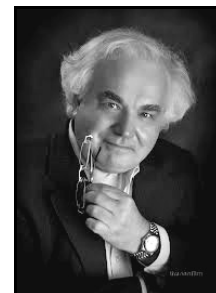
Kierownik Zespołu Metrologii Parametrów Podstawowych w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności-PIB. Ukończył Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej w 2001 r. Zajmuje się programowaniem Bazy Danych dla Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) oraz współpracą przy opracowywaniu algorytmów zespołowych skal czasu.



e-mail: D.Nerkowski@itl.waw.pl

Dr inż. Włodzimierz LEWANDOWSKI

Naczelnny Fizyk w Departamencie Czasu, Międzynarodowego Biura Miar. Ukończył Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej z elementami programu indywidualnego na wydziale Fizyki (Astronomia) Uniwersytetu Warszawskiego w 1976 r. doktorat – 1980 r. Zajmuje się m.in. tematyką geodezji satelitarnej oraz metrologią czasu i częstotliwości (w szczególności GNSS).



e-mail: wlewandowski@bipm.org

Dr Jerzy NAWROCKI

Fizyk i astronom. Kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości w Obserwatorium Astrogeodynamicznym Centrum Badań Kosmicznych PAN w Borowcu. Specjalista w dziedzinie czasu i częstotliwości, zegarów atomowych, realizacji skal czasu, porównań wskazań zegarów na duże odległości, m.in. koncepcja i realizacja TA(PL). Uczestniczy w realizacji czasu odniesienia dla systemu Galileo i w budowie stacji kontrolnej Galileo w Fucino we Włoszech. Członek Komitetu Konsultacyjnego ds Czasu i Częstotliwości przy BIPM.



e-mail: nawrocki@cbk.poznan.pl

Dr inż. Tomasz KOSSEK

Zastępca kierownika Laboratorium Metrologii Elektrycznej, elektronicznej i Optoelektrycznej w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności-PIB. Ukończył Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej w 1996 r. doktorat – 2002r. Zajmuje rozwojem metod pomiarów światłowodowych oraz współpracuje przy rozwoju Bazy Danych dla TA(PL).



e-mail: T.Kossek@itl.waw.pl

wiele funkcji obsługowych Bazy oraz zaimplementowano nowe algorytmy zespołowych skal czasu. Artykuł prezentuje wyniki badań nowych algorytmów oraz porównanie stabilności uzyskanych za ich pomocą zespołowych skal czasu w stosunku do wyników poprzednio zaimplementowanych algorytmów.

Słowa kluczowe: zespołowa skala czasu, wzorzec czasu, baza danych, metody porównań wzorców czasu.

Research on new timescale ensemble algorithms in Database for TA(PL)

Abstract

The Database for Polish Atomic Timescale TA(PL) is a result of 15 years of cooperation of Polish Time Laboratories. The work on the Database started in 2004. The purpose was to automate the process of time-standards comparison and calculate implemented group timescale ensembles algorithms. The group timescales ensemble algorithms are much more stable than any of the standards within the group. Therefore they can be used as a stable reference to control and supervise each standard. In the future, they can steer the Polish official realization of international Universal Coordinated Time (UTC) the UTC(PL) maintained by the Central Office of Measures (GUM). The Database was prepared with an original algorithm of TA(PL) based on ALGOS (the algorithm developed by International Bureau of Measurements –BIPM). During the time a set of

Streszczenie

Baza danych dla Polskiej Atomowej skali czasu TA(PL), w skrócie Baza Danych TA(PL), rozwijana jest dzięki ponad 15 letniej współpracy polskich laboratoriów badawczych zajmujących się tematyką metrologii czasu. Baza powstała w 2004 roku w celu automatyzacji procesu porównań atomowych wzorców czasu oraz wyliczenia zaimplementowanych algorytmów zespołowych skal czasu. Zespołowe skale czasu, jako potencjalnie znacznie stabilniejsze od każdego wzorca w grupie, mają zastosowanie do kontroli poszczególnych wzorców, mogą także być wykorzystane do sterowania realizacją państwowego czasu urzędowego UTC(PL). W Bazie zaimplementowano podstawowy algorytm TA(PL) oraz zestaw algorytmów eksperymentalnych. W okresie ostatnich 2 lat zaktualizowano

experimental algorithms has been implemented (one day-shifted ALGOS and AT1). The last implemented algorithm is AT2 developed by the Time-team of National Institute of Telecommunications (NIT) on the basis of the theorem published by NIST (National Institute of Standard and Technology - USA) which seems to be the most stable even according to preliminary results. The final version of this paper presents the analysis of the results of new implemented algorithms and the comparison with former implementations. The last part of this paper deals with the future plans for development of the Database for TA(PL).

Keywords: timescale ensemble, time standard, database, time standards comparison methods.

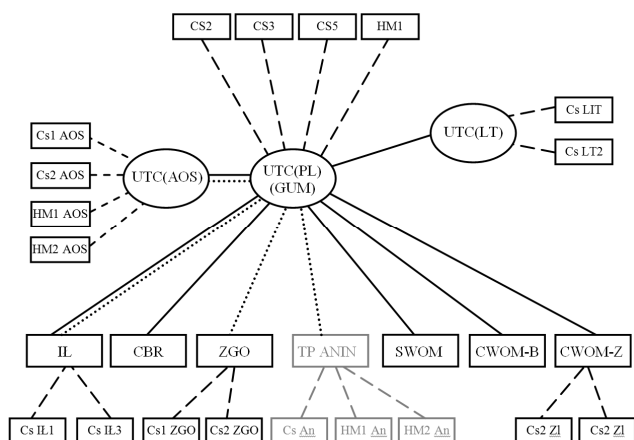
1. Współpraca polskich laboratoriów metrologii czasu i częstotliwości

Od końca lat 90-tych trwa ścisła współpraca polskich laboratoriów badawczych prowadzących prace w dziedzinie metrologii czasu i częstotliwości. Początkowo polegała ona na wymianie danych porównań atomowych wzorców czasu, w celu wzajemnej kontroli. W 1999 r współpraca ta zaowocowała powstaniem Polskiej Niezależnej Atomowej Skali Czasu (TA(PL)), wyznaczonej przy pomocy algorytmu ALGOS rozwiniętego przez J. Nawrockiego we współpracy z BIPM [7]. W oparciu o przesyłane przez laboratoria dane, TA(PL) była i jest liczona w Obserwatorium w Borowcu raz w miesiącu i publikowana przez BIPM w biuletynie Circular T od lipca 2001 [9,10].

W roku 2004 laboratoria podpisały Porozumienie o tworzeniu niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) formalizując współpracę i nadając jej bardziej oficjalny charakter [7].

W porównaniach TA(PL) uczestniczą obecnie następujące instytucje (rys. 1):

- GUM – Główny Urząd Miar;
- AOS – Obserwatorium Astrogeodynamiczne w Borowcu – Centrum Badań Kosmicznych PAN;
- IL – Instytut Łączności (ang. NIT);
- CBR, ZGO i TP ANIN – Telekomunikacja Polska S.A (TP S.A.). Laboratorium TP ANIN jest w trakcie przygotowania do przesyłania danych.;
- CWOM-B – Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Bemowo;
- CWOM-Z – Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zielonka;
- LT – Center for Physical Sciences and Technology w Wilnie, Litwa;



Rys. 1. Aktualny system porównań wzorców czasu TA(PL)
Fig. 1. Scheme of TA(PL) time standards comparisons

W roku 2005 rozpoczęto pracę nad zautomatyzowaniem procesu przesyłania danych z porównań i wyliczania algorytmu Polskiej Atomowej Skali Czasu. Opracowano Bazę danych dla TA(PL) i UTC(PL). Baza jest stale rozwijana, a automatyzacja obliczeń porównań wzorców umożliwiła badania nad nowymi algorytmami zespolonych skal czasu [2, 4].

2. Metody porównań atomowych wzorców czasu

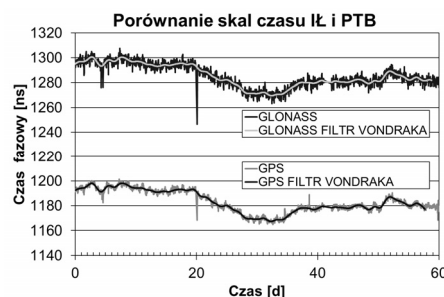
Wzorce, które znajdują się w tym samym laboratorium, można porównywać za pomocą miernika przedziału czasu rejestrując wyniki różnic sygnałów sekundowych (PPS).

W przypadku porównań zdalnych początkowo dostępna była jedna metoda zdalnych porównań tj. GPS Common View (GPS CV). Polegała ona na rejestracji wyników równoczesnej obserwacji tych samych satelitów systemu nawigacji satelitarnej GPS przez dwa odległe laboratoria oraz późniejszej wymianie zbiorów danych zawierających zarejestrowane porównania. W dalszej kolejności każde z laboratoriów przeprowadzało obliczenia na otrzymanych danych na podstawie zależności (1) uzyskując bezpośrednie porównanie dwóch wzorców dla tych samych punktów w czasie.

$$(Wz_Lab1 - GPS) - (Wz_Lab2 - GPS) = Wz_Lab1 - Wz_Lab2 \quad (1)$$

Porównanie takie obarczone było szeregiem błędów związanych z wpływem jonosfery na sygnały odbierane z satelitów oraz niedokładnością określania orbit poszczególnych satelitów. W celu eliminacji tych szumów dane należało uśrednić dla przedziału doby. W późniejszym czasie zastosowano także inne metody filtracji danych porównań (np. filtr Vondraka).

Rozwój rodziny odbiorników dwuczęstotliwościowych do transferu czasu serii TTS-3 i TTS-4, przez AOS, spowodował, że do porównań można było wykorzystywać z powodzeniem również satelity systemu nawigacyjnego Glonass. Na rys.2 przedstawiono przykładowe wyniki zdalnych porównań skal czasu przeprowadzonych w IL za pomocą obu systemów. Poza stałym offsetem czasu fazowego uzyskane wyniki porównań są zgodne.



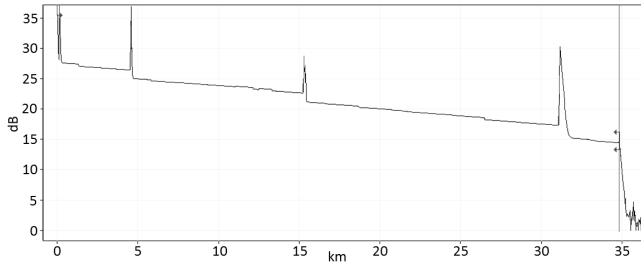
Rys. 2. Wyniki zdalnego porównania wzorców czasu za pomocą systemów GPS oraz Glonass

Fig. 2. Comparison results of different satellite systems time transfer (GPS, Glonass)

Odbiorniki dwuczęstotliwościowe w transferze czasu umożliwiają również obserwację różnicy fazy sygnałów z satelitów GPS odbieranych na dwóch częstotliwościach, dzięki czemu można wyeliminować wpływ jonosfery.

Następny przełom dotyczył wykorzystania do porównań połączeń światłowodowych [1]. We współpracy z TP S.A. oraz siecią naukową PIONIER udało się połączyć światłowodem część laboratoriów. Systemy nadawczo-odbiorcze zostały opracowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą (AGH) [12,13]. Transfer realizowany jest z wykorzystaniem ciemnego włókna światłowodowego. Każde z laboratoriów posiada nadajnik własnego sygnału sekundy wzorcowej (PPS) oraz odbiornik sygnału ze zdalnego laboratorium. Wyniki porównań przesyłanych sygnałów (własnego ze zdalnym) rejestrowane są w obu laboratoriach wraz z informacją o dokładnym czasie rejestracji pomiaru. Następnie zestawione zostają wyniki obu zbiorów dla odpowiadających sobie momentów. W efekcie otrzymujemy bezpośrednie zdalne porównanie wzorców czasu z wyeliminowanym opóźnieniem wprowadzanym przez światłowód.

Na rys. 1 połączenia światłowodowe oznaczono linią kropkowaną. Rys. 3 ilustruje wyniki badania linii światłowodowej o długości 35 km, wykorzystywanej do testowej transmisji sygnałów PPS pomiędzy Instytutem Łączności a Głównym Urzędem Miar. Opóźnienie wprowadzane przez światłowód wynosi ok 169,7 μs. Kolejne skokowe zmiany na wykresie odpowiadają odległościom do miejsc połączeń pomiędzy kolejnymi odcinkami światłowodu.



Rys. 3. Wyniki badania linii światłowodowej pomiędzy IŁ a GUM
Fig. 3. Preliminary test of fiber line between NIT and GUM

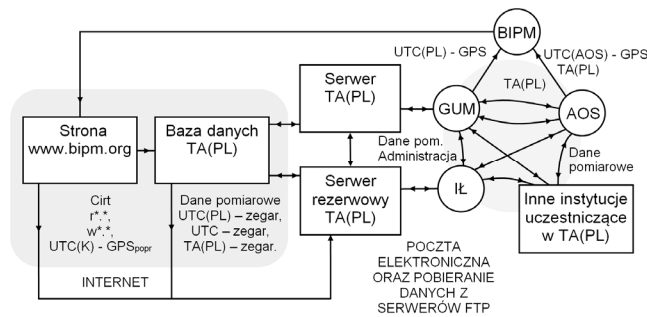
Pozostałe połączenia (rys. 1) to ok. 3 km światłowodu w relacji ZGO-GUM, 19 km w relacji CBR-GUM oraz 420 km w relacji AOS-GUM.

3. Baza Danych dla TA(PL)

Po opracowaniu algorytmu Niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) [7] zaistniała potrzeba lepszej organizacji wymiany danych i wyników.

W ramach współpracy Instytut Łączności opracował Bazę Danych dla TA(PL) [2, 4]. Poniżej przedstawiono zestaw funkcji realizowanych przez Bazę (rys. 4, rys. 5 i rys. 6):

- automatyczna akwizycja danych pomiarowych pochodzących z rozproszonego systemu porównań skal czasu (zegarów atomowych wymienionych instytucji i laboratoriów), które mogą być przesyłane do Bazy za pomocą wiadomości e-mailowych lub importowane z serwerów ftp.
- automatyczne wyliczanie wyników wzajemnych porównań wzorców, w tym porównań z UTC(PL), wykorzystywanych do dalszych obliczeń



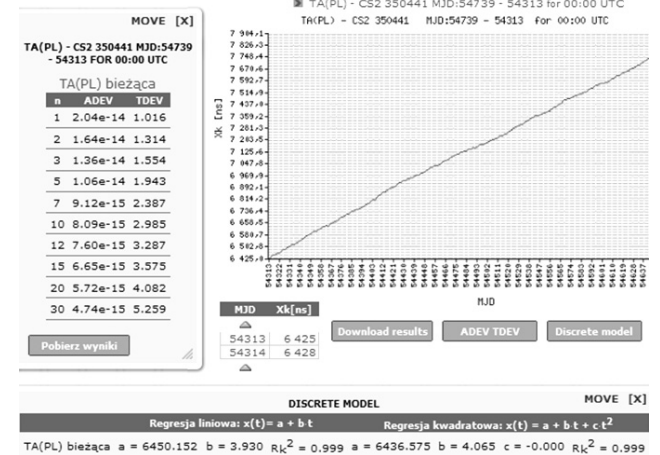
Rys. 4. Schemat działania Bazy dla TA(PL)
Fig. 4. Database workflow scheme



Rys. 5. Menu strony głównej Bazy Danych
Fig. 5. Menu of main page of the Data Base

- automatyczne wyznaczanie Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) oraz innych zespołowych skal czasu (ALGOS wersji dobowej, AT1) [3], obliczanie poprawek tych skal czasu w stosunku do UTC i TAI oraz TA(PL) i UTC(PL), a także analizę statystyczną polegającą na wyliczeniu wariancji Allana oraz stosowaniu aproksymacji metodą regresji liniowej i kwadratowej.

Zaimplementowane funkcje umożliwiają bieżącą analizę zachowania każdego z zarejestrowanych w niej wzorców. Możliwy jest także eksport danych w celu bardziej zaawansowanej analizy.



Rys. 6. Funkcje analityczne Bazy TA(PL)
Fig. 6. Analytical functions of Database for TA(PL)

4. Zespołowe wzorce czasu

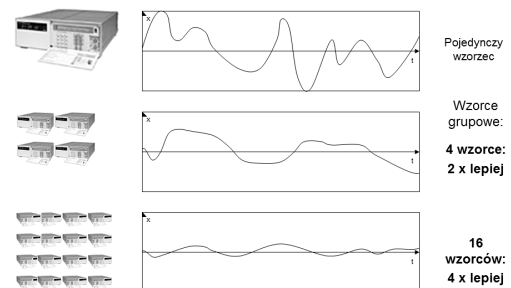
Algorytm zespołowego wzorca czasu (zespołowej skali czasu) [5, 6] jest konstrukcją średniej ważonej wyników porównań atomowych wzorców czasu. Wagi poszczególnych wzorców wyznacza się na podstawie ich zachowania w przeszłości.

W efekcie otrzymuje się tabelę poprawek dla każdego wzorca w grupie w stosunku do wzorca zespołowego. Poniżej przedstawiono podstawowy wzór definiujący zespołową skalę czasu A(t):

$$A(t) = \frac{\sum_{k=1}^N w_k(t) [H_k(t) - \hat{H}_k(t)]}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (2)$$

gdzie: $w_k(t)$ – waga zegara k , $H_k(t)$ – odczyt zegara k w chwili t , $\hat{H}_k(t)$ – prognoza odczytu zegara w chwili t względem skali A , t – moment wyliczania grupowej skali czasu, N – liczba zegarów.

Algorytm wzorca zespołowego (grupowego) charakteryzuje się następującą cechą: wraz ze wzrostem liczby wzorców zmniejsza się jego szum. W związku z tym przy odpowiednio dużej liczbie wzorców staje się on znacznie mniejszy niż szum każdego z wzorców w grupie.



Rys. 7. Wpływ liczby wzorców na stabilność wzorca grupowego
Fig. 7. Influence of the number of clocks on the timescale ensemble stability

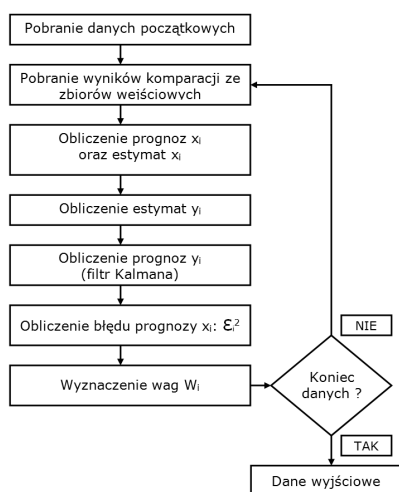
W Bazie zaimplementowane zostały następujące zespołowe algorytmy skal czasu: podstawowy algorytm wyliczania Polskiej Atomowej Skali czasu TA(PL), zmodyfikowany algorytm dobowego wyliczania Polskiej Atomowej Skali czasu TA(PL) oraz algorytm ITLAT1.

Podstawowy algorytm wyliczania Polskiej Atomowej Skali czasu TA(PL) został opracowany przez AOS [7] na podstawie algorytmu ALGOS powstałego w Międzynarodowym Biurze Miar [8]. Następnie zespół Instytutu Łączności dokonał jego implementacji w Bazie Danych dla TA(PL). Algorytm analizuje długoterminowe zmiany częstotliwości w przedziałach jednomiesięcznych. W następnym kroku wyniki za rok wstecz zostają uśrednione i na tej podstawie wyznaczana jest aktualna waga dla danego wzorca w grupie. Algorytm okazuje się skuteczny do prognozowania długoterminowego, ponieważ jego szum długoterminowy jest znacznie mniejszy niż szumy poszczególnych wzorców wewnątrz grupy dla takich samych przedziałów uśredniania. Algorytm umożliwia wyznaczenie poprawek dla poszczególnych wzorców w interwale miesięcznym (wyniki dla wszystkich dni miesiąca otrzymuje się raz na koniec miesiąca).

Zmodyfikowany algorytm dobowego wyliczania Polskiej Atomowej Skali czasu TA(PL) został opracowany przez zespół Instytutu we współpracy z Głównym Urzędem Miar w celu codziennego wyznaczania poprawek dla poszczególnych wzorców w stosunku do wzorca grupowego (wyniki dla poszczególnych dni miesiąca otrzymuje się codziennie).

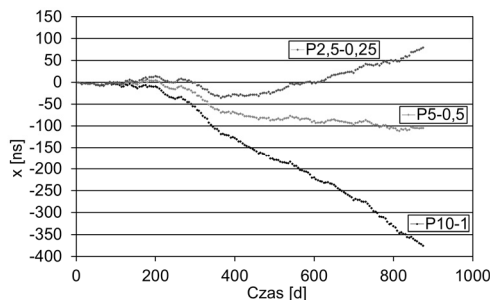
Implementacja algorytmu ITLAT1 dokonana przez zespół Instytutu została opracowana na podstawie publikacji NIST (National Institute of Standard and Technology - USA) dotyczących algorytmu AT1 [11]. Do wyznaczania wag wykorzystywane są odchylenia standardowe Allana wyników wzorców. Wyznacza się je w stosunku do prognozy uzyskanej z ekstrapolacji. Ekstrapolacji dokonuje się na bieżąco funkcją krzywej regresji kwadratowej. Właściwe dobranie parametrów AT1 powoduje osiągnięcie większej stabilności od pozostałych algorytmów dla średnioterminowych przedziałów uśredniania. Wyniki poprawek dla wzorców dostępne są codziennie. Zaimplementowany algorytm umożliwia także zwiększenie częstości obliczania wyników do czasu mniejszego niż pojedyncza doba, jeśli zajdzie taka potrzeba.

Aktualnie w ramach przeprowadzonego projektu zaimplementowano algorytm AT2 [11] (rys. 8).



Rys. 8. Schemat algorytmu AT2
Fig. 8. AT2 algorithm scheme

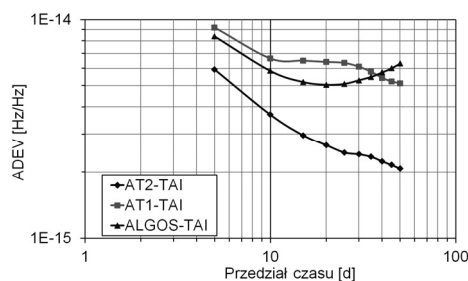
Algorytm ten powstał jako rozwojowa wersja algorytmu AT1. Różnica pomiędzy nimi polega na wykorzystaniu filtra Kalmana zamiast przybliżenia zbioru wyników funkcją kwadratową w prognozowaniu wartości będących podstawą wyznaczania wag w algorytmie zespołowym. Zaimplementowany algorytm został poddany gruntownym testom.



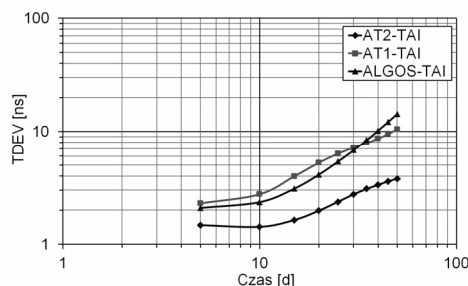
Rys. 9. Badanie wpływu parametrów początkowych na zachowanie algorytmu AT2

Fig. 9. Research on influence of initial parameters on AT2 algorithm

Zbadano szereg parametrów mający wpływ na jego pracę. Okazało się, że dobór warunków początkowych ma istotny wpływ na pracę algorytmu. Na rys. 9 zaprezentowano wpływ doboru parametrów początkowych macierzy przejścia filtra Kalmana na działanie algorytmu. Po przeprowadzeniu analiz na ograniczonej próbie danych pomiarowych udało się uzyskać bardzo obiecujące wyniki, które prezentowane są na rys. 10 i rys. 11:



Rys. 10. Porównanie ADEV algorytmów zaimplementowanych w Bazie
Fig. 10. ADEV comparison of the implemented algorithms



Rys. 11. Porównanie TDEV algorytmów zaimplementowanych w Bazie
Fig. 11. TDEV comparison of the implemented algorithms

5. Wnioski oraz plany dalszego rozwoju Bazy Danych dla TA(PL)

Algorytmy zaimplementowane w Bazie Danych dla Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) wykazują się wysoką stabilnością. Celem rozwoju tej dziedziny nauki jest przygotowanie precyzyjnego odniesienia dla potrzeb sterowania fizyczną realizacją skali czasu, taką jak Państwowy Czas Urzędowy UTC(PL). Zaimplementowane algorytmy wydają się idealnie nadawać do tego celu.

W celu zatwierdzenia użycia któregośkolwiek z algorytmów jako podstawy odniesienia do sterowania Państwowym Czasem Urzędowym należy przeprowadzić dalsze badania z wykorzystaniem układu kontroli fizycznego sygnału czasu wzorca częstotliwości w trybie pracy ciągłej. W związku z tym Baza Danych dla TA(PL) jest przygotowywana do generacji parametrów sterowania dla potrzeb przyszłego algorytmu sterowania Skalą czasu UTC(PL).

Prezentowane badania zostały przeprowadzone w ramach realizacji projektu badawczego „Badania i rozwój algorytmów zespolonych wzorców czasu i częstotliwości w Bazie Danych TA(PL)”. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

6. Literatura

- [1] Czubla A., Osmyk R., Szterk P., Marszalec M., Adamowicz W., Śliwczyński Ł.: Optical Fiber Time and Frequency Transfer inside Urban Telecom Network in Warsaw – Results of Initial Tests, European Frequency and Time Forum (EFTF) 2012, Gothenburg, Sweden.
- [2] Marszalec M., Nerkowski D.: Baza danych dla zespolonych atomowych skal czasu TA(PL) i UTC(PL), Przegląd telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne 10/2009.
- [3] Marszalec M., Kossek T., Lusawa M.: Analiza wyników porównań atomowych wzorców czasu. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne 8-9.2009
- [4] Marszalec M., Czubla A. and Nerkowski D.: Data-Base for TA(PL) and UTC(PL), in Proceedings of the 40th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, 1-4 December 2008, Reston, Virginia, USA (U.S. Naval Observatory, Washington, D.C.), pp. 680-690.
- [5] Thomas C., Wolf P. and Tavella P.: Time scales, BIPM Monographie 94/1, 1994.
- [6] ITU, 1997, Time Scales – Handbook on the Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems, ITU Radiocommunication Bureau, Sec. 6, pp. 119-149.
- [7] Azoubib J., Nawrocki J. and Lewandowski W.: Independent atomic time scale in Poland – organization and results, Metrologia, 40, S245-S248, 2003.
- [8] Lewandowski W.: International Atomic Time Scales and Related Time Transfer, special issue of MAPAN-JMSI, Metrology Society of India, based of guest talk at ATF'2006.
- [9] Annual Report of the BIPM Time Section (2000) 2001 13.
- [10] BIPM Circular T (monthly), available on-line from ww.bipm.org
- [11] Weiss M.A., Weissert T.: AT2, A New Time Scale Algorithm: AT1 Plus Frequency Variance, Metrologia, 1991, vol 28, no 1, pp. 65-74.
- [12] Śliwczyński Ł., Krehlik P., Buczek Ł., Lipiński M.: Active propagation delay stabilization for fiber optic frequency distribution using controlled electronic delay lines, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 60, str. 1480-1488, 2011.
- [13] 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. Pomiary Automatyka Kontrola (PAK), 53 bis (2007), nr 9/2007, str. 289-292.

otrzymano / received: 12.10.2013

przyjęto do druku / accepted: 02.09.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

www.energoelektronika.pl
WORTAL BRANŻOWY



Regionalne Seminary / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

06.02.2014 - Bielsko-Biała
13.03.2014 - Legnica
24.04.2014 - Elk
22.05.2014 - Mielec
26.06.2014 - Zamość
02.10.2014 - Szczecin
20.11.2014 - Włocławek
11.12.2014 - Konin



Ilość miejsc
ograniczona

Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: marketing@energoelektronika.pl

Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:

