

# Przegląd 7-8/2020 **ELEKOMUNIKACYJNY** WIADOMOŚCI TELEKOMUNIKACYJNE



Miesięcznik Stowarzyszenia  
Elektryków Polskich

ISSN 1230-3496, e-ISSN 2449-7487  
Cena: 61 zł (w tym 8% VAT)

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT 

ŁÓDŹ, 17-18 WRZEŚNIA 2020



Krajowa Konferencja  
Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji

Krajowe Sympozjum  
Telekomunikacji i Teleinformatyki

**KSTiT 2020**

# Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji

# 2020



## Krajowe Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki

Szanowni Państwo,

W tym roku, ze względu na ograniczenia związane z podejmowanymi środkami zapobiegającymi rozprzestrzenianiu się koronawirusa, Multikonferencja Krajowego Środowiska Tele- i Radiokomunikacyjnego nie mogła odbyć się w pierwotnie zaplanowanym terminie. Mimo wciąż niepewnej sytuacji epidemicznej, zdecydowaliśmy się zorganizować to ważne dla środowiska wydarzenie w nowym terminie 17–18 września 2020 r., a w celu ograniczenia liczby uczestników gromadzących się jednocześnie we wspólnej przestrzeni, zaplanowaliśmy to wydarzenie częściowo w formie zdalnej – sesje tematyczne zorganizowane zostaną w całości z użyciem środków komunikacji elektronicznej. W formie bezpośredniej odbędzie się uroczystość otwarcia, obrady komitetów sterujących i programowych, wystąpienia plenarne, panel dyskusyjny, a także wręczenie nagród (w tym Złotych Cyborgów i nagród przyznawanych przez Fundację Wspierania Rozwoju Radiokomunikacji i Technik Multimedialnych). W tych wydarzeniach będą brać udział członkowie komitetów programowych, autorzy referatów plenarnych, osoby nagrodzone oraz zaproszeni goście. Poza obradami komitetów wszystkie wymienione wydarzenia będą transmitowane online z dostępem dla wszystkich uczestników multikonferencji. Mam nadzieję, że taka forma, wymuszona szczególnymi okolicznościami, spełni swoje podstawowe zadanie i przyczyni się podtrzymania kontaktów i wymiany informacji w ramach krajowych środowisk związanych z szeroko rozumianą tele- i radiokomunikacją.

Zaproszone referaty plenarne będą dotyczyć ważnych i aktualnych zagadnień, takich jak: kierunki rozwoju systemów

komórkowych szóstej generacji, uwarunkowania propagacyjne w sieciach 5G/6G, charakterystyka środowiska elektromagnetycznego w systemach 5G, wojskowe federacyjne sieci misyjne, czy systemy wielodostępowego przetwarzania brzegowego.

Wzorem lat ubiegłych, wszystkie zaakceptowane referaty będą opublikowane w postaci elektronicznej na płycie CD, tym razem dołączonej do wrześniowego wydania Przeglądu Telekomunikacyjnego i Wiadomości Telekomunikacyjnych. Tradycyjnie, podczas sesji otwarcia Konferencji, odbędzie się ogłoszenie wyników oraz wręczenie nagród ogólnopolskiego konkursu o nagrodę Fundacji Wspierania Rozwoju Radiokomunikacji i Technik Multimedialnych na najlepszą pracę doktorską z dziedziny radiokomunikacji i technik multimedialnych. Odbędzie się również konkurs na najlepsze referaty wygłoszone przez młodych autorów, w którym nagrody są fundowane także przez FWRRiTM.

Gorąco dziękuję sponsorom za nieocenione wsparcie finansowe. Słowa podziękowania kieruję do Komitetów Programowych za pracę związaną z recenzowaniem zgłoszonych referatów. Wyrażam wdzięczność Komitetowi Organizacyjnemu za wielomiesięczną, wytrwałą i kreatywną pracę.

Wszystkim Uczestnikom Multikonferencji 2020 życzę owocnych obrad i inspirujących dyskusji.

Przewodniczący Komitetu Programowego  
KKRRiT 2020 i KSTiT 2020

Sławomir Hausman



# PRZEGLĄD TELEKOMUNIKACYJNY – WIADOMOŚCI TELEKOMUNIKACYJNE

## Tele-Radio-Elektronika, Informatyka

### TELECOMMUNICATION REVIEW – TELECOMMUNICATION NEWS

#### Tele-Radio-Electronics, Information Technology

7–8 '2020

#### KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor naczelny: dr inż. BOGDAN ZBIERZCHOWSKI  
Z-ca red. naczelnego: mgr HANNA WASIAK  
Redaktorzy: mgr WITOLD GRABOŚ, prof. dr hab. inż. TADEUSZ ŁUBA,

Redaktor językowy: mgr HANNA WASIAK  
Opracowanie graficzne: dr inż. PAWEŁ TOMASZEWICZ  
Redaktor statystyczny: dr inż. GRZEGORZ BOROWIK  
Redakcyjna strona internetowa: dr inż. MARIUSZ RAWSKI

#### RADA PROGRAMOWA

prof. dr hab. inż. Józef Modelski (przewodniczący), mgr inż. Krystyn Antczak,  
prof. dr hab. inż. Jerzy Czajkowski, prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrogowski, dr  
inż. Andrzej Dulka, mgr inż. Andrzej Grześkowiak, mgr inż. Bertrand Le Guern,  
[prof. dr hab. inż. Stefan Hahn], prof. dr hab. inż. Andrzej Jajszczyk, inż. Stefan  
Kamiński, inż. Zdzisław Kleszcz, mgr inż. Krzysztof Kwiecień, mgr inż. Zbigniew  
Lange, prof. dr hab. inż. Józef Lubacz, dr inż. Janusz Morawski, dr inż. Andrzej  
Wilk, prof. dr hab. inż. Tadeusz Więckowski, prof. dr hab. inż. Józef Woźniak, płk  
dr inż. Mieczysław Żurawski

Redakcja: ul. Ratuszowa 11 (budynek Instytutu Tele- i Radiotechnicznego),  
VII piętro, pokój 737, tel. 22 670-08-20 (+ poczta głosowa), tel. kom. 501 222 782.  
Przyjęcia interesantów w godz. 10–14.

Adres do korespondencji: ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa 1

E-mail: [przeg.tel@sigma-not.pl](mailto:przeg.tel@sigma-not.pl), [przeg.tel@interia.pl](mailto:przeg.tel@interia.pl)

Internet: [www.przegladtelekomunikacyjny.pl](http://www.przegladtelekomunikacyjny.pl)

Czasopismo dostępne wyłącznie w prenumeracie

Artykułów niezamówionych redakcja nie zwraca.

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów i poprawek w nadesłanych  
materiałach.

Przygotowanie: Studio DTP SIGMA-NOT Sp. z o.o.

Druk i oprawa: Drukarnia Wydawnictwa SIGMA-NOT, [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)

PRASA FACHOWA

**SIGMA-NOT**  
[www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)

03-450 Warszawa, ul. Ratuszowa 11

tel.: 22 818-09-18, 22 818-98-32

Internet: <http://www.sigma-not.pl>

#### Prenumerata

e-mail: [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl)

#### Sekretariat

e-mail: [sekretariat@sigma-not.pl](mailto:sekretariat@sigma-not.pl)

#### Dział Reklamy i Marketingu

e-mail: [reklama@sigma-not.pl](mailto:reklama@sigma-not.pl)

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym *Przeгляд Telekomunikacyjny*  
i *Wiadomości Telekomunikacyjne* otrzymuje 5 pkt. zgodnie z rozporządzeniem  
MNiSW z dn. 22.02.2019 r. w sprawie ewaluacji jakości naukowej.

Artykuły naukowe publikowane w niniejszym zeszycie są recenzowane.

Zeszyt wydany w wersji elektronicznej jako pierwotnej (referencyjnej)

Zamówienia na ogłoszenia należy kierować pod adresem Redakcji (adres jak  
wyżej) lub Działu Reklamy i Marketingu Wydawnictwa SIGMA-NOT,  
ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa, tel. 22 827-43-65, fax 22 826-80-16.

Za treść i wygląd graficzny ogłoszeń Redakcja nie bierze odpowiedzialności.

Cena zeszytu: 61 zł (w tym 8% VAT)

Nakład do 5000 egz.

## TREŚĆ

|  |                |
|--|----------------|
| <b>S. HAUSMAN</b><br>KRAJOWA KONFERENCJA RADIOKOMUNIKACJI, RADIOFONII<br>I TELEWIZJI KKRRIT, ŁÓDŹ 2020 .....   | <b>II okł.</b> |
| <b>Referaty plenarne</b>   |                |
| <b>A. KLIKS</b><br>Sieci 6G: kierunki rozwoju i wyzwania .....   | <b>115</b>     |
| <b>R. J. KATULSKI</b><br>Uwarunkowania propagacyjne w sieciach 5G/6G .....   | <b>122</b>     |
| <b>P. BIENKOWSKI</b><br>Środowisko elektromagnetyczne w przededniu wdrożenia 5G .....  | <b>129</b>     |
| <b>KRAJOWE SYMPOZJUM TELEKOMUNIKACJI I TELEINFORMATYKI<br/>KSTIT, ŁÓDŹ 2020</b>  |                |
| <b>Referaty plenarne</b>   |                |
| <b>G. RÓŻAŃSKI</b><br>Federacyjne sieci misyjne (FMN) w wojskowych systemach łączności –<br>architektura, protokoły i technologie komunikacyjne .....  | <b>137</b>     |
| <b>A. BĘBEN, W. BURAKOWSKI, B. BELTER, D. PARNIEWICZ</b><br>Architektura systemu MEC dla wspierania zaawansowanych aplikacji<br>w środowisku sieci przewodowych i bezprzewodowych 3G/4G/5G .....   | <b>144</b>     |
| <b>Sesja specjalna</b>   |                |
| <b>M. HOEFT, K. GIERŁOWSKI, J. WOŹNIAK, W. GUMIŃSKI,<br/>K. NOWICKI, D. WIĘCEK, I. MICHALSKI, D. WYPIÓR</b><br>Moduł platformy SyMEC odpowiedzialny za współpracę serwera<br>MEC z sieciami komórkowymi i bezprzewodowymi sieciami<br>dostępowymi WLAN ..... | <b>149</b>     |
| <b>P. WIEŻEL, M. SOSNOWSKI, A. BĘBEN</b><br>Ocena wydajności prototypu serwera MEC wykorzystującego<br>procesory ARM CAVIUM .....  | <b>154</b>     |
| <b>R. ŁAPACZ, M. BALCERKIEWICZ, B. BELTER, A. BINCZEWSKI,<br/>K. MARTYN, D. PARNIEWICZ</b><br>Integracja systemu MEC z systemami OSS/BSS .....   | <b>159</b>     |
| <b>B. BELTER, A. BINCZEWSKI, B. KRAKOWIAK,<br/>T. ŁYSIAK, K. MARTYN, D. PARNIEWICZ</b><br>Zarządzanie aplikacjami w systemie MEC .....   | <b>165</b>     |

## CONTENTS

|   |                |
|---|----------------|
| <b>S. HAUSMAN</b><br>NATIONAL CONFERENCE ON RADIOCOMMUNICATION,<br>BROADCASTING AND TELEVISION KKRRIT, ŁÓDŹ 2020 .....  | <b>II okł.</b> |
| <b>Plenary address</b>  |                |
| <b>A. KLIKS</b><br>6G networks: research directions and prospective challenges posed .....  | <b>115</b>     |
| <b>R. J. KATULSKI</b><br>Radiowave propagation aspects in 5G/6G networks .....  | <b>122</b>     |
| <b>P. BIENKOWSKI</b><br>The electromagnetic environment on the eve of the implementation of 5G<br>THE NATIONAL SYMPOSIUM TELECOMMUNICATIONS AND<br>TELEINFORMATICS KSTIT, ŁÓDŹ 2020 | <b>129</b>     |
| <b>Plenary address</b>  |                |
| <b>G. RÓŻAŃSKI</b><br>Federated mission networks (FMN) in military communications<br>systems – architecture, protocols and communication technologies ...                           | <b>137</b>     |
| <b>A. BĘBEN, W. BURAKOWSKI, B. BELTER, D. PARNIEWICZ</b><br>Architecture of the MEC system enabling advanced applications<br>in wired and wireless 3G/4G/5G networks .....          | <b>144</b>     |
| <b>Special session</b>  |                |
| <b>M. HOEFT, K. GIERŁOWSKI, J. WOŹNIAK, W. GUMIŃSKI,<br/>K. NOWICKI, D. WIĘCEK, I. MICHALSKI, D. WYPIÓR</b><br>SyMEC integration module for 3GPP and WLAN access systems .....      | <b>149</b>     |
| <b>P. WIEŻEL, M. SOSNOWSKI, A. BĘBEN</b><br>On performance evaluation of experimental multi-access EDGE<br>computing server build on ARM CAVIUM processors .....                    | <b>154</b>     |
| <b>R. ŁAPACZ, M. BALCERKIEWICZ, B. BELTER, A. BINCZEWSKI,<br/>K. MARTYN, D. PARNIEWICZ</b><br>Integration of the MEC system with OSS/BSS systems .....                              | <b>159</b>     |
| <b>B. BELTER, A. BINCZEWSKI, B. KRAKOWIAK,<br/>T. ŁYSIAK, K. MARTYN, D. PARNIEWICZ</b><br>Application management in the MEC system .....  | <b>165</b>     |

## LISTA RECENZENTÓW

Prof. dr hab. Adam Abramowicz  
 Prof. dr hab. Marek Amanowicz  
 Prof. dr hab. Andrzej Dobrowolski  
 Prof. dr hab. Piotr Gajewski  
 Prof. dr hab. Marcin Iwanowski  
 Dr hab. Jacek Izydorczyk  
 Prof. dr hab. Tomasz Kacprzak  
 Prof. dr hab. Andrzej Karwowski  
 Prof. dr hab. Ryszard Katulski  
 Prof. dr hab. Bogdan Kwolek

Prof. dr hab. Roman Kubacki  
 Prof. dr hab. Lidia Łukasiak  
 Prof. dr hab. Stanisław Osowski  
 Dr hab. inż. Andrzej Paszkiewicz  
 Prof. dr hab. Krzysztof Perlicki  
 Prof. dr hab. Grzegorz Różański  
 Dr hab. inż. Jacek Stefański  
 Dr hab. Zenon Szczepaniak  
 Prof. dr hab. Maciej Walkowiak  
 Prof. dr hab. Krzysztof Wesolowski  
 Prof. dr hab. Ryszard Zieliński

## WARUNKI PRENUMERATY

Zamówienia na prenumeratę czasopism wydawanych przez Wydawnictwo SIGMA-NOT można składać w **dowolnym terminie**. Mogą one obejmować dowolny okres czasu, tzn. dotyczyć dowolnej liczby kolejnych zeszytów każdego czasopisma.

Zamawiający – po dokonaniu wpłaty – może otrzymywać zaprenumerowane przez siebie tytuły poczynawszy od następnego miesiąca. Zamówienia na zeszyty sprzed daty otrzymania wpłaty będą realizowane w miarę możliwości z posiadanych zapasów magazynowych.

**Prenumerata roczna** czasopism Wydawnictwa jest możliwa w dwóch wariantach:

- prenumerata w wersji papierowej,
- prenumerata w wersji **PLUS** (prenumerata w wersji papierowej + roczny dostęp do Portalu Informacji Technicznej w ramach zaprenumerowanego tytułu).

PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ – to największa internetowa baza artykułów technicznych, umożliwiająca dostęp on-line do tysięcy publikacji z lat 2004–2011. Dostęp do Portalu tylko dla klientów, którzy wykupili prenumeratę w wersji papierowej.

Prenumeratory, podpisujący z Wydawnictwem **umowę prenumeraty ciągłej** (odnawianej automatycznie co roku), otrzymują **10% bonifikaty** od cen katalogowych czasopism.

Członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w FSNT-NOT oraz uczniowie szkół technicznych każdego szczebla mają prawo do zaprenumerowania 1 egz. wybranego czasopisma po cenie ulgowej – pod warunkiem przesłania do Wydawnictwa formularza zamówienia (lub kserokopii blankietu wpłaty), ostemplowanego pieczęcią koła SNT lub szkoły.

### Prenumeratę można zamówić:

faksem: 22 891 13 74, 22 840 35 89, 22 840 59 49  
 mailem: [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl)  
 poprzez Internet: [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)  
 listownie: Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o.,  
 ul. Ku Wiśle 7, 00-707 Warszawa  
 telefonicznie: 22 840 35 89  
 fax: 22 891 13 74

Na życzenie klienta wysyłamy blankiety zamówień wraz z aktualną listą tytułów i cennikiem czasopism.

Warunkiem przyjęcia i realizacji zamówienia jest otrzymanie z banku potwierdzenia dokonania wpłaty przez prenumeratora. Dokument wpłaty jest równoznaczny ze złożeniem zamówienia.

Wpłaty na prenumeratę można dokonywać na ogólnie dostępnych blankietach w urzędach pocztowych (przekazy pieniężne) lub bankach (polecenie przelewu), przekazując środki na konto:

**Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.:**

ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa

Bank PKO S.A., nr konta: 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577

Na blankiecie wpłaty należy czytelnie podać nazwę zamawianego czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres, wersję i cenę prenumeraty oraz adres zamawiającego.

W przypadku zmiany cen w okresie objętym prenumeratą lub zmian stawki VAT, Wydawnictwo zastrzega sobie prawo do wystąpienia o dopłatę różnicy cen oraz prawo do realizowania prenumeraty tylko w pełni opłaconej.

### Cennik PTiWT na 2020 r.

|   |                         |
|---|-------------------------|
| Cena 1 egzemplarza .....                  | 30,50 zł                |
| Prenumerata w wersji papierowej           |                         |
| roczna .....                              | 366,00 <sup>*)</sup> zł |
| półroczna (+ opłata za dostawę) .....     | 198,00 zł               |
| kwartalna (+ opłata za dostawę) .....     | 99,00 zł                |
| Prenumerata roczna z 10% rabatem          |                         |
| <b>(umowa ciągła w wersji PLUS)</b> ..... | 437,40 zł               |
| <b>Prenumerata w wersji PLUS</b> .....    | 486,00 zł               |

<sup>\*)</sup> Do cen należy doliczyć opłatę roczną za dostawę czasopisma w wysokości 30 zł

## SYMBOLE TEMATYKI ARTYKUŁÓW

|                    |                         |                     |                            |                  |           |                  |                     |                                       |              |                 |              |
|--------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|-----------|------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------|-----------------|--------------|
|                    |                         |                     |                            |                  |           |                  |                     |                                       |              |                 |              |
| ZAGADNIENIA OGÓLNE | SIECI TELEKOMUNIKACYJNE | USŁUGI MULTIMEDIA   | ELEMENTY UKŁADY METODY     | TELETRANSMISJA   | TELEFONIA | TELEINFORMACYKA  | OPTOTELEKOMUNIKACJA | RADIOKOMUNIKACJA RADIOFONIA TELEWIZJA | POMIARY      | EKONOMIKA PRAWO | SPONSOROWANE |
| GENERAL PROBLEMS   | COMMUNICATION NETWORKS  | SERVICES MULTIMEDIA | COMPONENTS DEVICES METHODS | TELETRANSMISSION | TELEPHONY | COMPUTER SCIENCE | OPTOCOMMUNICATIONS  | RADIOCOMMUNICATION RADIO TELEVISION   | MEASUREMENTS | ECONOMICS LAW   | SPONSORING   |

Agnieszka Czapiewska<sup>1</sup>  
Andrzej Łuksza<sup>2</sup>  
Ryszard Studański<sup>2</sup>  
Andrzej Żak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

[agnieszka.czapiewska@pg.edu.pl](mailto:agnieszka.czapiewska@pg.edu.pl)

<sup>2</sup>Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny

ul. Morska 81-87, 81-255 Gdynia

[a.luksza@we.umg.edu.pl](mailto:a.luksza@we.umg.edu.pl) (A.Ł.), [rstudanski@we.umg.edu.pl](mailto:rstudanski@we.umg.edu.pl) (R.S.)

<sup>3</sup>Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny

ul. Śmidowicza 69, 81-127 Gdynia

[a.zak@amw.gdynia.pl](mailto:a.zak@amw.gdynia.pl)

DOI: 10.15199/59.2020.7-8.54



Łódź, 17-18 września 2020

## DOBÓR PARAMETRÓW FILTRACJI W CEPSTRUM DLA POTRZEB POPRAWY JAKOŚCI ODBIERANEGO SYGNAŁU

### TUNING PARAMETERS OF FILTRATION IN CEPSTRUM FOR RECEIVED SIGNAL QUALITY IMPROVEMENT

**Streszczenie:** W referacie zaproponowano metodę eliminacji wpływu efektu wielodrogowości poprzez analizę i filtrację odbieranego sygnału w cepstrum. Analiza taka, pozwala na wykrycie istnienia repliki (echa) sygnału nadawanego oraz odfiltrowanie tej repliki, co poprawia jakość realizowanej transmisji sygnału. W referacie zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych.

**Abstract:** In paper a method of multipath propagation effect reduction based on analysis in cepstrum is presented. In this method signal in cepstrum is analysed, the signal replicas (echo) are detected and filtered, what leads to transmission quality improvement. In paper simulation results are presented.

**Słowa kluczowe:** cepstrum, propagacja wielodrogowa, przetwarzanie sygnałów.

**Keywords:** cepstrum, multipath propagation, signal processing.

#### 1. WSTĘP

Cepstrum zostało opracowane w celu badania echa w odbieranych sygnałach dźwiękowych oraz sygnałach sejsmicznych. Obecnie analiza sygnałów w ich postaci cepstralnej ma wiele możliwych zastosowań w różnych obszarach np.: jest stosowana do analizy sygnałów mowy [6], do identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach inżynierskich [5], wykrywania zaburzenia głosu [7], rozróżniania emocji [8], estymacji tętna [3], a nawet wykrywania zmian w strukturach biologicznych [1]. Analizując cepstrum sygnału można wykrywać istnienie repliki sygnału nadawanego, która w punkcie odbioru świadczy o występowaniu propagacji wielodrogowej. Ponadto transformacja cepstralna jest całkowicie odwracalna – można przeprowadzić operację odwrotną do transformacji cepstralnej i uzyskać sygnał wejściowy. Postanowiono więc zbadać, czy możliwe jest skuteczne przetwarzanie sygnału w cepstrum tak, by stłumić repliki

sygnału w punkcie odbioru wynikające z wpływu efektu wielodrogowości w celu poprawy jakości sygnału odbieranego. W referacie zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych, które mają zostać następnie użyte do realizacji transmisji w kanale hydroakustycznym. W punkcie 2 zaprezentowano analizę w cepstrum oraz propozycję filtracji replik sygnału. W punkcie 3 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych potwierdzających skuteczność zaproponowanej metody. Przeanalizowano m.in. wpływ głębokości filtracji oraz szerokości okna filtracji na jakość realizowanej transmisji. W punkcie 4 podsumowano uzyskane wyniki.

#### 2. OPIS METODY

Sygnał rejestrowany w punkcie odbioru, propagowany w rzeczywistym kanale radiowym czy też hydroakustycznym, stanowi splot sygnału nadawanego oraz odpowiedzi impulsowej kanału, w którym realizowana jest transmisji co można zapisać następująco:

$$x(n) = s(n) * h(n, p), \quad (1)$$

gdzie  $x(n)$  to odebrany sygnał,  $s(n)$  – nadany sygnał,  $h(n, p)$  – odpowiedź impulsowa kanału w punkcie  $p$  i w dyskretnej chwili czasu  $n$ . Przyjmijmy, że nadano sygnał sinusoidalny o częstotliwości nośnej  $f_c$  i zmodulowany ciągiem pseudoprzygodkowym  $z(n)$

$$s(n) = z(n)\sin(2\pi f_c n). \quad (2)$$

W wyniku wpływu zjawiska propagacji wielodrogowej można przyjąć, że odbierany sygnał jest złożeniem sygnału nadawanego oraz opóźnień tego sygnału. Przy czym opóźnienia poszczególnych replik sygnału wynikają z długości danej ścieżki propagacyjnej, natomiast na amplitudę danej repliki wpływ ma także rodzaj materiału tworzącego przeszkodę, od której nastąpiło odbicie, rozproszenie lub ugięcie sygnału

$$x(n) = s(n) + \sum_{i=1}^M \alpha_i s(n - n_i) + w(n), \quad (3)$$

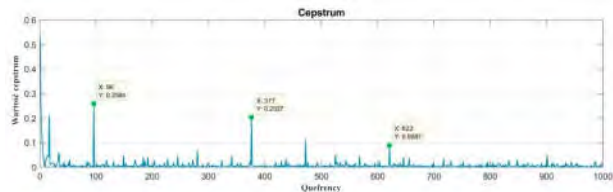
gdzie:  $w(n)$  – szum,  $\alpha_i$  – współczynnik amplitudy  $i$ -tej repliki,  $n_i$  – opóźnienie  $i$ -tej repliki,  $M$  – liczba znaczących replik transmitowanego sygnału.

Podstawą prezentowanej metody jest spostrzeżenie, że po wyznaczeniu odwrotnej transformaty Fouriera ze zlogarytmowanego widma sygnału (3) (przeprowadzenia przekształcenia do cepstrum) obserwuje się maksima lokalne, które odpowiadają kombinacji liniowej opóźnień [10], [11] poszczególnym replikom. Przekształcenie do cepstrum zespolonego opisane jest następującym wzorem

$$c(n) = C(x(n)) = F^{-1}(\ln(F(x(n)))) \quad (4)$$

gdzie  $F$  oznacza transformatę Fouriera, a  $F^{-1}$  odwrotną transformatę Fouriera.

Tak uzyskane cepstrum odebranego sygnału zawiera składowe sygnału nadanego oraz składowe wynikające z obecności replik sygnału [12], które są widoczne jako prążki w cepstrum. Na rys. 1 pokazano fragment przykładowego cepstrum sygnału odebranego zawierającego trzy repliki opóźnione względem sygnału przychodzącego do odbiornika najkrótszą ścieżką o odpowiednio 0,194 ms (97 próbek), 0,754 ms (377 próbek) i 1,244 ms (622 próbki). Amplituda sygnału pierwotnego była ustalona na 1, a amplitudy replik wynosiły odpowiednio 0,7, 0,6 i 0,31. Na rysunku repliki w cepstrum oznaczono kolorem zielonym.



Rys. 1. Fragment cepstrum z oznaczonymi kolorem zielonymi prążkami odpowiadającymi replikom sygnału

Wiedząc, które składowe cepstrum odpowiadają sygnałom niepożądanym można takie składowe odfiltrować. Należy zauważyć, że cepstrum sygnału jest symetryczne względem połowy długości analizowanego sygnału (rozważano sygnały rzeczywiste). Stąd prążki pochodzące od replik sygnału pojawiające się w cepstrum są widoczne po jego lewej jak i po prawej stronie. Przeprowadzono więc badanie, które pozwoliło ocenić, które składowe cepstrum należy filtrować: po prawej stronie, po lewej czy filtracja ma być obustronna. Badanie to oraz uzyskane wyniki przedstawiono w punkcie 3.1.

Filtrację w cepstrum można opisać wzorem

$$c(m+k) = c(m+k)g(k), \quad k = -l, \dots, l \quad (5)$$

gdzie:  $m$  – numer składowej odpowiadającej wykrytej replice sygnału,  $l$  – połowa długości okna filtracji,  $g(k)$  – okno filtracji (przy czym w opisywanych badaniach przyjęto  $g(k) = 0$ ).

Znając cepstrum zespolone można ponownie wyznaczyć sygnał w dziedzinie czasu [2], [9]

$$x(n) = C^{-1}(c(n)) = F^{-1}(\exp(F(C(x(n))))). \quad (6)$$

Schemat blokowy procedury filtracji został pokazany na rys. 2.

W celu oceny jakości prezentowanej metody analizowano wybrane parametry statystyczne konstelacji sygnału. Podczas badań używano modulacji BPSK (Bi-

nary Phase Shift Keying), której konstelacja w idealnym przypadku powinna składać się z dwóch punktów, rozmieszczonych symetrycznie względem osi reprezentującej składową kwadraturową. W rzeczywistości te punkty charakteryzuje pewien rozrzut, który jest odwrotnie proporcjonalny do jakości odbieranego sygnału. Można więc, analizując jego wartość porównywać dwie konstelacje między sobą (przed zastosowaniem filtracji w cepstrum i po użyciu tej filtracji). Ponieważ w symulacjach użyto modulacji BPSK, dlatego wartość wariancji rozrzutu analizowano tylko dla składowej synfazowej, ponieważ tylko te wartości mają wpływ na podejmowaną decyzję o nadanej wartości symbolu

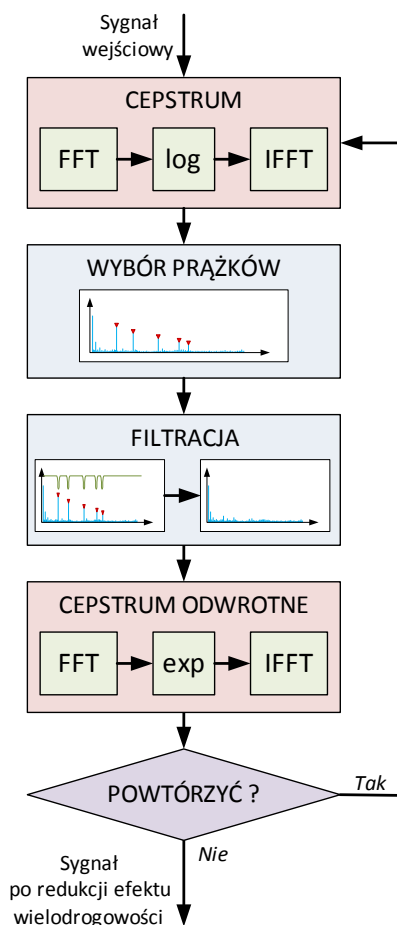
$$\sigma_I^2 = \frac{1}{m} \sum_{m=0}^{M-1} (y_{IC}(m) - \mu_I)^2, \quad (7)$$

gdzie:

$$\mu_I = \frac{1}{m} \sum_{m=0}^{M-1} y_{IC}(m), \quad (8)$$

$$y_{IC}(m) = |\sum_{l=0}^{L-1} y_c(m+l)|, \quad (9)$$

gdzie  $L$  – liczba próbek pojedynczego symbolu.



Rys. 2. Schemat blokowy metody eliminacji wpływu efektu wielodrogowości

Aby porównać jakość odbieranego sygnału po zastosowaniu opisanej filtracji i bez jej stosowania wyznaczano wartość parametru

$$v_I = \frac{\sigma_{IbezFiltracji}^2}{\sigma_{IpoFiltracji}^2}, \quad (10)$$

gdzie:  $\sigma_{IbezFiltracji}^2$  i  $\sigma_{IpoFiltracji}^2$  oznaczają odpowiednio wariancję konstelacji gdy nie zastosowano filtracji w cepstrum oraz gdy zastosowaną tą filtrację. Powyższy parametr będzie dalej w referacie nazywany „param-

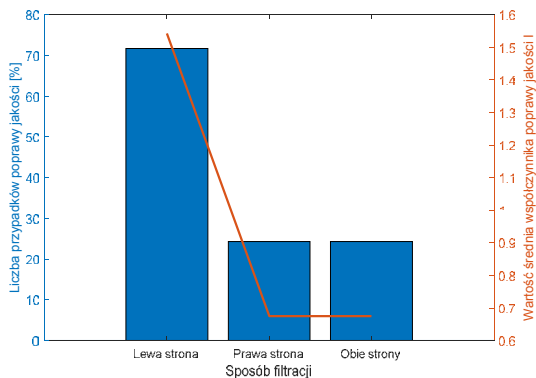
trem poprawy jakości I (PPJI)”. Parametr ten przyjmuje wartości większe od 1 gdy obserwuje się poprawę jakości po zastosowaniu filtracji. Wartość równą 1 gdy jakość odbieranego sygnału przed i po filtracji jest taka sama. Wartość mniejszą od 1 gdy po filtracji nastąpiło pogorszenie jakości sygnału odbieranego.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Opisywane dalej badania przeprowadzono dla sygnału BPSK. Długość stosowanej ramki wynosiła 280 bitów, które były poddane rozpraszaniu ciągiem PRBS o długości 63. Długość preambuły wynosiła 14 bitów o wartości 1. Pojedynczy bit był rozpraszany 9 chipami. Szerokość pasma sygnału zmodulowanego wynosiła 50 kHz, częstotliwość próbkowania 500 kHz, a częstotliwość nośna 100 kHz.

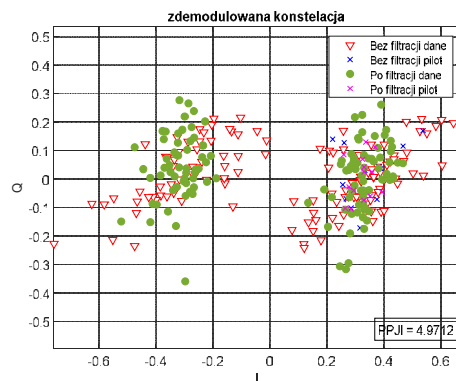
#### 3.1. Sposób filtracji

Jak wspomniano wcześniej cepstrum jest symetryczne względem połowy swojej długości: prążki odpowiadające danej replice pojawiają się symetrycznie po prawej i po lewej stronie cepstrum. Celem pierwszego badania było więc ustalenie, które składowe cepstrum odpowiadające danej replice należy poddać filtracji: czy filtracja ma być realizowana obustronnie czy też jednostronnie – po lewej czy po prawej stronie cepstrum. W tym celu zrealizowano 50 000 transmisji. Dla każdej transmisji losowano odpowiedź impulsową kanału: opóźnienia poszczególnych replik oraz ich amplitudę. Wartości te losowano dla 5 replik. Na rys. 3 pokazano wyniki przeprowadzonej symulacji. Wyraźnie widać, że



Rys. 3. Wpływ wyboru sposobu filtracji w cepstrum [4]

filtrowanie tylko składowych odpowiadających replikom sygnału znajdujących się po lewej stronie cepstrum daje największą poprawę jakości: największa jest liczba przypadków gdy poprawa jakości wystąpiła, a średni współczynnik PPJI wynosi 1,55. Natomiast, w przypadku pozostałych dwóch sposobów filtracji liczba przypadków poprawy jakości wynosiła tylko 24 %, a wartość PPJI wynosiła 0,7. Oznacza to, że filtracja składowych tylko po prawej stronie oraz obustronna pogarsza jakość odbieranego sygnału. Rys. 4 przedstawia przykładową konstelację odebranej pojedynczej ramki gdy zastosowano filtrację składowych replik tylko po lewej stronie cepstrum oraz gdy nie użyto filtracji.



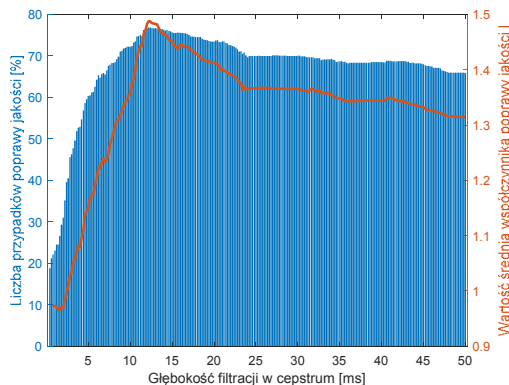
Rys. 4. Konstelacja odebranego sygnału bez użycia metody eliminacji wpływu efektu wielodrogowości oraz po użyciu filtracji tylko po lewej stronie cepstrum

Podczas dalszych badań filtrację stosowano wobec składowych tylko po lewej stronie cepstrum.

#### 3.2. Głębokość filtracji

Kolejnym badaniem była analiza wpływu liczby filtrowanych maksimów lokalnych na poprawę jakości sygnału odbieranego. Gdy w sygnale odbieranym znajduje się więcej niż jedna replika wówczas w cepstrum pojawiają się nie tylko prążki odpowiadające replikom, ale także prążki będące wynikiem sumowania i odejmowania się opóźnień poszczególnych replik. W związku z tym konieczne było zbadanie czy filtracji należy poddawać tylko składowe cepstrum odpowiadające replikom czy też składowe będące wielokrotnością, kombinacją tych opóźnień.

W rzeczywistości nie będą znane opóźnienia poszczególnych replik. Dlatego też, należy przeprowadzić analizę cepstrum sygnału odbieranego aby wykryć maksima lokalne odpowiadające replikom. Badaniu został poddany zakres w jakim maksima lokalne w cepstrum mają być poszukiwane. Zrealizowano szereg transmisji, dla których losowano odpowiedź impulsową kanału, analogicznie jak w poprzednim badaniu (przyjęto występowanie maksymalnie 5 replik, których opóźnienie nie mogło być większe niż 10 ms – parametry te zostały przyjęte w taki sposób, by były zbliżone do warunków panujących w kanale hydroakustycznym). Na rys. 5 zaprezentowano wyniki przeprowadzonych symulacji.



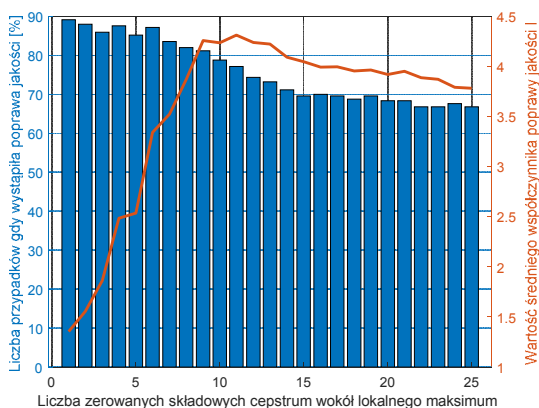
Rys. 5. Wpływ głębokości filtracji w cepstrum na poprawę jakości sygnału odbieranego

Na podstawie wyników z rys. 5 należy wnioskować, że głębokość filtracji powinna wynosić 12 ms. Dla

tej wartości średni współczynnik poprawy jakości I był największy. Największy też był procent przypadków poprawy jakości.

### 3.3. Szerokość okna filtru

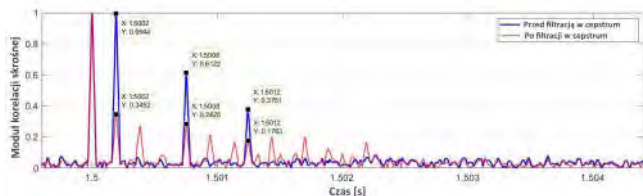
Znaczenie dla prezentowanej metody będzie miała także szerokość okna filtru. W obecnej postaci metody jest to liczba składowych wokół lokalnego maksimum, którym zostanie przypisana wartość 0. Poddano więc badaniu wpływ szerokości okna filtracji na efektywność proponowanej metody. Na rys. 6 pokazano wyniki przeprowadzonego badania.



Rys. 6. Wpływ szerokości okna filtracji w cepstrum na poprawę jakości sygnału odbieranego

Uzyskane wyniki dowodzą, że im mniejsza liczba składowych wokół lokalnego maksimum (prążka w cepstrum odpowiadającego danej replice) jest poddawana filtracji tym większy jest procent przypadków poprawy jakości. Wraz ze wzrostem liczby tych składowych ten procent maleje. Jednakże dopiero dla 9 składowych zaobserwowano największą wartość współczynnika PPJI. Stąd należy przyjąć, że filtrowanych być musi 9 (liczba ta odpowiada w przybliżeniu liczbie próbek przypadającej na pojedynczy chip) składowych wokół lokalnego maksimum w cepstrum. Jest to liczba składowych cepstrum po lewej stronie danego maksimum lokalnego oraz po prawej stronie tego maksimum.

Dla sygnału, którego cepstrum przedstawiono na rys. 1 wyznaczono estymatę odpowiedzi impulsowej. Rys. 7 przedstawia tę estymatę oraz estymatę odpowiedzi impulsowej sygnału odfiltrowanego w cepstrum w sposób opisywany wyżej.



Rys. 7. Estymata odpowiedzi impulsowej sygnału przed (kolor niebieski) i po (kolor czerwony) zastosowaniu filtracji w cepstrum

Wyraźnie widać na rys. 7, że kolejne repliki sygnału zostały stłumione po zastosowaniu proponowanej metody.

## 4. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono metodę redukcji wpływu efektu wielodrogowości na jakość odbieranego sygnału. Przeprowadzone badania pozwoliły wybrać parametry proponowanej metody. Potwierdziły także, że proponowana metoda pozwala poprawić jakość odbioru sygnału w warunkach propagacji wielodrogowej.

## LITERATURA

- [1] Bazán, I.; Ramírez-García, A.; Cruz-Prieto, J. Micro-Displacement Detection using Echo-Signal Cepstrum Analysis for Medical Diagnosis. In Proceedings of the 2018 15th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), Mexico City, Mexico, 5–7 September 2018; pp. 1–4.
- [2] Childers, D.G.; Skinner, D.P.; Kemerait, R.C. The Cepstrum: A Guide to Processing. Proc. IEEE 1977, 65, 1428–1443.
- [3] Chuang, C.; Chang, T.; Chiang, Y.; Chang, F. Adaptive filtering for heart rate estimation using cepstrum technique. In Proceedings of the 2016 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Puli, Taiwan, 7–9 July 2016; pp. 1–3.
- [4] Czapiewska A., Luksza A., Studanski R., Zak A.: Reduction of the Multipath Propagation Effect in a Hydroacoustic Channel Using Filtration in Cepstrum, SENSORS, ISSN: 1424-8220, nr. 3, vol. 20, 2020
- [5] Dackermann, U.; Smith, W.A.; Randall, R.B. Damage identification based on response-only measurements using cepstrum analysis and artificial neural networks. Struct. Health Monit. 2014, 13, 430–444.
- [6] Drugman, T.; Bozkurt, B.; Dutoit, T.: „Complex Cepstrum-Based Decomposition of Speech for Glottal Source Estimation”, 2019, dostępny online: <https://arxiv.org/abs/1912.12602> (dostęp: 13 January 2020).
- [7] Fang, S.-H.; Tsao, Y.; Hsiao, M.-J.; Chen, J.-Y.; Lai, Y.-H.; Lin, F.-C.; Wang, C.-T. Detection of Pathological Voice Using Cepstrum Vectors: A Deep Learning Approach. J. Voice 2019, 33, 634–641.
- [8] Lalitha, S.; Geyasruti, D.; Narayanan, R.; Shravani, M. Emotion Detection Using MFCC and Cepstrum Features. Procedia Comput. Sci. 2015, 70, 29–35.
- [9] Oppenheim, A.V.; Schaffer, R.W. From Frequency to Quefrequency: A History of the Cepstrum. IEEE Signal Process Mag. 2004, 21, 95–99.
- [10] Studański R., Żak A.: Redukcja wielodrogowości w kanale radiowym poprzez filtrację w cepstrum odbieranego sygnału – badania symulacyjne, KKR-RiT 2019
- [11] Studański R., Mizeraczyk J., Żak A.: Filtracja odebranego sygnału przekształconego do postaci cepstralnej jako metoda redukcji efektu wielodrogowości w kanale radiowym, Przegląd Elektrotechniczny 1(10):144-147, 2019
- [12] Yunlu, W.; Zhendong, W.: Blind detection on echo hiding based on cepstrums. In Proceedings of the 2009 IEEE Youth Conference on Information, Computing and Telecommunication, Beijing, China, 20–21 September 2009; pp. 235–238.