

Piotr WALEWSKI¹, Krzysztof PERLICKI¹, Mirosław SIERGIEJCZYK²

¹ POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa,

² POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ TRANSPORTU, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Wykorzystanie metody asynchronicznego próbkowania z linią opóźniającą oraz metryki Hausdorff'a do monitorowania systemów teletransmisji światłowodowej

Inż. Piotr WALEWSKI

Piotr Walewski jest studentem Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. W roku 2013 otrzymał tytuł inżyniera na specjalności Systemy i Sieci Telekomunikacyjne.



e-mail: P.Walewski@stud.elka.pw.edu.pl

Prof. nzw. dr hab. inż. Krzysztof PERLICKI

Krzysztof Perlicki pracuje w Instytucie Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej oraz w Centrum Badawczo-Rozwojowym Telekomunikacji Polskiej. W 2010 roku otrzymał tytuł doktora habilitowanego. W roku 2011 został mianowany na stanowisko profesora nadzwyczajnego. Do jego zainteresowań zawodowych należy zaliczyć: telekomunikację światłowodową dużych przepływności, wykorzystanie optycznych zjawisk nieliniowych do celów metrologicznych, optyczne zjawiska polaryzacyjne.



e-mail: perlicki@tele.pw.edu.pl

Prof. nzw. dr hab. inż. Mirosław SIERGIEJCZYK

Mirosław Siergiejczyk pracuje w Zakładzie Telekomunikacji w Transporcie na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania naukowe to między innymi architektura i usługi sieci i systemów telekomunikacyjnych, zwłaszcza z punktu widzenia ich zastosowań w transporcie, niezawodność i eksploatacja sieci i systemów teleinformatycznych, modelowanie, projektowanie i organizowanie systemów telekomunikacyjnych wykorzystywanych w transporcie.



e-mail: msi@wt.pw.edu.pl

with an error ± 15 ps/nm, polarization mode dispersion ± 1 ps and optical signal to noise ratio $\pm 0,5$ dB.

Keywords: optical fiber, monitoring, ADTS method, Hausdorff metric.

1. Wstęp

Podobnie jak sieci publiczne rozwijają się również teleinformatyczne sieci resortowe w tym sieć kolejowa, ale zasadniczo wpływ na to mają inne uwarunkowania. Ponadto w sieciach korporacyjnych (np. kolejowych) zaczyna być już widoczna tendencja do dedykacji poszczególnych włókien światłowodowych dla określonych aplikacji np. straż pożarna wymaga osobnych włókien światłowodowych dla instalowanych systemów przeciwpożarowych, służba automatyki kolejowej osobnych włókien dla systemów sterowania ruchem kolejowym itd. [1]. Wszystko to sprawia, że sieci korporacyjne też będą wymagały coraz to większej ilości włókien.

Światłowody, na których są zaimplementowane systemy DWDM muszą charakteryzować się bardzo rygorystycznymi charakterystykami tłumienności i co bardziej ważne - dyspersji. Optymalne wartości optycznych traktów optycznych muszą zostać zagwarantowane już w trakcie projektowania sieci. Projektanci warstwy fizycznej muszą brać pod uwagę wszelkie negatywne zjawiska zachodzące podczas przesyłania sygnałów w światłowodach. Tylko bardzo starannie zaprojektowane trakty będą w stanie przetransmitować olbrzymi ruch w każdym z położonych światłowodów. Należy pamiętać, że światłowody kładzie się raz i muszą one posłużyć przez okres wielu lat, ponieważ wymiana traktu na nowocześniejsze włókna o lepszych parametrach jest praktycznie niemożliwa ze względów ekonomicznych. Bardzo ważne jest w takiej sytuacji utrzymanie przez światłowód swoich parametrów w długim okresie czasu. Według definicji podawanej przez ITU w zaleceniu ITU-T G.709 - Optyczne Sieci Transportowe – OTN (Optical Transport Network) to zbiór elementów sieci optycznej połączonych ze sobą światłowodami, który ma na celu zapewnienie możliwości transportowania informacji, multipleksowania, routingu, zarządzania, nadzorowania oraz rekonstrukcji kanałów optycznych [2].

Do problematyki utrzymania sieci można podejść w dwojaki sposób. Pierwszy polega na założeniu, że sieć będzie działać w oczekiwany sposób i reagowaniu na problemy na bieżąco. To podejście jest powszechnie spotykane. Drugie podejście obejmuje ciągłe monitorowanie sieci i zapewnianie, aby elementy sieci funkcjonowały poprawnie i zapewniały oczekiwaną (gwarantowaną) wydajność. Jeśli dysponuje się wystarczającymi zasobami, ciągłe monitorowanie jest lepszym podejściem.

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania kompleksowej metody pomiarowej ADTS (Asynchronous Delay Tap Sampling) do monitorowania jakości transmisji optycznej w systemach telekomunikacji światłowodowej implementowanych w resortowej sieci teletransmisyjnej.

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę asynchronicznego próbkowania z linią opóźniającą ang. Asynchronous Delay Tap Sampling (ADTS) służącą do monitorowania jakości pracy systemów telekomunikacji światłowodowej. Przedstawiono analizę jednoczesnego wpływu zjawisk dyspersji chromatycznej i polaryzacyjnej oraz optycznego stosunku sygnału do szumu na wyniki metody ADTS. Do wyznaczania wartości liczbowych monitorowanych parametrów użyto metryki Hausdorff'a. Przy jednoczesnym wpływie wyżej wymienionych można monitorować dyspersję chromatyczną z błędem ± 15 ps/nm, dyspersję polaryzacyjną z błędem ± 1 ps oraz OSNR z błędem $\pm 0,5$ dB, co wykazały symulacje.

Słowa kluczowe: światłowody, monitorowanie, metoda ADTS, metryka Hausdorff'a.

Optical performance monitoring using the Asynchronous Delay Tap Sampling method with the Hausdorff metric

Abstract

Nowadays the development of optical fiber networks makes the requirements for them even higher. Not only public networks but also the specific corporate networks are being developed. Therefore there is a great need for complex Optical Performance Monitoring (OPM) methods. In the first three sections we discuss the needs of corporate optical networks and the limitations of OPM techniques. Then we present an application of the Asynchronous Delay Tap Sampling (ADTS) method for Optical Performance Monitoring. The way of sampling (Fig. 1), representation of samples on a scatter plot (Fig. 2) and representation of the sampled bit sequences (Fig. 3) are explained. We discuss and present the simultaneous influence of chromatic dispersion (CD), polarization mode dispersion (PMD) and optical signal to noise ratio (OSNR) on ADTS method results (Fig. 4). The simulations of 10 Gbit/s, Non-Return-to-Zero and On-Off Keying signal were made using OptSim 4.0 software. Hausdorff metric was used to evaluate the numerical value of simulated impairments (CD, PDM, OSNR). The relationship between those impairments and the Hausdorff metric was also defined (Figs. 5, 6 and 7). The evaluation of one impairment can be done when other impairments are limited. It was also determined. It was proved that chromatic dispersion could be evaluated

2. Resortowa kolejowa sieć teletransmisyjna

W oparciu o współpracę spółki Telekomunikacja Kolejowa z PKP zbudowana została sieć teletransmisyjna, która swym zasięgiem pokryła niemal cały kraj. Ze względu na wielkość sieci, zakres świadczonych usług jak i rozległość (cały kraj), kolejowa sieć teletransmisyjna przyjęła rozwiązania techniczne stosowane w publicznych sieciach telekomunikacyjnych i zbudowana w oparciu o urządzenia teletransmisyjne hierarchii synchronicznej SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Najbardziej rozwinięta ofertę dla biznesu kolej prezentuje w zakresie transmisji danych. Duża część usług z tej grupy opartych jest o technologię MPLS (Multi Protocol Label Switching). W technologii tej routing pakietów został zastąpiony przez tzw. przełączanie etykiet. Uogólnieniem techniki przełączania etykiet na inne technologie zwiłokrotnienia jest GMPLS (Generalized MPLS). Zastosowanie MPLS umożliwia klientom biznesowym powiązanie lokalnych sieci LAN (Local Area Network) w pełni zarządzaną sieć WAN (Wide Area Network) [2].

Sieć MPLS daje możliwość stworzenia teleinformatycznej sieci VPN (Virtual Private Network). VPN jest wirtualną siecią, przez którą płynie ruch w ramach sieci prywatnej pomiędzy klientami końcowymi za pośrednictwem publicznej sieci takiej jak Internet. Określenie „wirtualna” oznacza, że sieć istnieje tylko, jako struktura logiczna działająca w ramach sieci publicznej. Sieć VPN wiąże centralę firmy ze wszystkimi oddziałami i pracownikami zarówno w kraju jak i za granicą.

Do świadczenia opisanych usług telekomunikacyjnych i transmisji danych konieczna jest rozległa infrastruktura sieciowa. W warstwie fizycznej sieci szkieletowej kolej posiada rozbudowaną siatkę połączeń światłowodowych. Kable światłowodowe doprowadzone zostały do większości Polskich aglomeracji. Na infrastrukturze światłowodowej zbudowane są systemy transmisyjne DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Sieć DWDM składa się z około 30 węzłów i zorganizowana jest w cztery pierścienie przechodzące przez największe polskie miasta [3].

3. Potrzeby monitorowania sieci światłowodowych

Podstawowe wielkości fizyczne charakteryzujące pracę systemu telekomunikacji światłowodowej to: zmiana poziomu mocy optycznej transmitowanego sygnału (tłumienie), dyspersja chromatyczna, dyspersja polaryzacyjna, optyczny stosunek sygnału do szumu oraz przenik między kanałami w systemach ze zwiłokrotnieniem falowym. Tradycyjny sposób pomiaru tych wielkości sprowadza się do osobnego ich mierzenia za pomocą różnych metod pomiarowych oraz przyrządów pomiarowych. Diagnostykę łączy światłowodowych wykonuje się za pomocą reflektrometrów światłowodowych; pomiar wykonany za ich pomocą pozwala na wyznaczenie tłumienia łącza. Analizę poziomu sygnału optycznego, przenik oraz optyczny stosunek sygnału do szumu wyznacza się w oparciu o analizę widmową transmitowanego sygnału. Do tego typu pomiarów wykorzystuje się analizator widma optycznego lub miernik długości fali. Do pomiaru dyspersji chromatycznej w warunkach polowych stosuje się metodę różnicy czasu przejścia przez badany światłowód krótkich impulsów optycznych o różnych długościach fali. Ta metoda jest często zaimplementowana w zaawansowanych technicznie reflektrometrach światłowodowych. W przypadku dyspersji polaryzacyjnej mamy do dyspozycji tylko mało poręczną metodą interferometryczną [4].

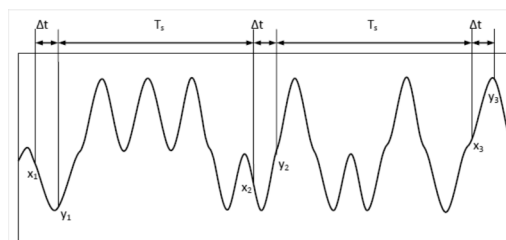
Dostępność współczesnych systemów telekomunikacyjnych określa się na poziomie 99,999%; co oznacza, że w ciągu roku system telekomunikacyjny może być niedostępny jedynie przez 5 minut. Przekłada się to na konieczność jego monitorowanie maksymalnie co 120 sekund. W czasie krótszym niż 120 sekund musi być wykonany pomiar wszystkich istotnych parametrów określających jakość transmisji. Biorąc pod uwagę konieczność wykonywania takich pomiarów we wszystkich kanałach optycznych systemów ze zwiłokrotnieniem falowym (ich liczba może dochodzić do kilkuset) oraz na wszystkich portach urządzeń sterujących

(liczba portów w węźle telekomunikacyjnym może być większa od stu), to otrzymujemy czas trwania pomiaru i interpretacji jego wyniku na poziomie kilkunastu, kilkudziesięciu milisekund [4]. Warto zwrócić uwagę na to, że w przypadku niektórych systemów telekomunikacyjnych czas potrzebny na rekonfigurację sieci spowodowaną jej uszkodzeniem nie może przekroczyć 50 ms (SDH). W praktyce uzyskanie takiej szybkości pomiaru wymaga zastosowania metod pomiarowych pozwalającej na równoczesny pomiar kilku wielkości fizycznych charakteryzujących transmisję optyczną. Do równoczesnego pomiaru kilku parametrów transmitowanego sygnału optycznego można wykorzystać metodę opartą na analizie wykresu oczkowego, metodę wykorzystującą monitorowanie podnośnej sygnału (tzw. tonu), technikę asynchronicznego histogramu amplitudy, technikę pomiaru grupowego opóźnienia pomiędzy wstęgami bocznymi sygnału optycznego [5]. Wykres oka jako podstawowa metoda dostarczająca informacji o jakości sygnału jest czuła na wszystkie zjawiska degradujące sygnał. Wpływ wielu zjawisk wpływa na kształt wykresu oka jednocześnie tak, że rozróżnienie każdego z nich niekiedy może być niemożliwe. Metody oparte o pomiar tonu pozwalają na monitorowanie wielu parametrów takich jak: dyspersja chromatyczna, polaryzacyjna, optyczny stosunek sygnału do szumu i moc sygnału. Techniki te wymagają modyfikacji nadajnika, tak aby dodać do pasma dodatkowy sygnał (ton). Pomiar każdego z parametrów odznacza się innym podejściem do tej techniki. Nie można mierzyć dyspersji chromatycznej i polaryzacyjnej naraz, trzeba wyizolować wpływ jednej z nich, aby pomiary były miarodajne. Techniki polegające na konstruowaniu asynchronicznego histogramu amplitudy nadają się do monitorowania sygnałów o różnych przepływnościach oraz formatach modulacji. Złożoność układu potrzebnego do monitorowania jest stosunkowo niska. Metoda może służyć do monitoringu optycznego stosunku sygnału do szumu, dyspersji chromatycznej oraz dyspersji polaryzacyjnej. Metody oparte o detekcję opóźnienia między wstęgami wykazują przydatność przy sygnałach o różnych przepływnościach i formatach modulacji. Układ pomiarowy nie jest skomplikowany z uwagi na brak układu odzyskiwania zegara. W praktyce technika ta pozwala na monitorowanie tylko dyspersji chromatycznej [5].

Na tle wymienionych rozwiązań metrologicznych wybija się swoją kompleksowością pomiarową metoda ADTS (Asynchronous Delay Tap Sampling).

4. Metoda ADTS

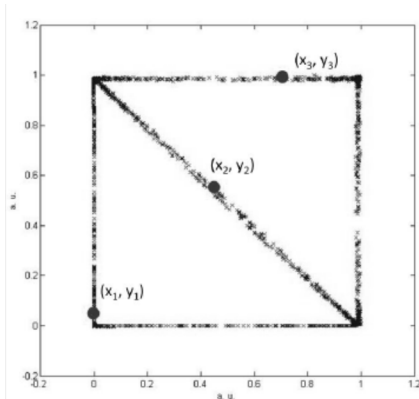
Metoda ADTS pozwala na bezpośredni pomiar zniekształcenia sygnału bez potrzeby odzyskiwania synchronizacji zegarowej. W metodzie ADTS w odbiorniku sygnał zostaje poddany demodulacji i zamianie z optycznego na elektryczny. Następnie już elektryczny sygnał zostaje rozdzielony na dwie linie z czego jedna wprowadza zadane fizyczne opóźnienie Δt . W ten sposób w linii opóźniającej propaguje opóźniona kopia oryginalnego sygnału. Oba sygnały z obydwu linii (oryginalny i opóźniony) trafiają na dwa wejścia analizatora, w którym następuje proces próbkowania. Wynikiem pojedynczego procesu próbkowania sygnałów z dwóch linii jest para próbek [1]. Sposób pobierania próbek z elektrycznego przebiegu sygnału ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Sposób pobierania próbek z przebiegu sygnału w metodzie ADTS: x_i i y_i - jednocześnie pobrana para próbek; Δt - opóźnienie między próbkami z pary; T_s - okres próbkowania

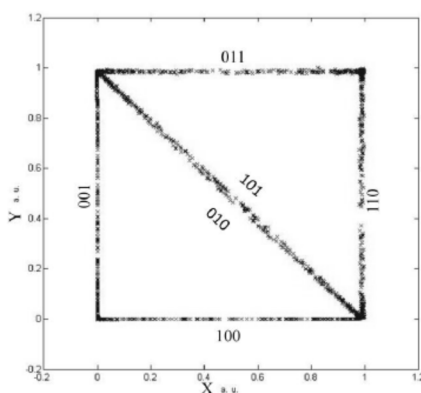
Fig. 1. Sampling of the waveform in the ADTS method: x_i i y_i - simultaneously sampled pair; Δt - value of the delay in delay-tap; T_s - sampling period

Pionowe linie na rys. 1 pokazują momenty pobierania próbek sygnału. Jak widać próbki są pobierane z różnych miejsc przebiegu sygnału. Okres próbkowania T_s nie jest powiązany z przepływnością monitorowanego sygnału i może być wiele rzędów mniejszy. Z uzyskanych par próbek konstruuje się wykresy punktowe, na których wartości próbek x_i i y_i są współrzędnymi konkretnego punktu na wykresie. Przykładowy wykres punktowy będący bezpośrednim wynikiem działania metody ADTS pokazano na rys. 2.



Rys. 2 Sposób reprezentacji pobranych próbek sygnału na wykresie punktowym
Fig. 2. Representation of the samples on the scatter plot

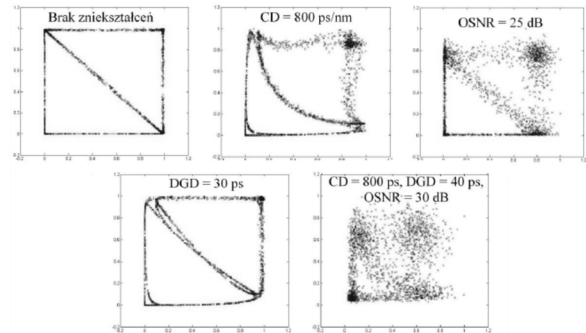
Kształt wykresów punktowych jest zależny od wielu parametrów sygnału dlatego badana metoda może być użyta do monitorowania m.in.: dyspersji chromatycznej (CD), dyspersji polaryzacyjnej (DGD), przeniku międzykanałowego (rzadko) oraz optycznego stosunku sygnału do szumu (OSNR). Metody oparte na technice Delay Tap Sampling pozwalają na monitorowanie sygnałów o różnych przepływnościach i formatach modulacji. Układ pomiarowy nie jest prosty, ponieważ wymaga zastosowania precyzyjnego dopasowania opóźnienia w linii opóźniającej z której jest uzyskiwana druga próbka z pary. Niemniej jednak ogromną zaletą tej metody jest jej asynchroniczność dzięki, której nie jest wymagane odzyskiwanie synchronizacji zegarowej w odbiorniku. Technika ADTS pozwala geometrycznie odseparować od siebie różne trzy bitowe sekwencje (rys. 3), a przede wszystkim wydzieliła sekwencje 010 i 101, które są najbardziej wrażliwe na zniekształcenia sygnału.



Rys. 3. Rozdzielanie sekwencji bitów na wykresie punktowym
Fig. 3. Representation of the sampled bit sequences

Sposób interpretacji wyników metody ADTS polega na tym, iż każdy z parametrów ma inny wpływ na kształt wykresów punktowych. W przypadku opóźnienia $\Delta t = 1 \cdot T_b$ (T_b – czas trwania bitu) dyspersja chromatyczna zagina górną i prawą krawędź do środka, szum ASE (Amplified Spontaneous Emission) pogarszający OSNR za to niejako rozmywa te krawędzie, DGD w charakterystyczny sposób zaokrągla lewy górny i prawy dolny róg wykresu. Rysunek 4 ilustruje wpływ różnych parametrów na kształt wykresu punktowego dla opóźnienia $\Delta t = 1 \cdot T_b$.

Do wyznaczenia wartości parametrów wielkości fizycznych, których wpływ na transmisję danych jest zobrazowanych na wykresach punktowych ADTS stosuje się kilka metod komputerowych. Do najczęściej wzmiankowanych w literaturze naukowo-technicznej należy zaliczyć: użycie funkcji Kernel'a, zastosowanie sieci neuropodobnych, transformację Hough'a i metrykę Hausdorff'a [6].



Rys. 4. Wpływ różnych zjawisk na kształt wykresów punktowych
Fig. 4. Influence of different impairments on the scatter plot

Jednym ze sposobów automatycznego wyznaczania wartości monitorowanych parametrów jest metoda opierająca się na statystycznym rozpoznawaniu wzorców przy użyciu funkcji Kernel'a. Główną cechą tego podejścia jest założenie podstawowej zależności między badanymi danymi (w ADTS wykresami punktowymi). Wyznaczenie monitorowanych parametrów poprzedzone jest procesem uczenia, w którym na podstawie funkcji Kernel'a i pewnego zbioru wykresów punktowych obliczany jest predyktor danego parametru. W opublikowanym w [7] eksperymencie sprawdzono możliwość wyznaczania w/w sposobem dyspersji chromatycznej i polaryzacyjnej przy zmiennym OSNR dla sygnału o przepływności 40 Gbit/s formacie kodowania NRZ (ang. Non Return to Zero) i modulacji fazy. Uzyskano dokładność wyznaczania dyspersji chromatycznej na poziomie ± 11 ps/nm w zakresie 0-400 ps/nm i DGD $\pm 1,9$ ps w zakresie 0-22,5 ps przy OSNR zmieniającym się od 15 do 25 dB [7].

Metrykę Hausdorff'a nazywaną także odległością Hausdorff'a intuicyjnie można określić jako maksymalną odległość zbioru punktów do najbliższego punktu w drugim zbiorze. Metryka Hausdorff'a jest przede wszystkim stosowana w algorytmach rozpoznawania obrazów. Zastosowano ją również do analizy wykresu ADTS [8].

Odległość Hausdorff'a pomiędzy dwoma zbiorami punktów A i B definiuje się jako funkcję maksimum według następującego wzoru [9]:

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \left\{ \min_{b \in B} \{d(a, b)\} \right\}, \quad (1)$$

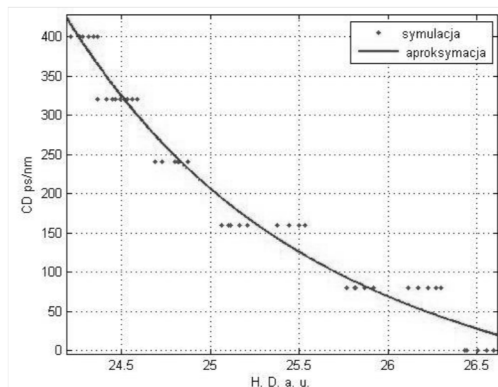
gdzie a i b to punkty należące odpowiednio do zbioru A i B.

Działanie algorytmu obliczającego odległość Hausdorff'a jest dosyć proste. Najpierw obliczane są odległości dla każdego punktu ze zbioru A do najbliższego punktu w zbiorze B. Następnie z obliczonych odległości wybiera się największą i jej przypisuje się wartość metryki Hausdorff'a. Należy zaznaczyć, że odległość Hausdorff'a jest zorientowana asymetrycznie, czyli zazwyczaj $h(A, B)$ nie jest równe $h(B, A)$. Dlatego bardziej ogólna definicja metryki Hausdorff'a wygląda następująco [9]:

$$H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\}. \quad (2)$$

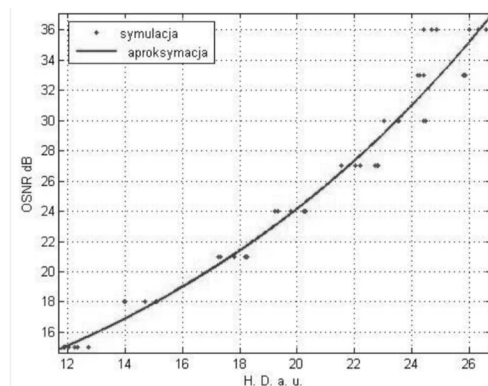
Za pomocą symulacji komputerowych wykonanych w programie OptSim 4.0 sprawdzono zachowanie się metryki Hausdorff'a, która posłużyła do porównywania dwóch zbiorów punktów będących wynikiem działania metody ADTS. Wyznaczono zależność mierzonych parametrów od wartości metryki Hausdorff'a w warunkach istnienia zjawisk dyspersji chromatycznej, polaryzacyjnej i optycznego szumu typu ASE (czyli zmieniającej się wartości

OSNR). Wykonano oddzielne pomiary dla trzech opóźnień Δt w linii opóźniającej równych kolejno czasowi trwania: jednego bitu, pół bitu i jednej czwartej bitu sygnału (T_b). Symulacje wykonano dla sygnału o przepływności 10 Gbit/s, kodowaniu NRZ i formacie modulacji OOK [10]. Poniżej przedstawiono wybrane z [10] wyniki przeprowadzonych symulacji. Na rys. 5, 6 i 7 pokazano zależność odpowiednio dyspersji chromatycznej, optycznego stosunku sygnału do szumu i dyspersji polaryzacyjnej od metryki Hausdorffa.



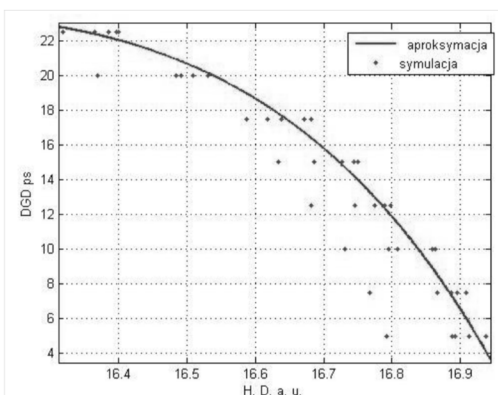
Rys. 5. Zależność dyspersji chromatycznej od metryki Hausdorffa przy wartościach OSNR od 24 do 36 dB i DGD od 0 do 22,5 ps; opóźnienie $\Delta t = 1 \cdot T_b$

Fig. 5. Dependence of the chromatic dispersion on the Hausdorff metric; values of the other impairments: OSNR 24-36 dB and DGD 0-22,5 ps; delay $\Delta t = 1 \cdot T_b$



Rys. 6. Zależność OSNR od metryki Hausdorffa przy wartościach dyspersji chromatycznej od 0 do 400 ps/nm i DGD od 0 do 22,5 ps; opóźnienie $\Delta t = 1 \cdot T_b$

Fig. 6. Dependence of the OSNR on the Hausdorff metric; values of the other impairments: CD 24-36 dB and DGD 0-22,5 ps; delay $\Delta t = 1 \cdot T_b$



Rys. 7. Zależność DGD od metryki Hausdorffa przy wartościach OSNR od 24 do 36 dB i dyspersji chromatycznej od 0 do 400 ps/nm; opóźnienie $\Delta t = 0,5 \cdot T_b$

Fig. 7. Relationship of the DGD from Hausdorff metric; values of the other impairments: OSNR 24-26 dB and CD 24-36 dB; delay $\Delta t = 0,5 \cdot T_b$

5. Wnioski

Przedstawiona metoda Asynchronous Delay Tap Sampling (ADTS) służąca do monitorowania jakości pracy systemów telekomunikacji światłowodowej może być szczególnie użyteczna do monitorowania systemów teletransmisyjnych światłowodowych eksploatowanych w resortowej sieci kolejowej. Pozwala na wykrywanie zmian jakościowych sygnałów o dużych przepływnościach, co potwierdziły badania symulacyjne.

Wyznaczenie wartości dyspersji chromatycznej, dyspersji polaryzacyjnej oraz optycznego stosunku sygnału do szumu przy użyciu metody ADTS z metryką Hausdorffa jest możliwe, ale tylko gdy pozostałe (niewyznaczone) zjawiska nieznacznie degradują sygnał. Obliczenie wartości dyspersji chromatycznej obciążone błędem bezwzględnym nie większym niż 15 ps/nm wymaga, aby optyczny stosunek sygnału do szumu był nie mniejszy niż 30 dB, a dyspersja polaryzacyjna nie większa niż 15 ps.

Wyznaczanie dyspersji polaryzacyjnej można zrealizować z błędem poniżej 1 ps, ale gdy dyspersja chromatyczna nie przekracza wartości 80 ps/nm i optyczny stosunek sygnału do szumu jest nie mniejszy niż 30 dB. Optyczny stosunek sygnału do szumu można wyznaczyć z dokładnością do 0,5 dB, gdy dyspersja chromatyczna jest nie większa niż 160 ps/nm, a dyspersja polaryzacyjna nie większa niż 15 ps. Ponadto na podstawie dokładności obliczeń i zakresów niewyznaczanych parametrów stwierdzono, iż wyznaczanie dyspersji chromatycznej i optycznego stosunku sygnału do szumu należy realizować przy opóźnieniu Δt równym czasowi trwania jednego bitu, dyspersję polaryzacyjną przy Δt odpowiadającym czasowi trwania połowy symbolu sygnału [10].

6. Literatura

- [1] Khan F. N., Pak Tao Lau A., Li Z.: OSNR Monitoring for RZ-DQPSK Systems Using Half-Symbol Delay-Tap Sampling Technique, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 22, No. 11, pp. 823-825, 2010.
- [2] Siergiejczyk M., Gago S.: Kierunki rozwoju sieci telekomunikacyjnej dla potrzeb Zarządcy infrastruktury kolejowej. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości.
- [3] Siergiejczyk M., Perlicki K.: Badanie wybranych parametrów optycznych systemów teletransmisyjnych w sieci resortowej. Przegląd Elektrotechniczny. R. 89 NR 9/2013. Wyd. Sigma NOT, Warszawa 2013, str. 148-151.
- [4] Perlicki K.: Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych, WKiŁ, Warszawa, 2002.
- [5] Calvin C. K. Chan, Optical Performance Monitoring. Advanced Techniques for Next-Generation Photonic Networks, Elsevier, Amsterdam, 2010.
- [6] Anderson T. B., Kowalczyk A., Clarke K.: Multi Impairment Monitoring for Optical Networks, Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, No. 16, pp. 3729-3736, 2009.
- [7] Anderson T. B., Kowalczyk A., Clarke K., Dods S. D., Hewitt D., Li J. C.: Multi impairment monitoring for optical networks, Journal of Lightwave Technology Vol. 27, No. 16, pp. 3729-3736, 2006.
- [8] Kozicki B., Maruta A., Kitayama K. I.: Experimental Investigation of Delay-Tap Sampling Technique for Online Monitoring of RZ-DQPSK Signals, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 21, No. 3, pp. 179-181, 2009.
- [9] Zhao J., Lu Ch., Lam K., Li Z., Tam H. Y., Wai P. K. A.: A novel optical signal monitoring method of DPSK Signac based on delay tap sampling and Hausdorff distance measure, Conference on Lasers and Electro-Optics, pp.1-2, 2008.
- [10] Walewski P.: Monitorowanie sieci transmisji optycznej metodą Asynchronous Delay Tap Sampling, Praca Dyplomowa Inżynierska, Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.