

**Karta przedmiotu oferowanego w Szkole Doktorskiej nr 3**  
**– semestr letni 2020/2021**

1. TYTUŁ
[PL] <b>Adaptacyjne przetwarzanie sygnałów</b> [ENG] <b>Adaptive Signal Processing</b>
2. JĘZYK WYKŁADOWY PRZEDMIOTU ORAZ PUNKTY ECTS:
polski, 4 ECTS
3. WYMIAR GODZIN, FORMA PROWADZONYCH ZAJĘĆ:
30, Wykład (WYK), Laboratorium (LAB)
4. DANE WYKŁADOWCY
<b>dr hab. inż. Konrad Jędrzejewski, prof. uczelni</b>
5. DYSCYPLINA NAUKOWA
<b>Automatyka, elektronika i elektrotechnika</b>
6. JEDNOSTKA PROWADZĄCA
Szkoła doktorska nr 3
7. JEDNOSTKA REALIZUJĄCA
103000 - Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
8. TYP PRZEDMIOTU:
Obowiązkowy
9. SPOSÓB WERYFIKACJI EFEKTÓW UCZENIA SIĘ:
Egzamin

#### 10. OPIS SKRÓCONY PRZEDMIOTU:

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z nowoczesnymi metodami adaptacyjnego przetwarzania sygnałów w kontekście ich praktycznych zastosowań. Po uzupełnieniu wiadomości w zakresie optymalnego przetwarzania sygnałów losowych, omawiane są główne klasy algorytmów adaptacyjnych wraz z przykładami ich zastosowań, m.in. w elektronice medycznej, akustyce, telekomunikacji, radiolokacji, linearyzacji wzmacniaczy mocy. Podsumowaniem zajęć jest przejście od klasycznych systemów adaptacyjnych do sztucznych sieci neuronowych. Podczas laboratorium studenci implementują algorytmy adaptacyjne, badają ich właściwości, a także przetwarzają adaptacyjnie sygnały spotykane w wybranych zastosowaniach.

#### 11. OPIS PRZEDMIOTU:

Treść wykładu:

1. Wprowadzenie do adaptacyjnego przetwarzania sygnałów (2h).  
Historia i pryncypia adaptacyjnego przetwarzania sygnałów. Przykładowe zastosowania.
2. Uzupełnienie wiadomości z teorii dyskretnych procesów stochastycznych (2h).  
Reprezentacja widmowa dyskretnych sygnałów stochastycznych. Odpowiedź liniowych układów na pobudzenia losowe. Modelowanie dyskretnych sygnałów stochastycznych. Twierdzenie Wolda.
3. Uzupełnienie wiadomości z teorii estymacji (2h).  
Ogólne właściwości estymatorów. Klasyczne i bayesowskie podejście do estymacji. Estymatory maksimum gęstości a posteriori, maksimum funkcji wiarygodności, minimum błędu średniokwadratowego. Kres dolny Cramera-Rao. Estymacja średnio-kwadratowa.
4. Optymalne przetwarzanie sygnałów (2h).  
Optymalny filtr liniowy. Równania normalne i ich rozwiązanie. Algorytm Levinsona.
5. Optymalna predykcja liniowa (2h).  
Optymalny liniowy predyktor. Optymalny filtr predykcyjny. Algorytm Durбина. Zastosowania liniowej predykcji do identyfikacji modelu AR.
6. Adaptacyjne algorytmy LMS (least mean squares) (3h).  
Adaptacyjne metody i algorytmy estymacji. Iteracyjne rozwiązanie równań normalnych. Kryterium najmniejszego średniego kwadratu błędu (LMS). Algorytm LMS. Analiza zbieżności i właściwości algorytmu LMS. Znormalizowany algorytm LMS (NLMS). Inne warianty algorytmu LMS.
7. Adaptacyjne algorytmy RLS (recursive least squares) (3h).  
Algorytmy gradientowe. Algorytm LMS-Newtona. Kryterium najmniejszych kwadratów (LS). Algorytmy rekursywne RLS. Algorytm EWRLS (exponentially weighted RLS). Porównanie algorytmów RLS i LMS.
8. Zastosowania filtrów adaptacyjnych (4h).  
Adaptacyjne usuwanie zakłóceń. Adaptacyjne wydzielanie sygnałów sinusoidalnych z szumu. Adaptacyjne usuwanie zakłóceń w sygnale EKG. Adaptacyjne usuwanie zakłóceń z sygnałów akustycznych, adaptacyjne sterowanie wiązką, adaptacyjne wyrównywanie kanału komunikacyjnego, adaptacyjna cyfrowa linearyzacja wzmacniaczy mocy (DPD).
9. Filtracja kalmanowska (2h).  
Sformułowanie problemu, struktura systemu. Filtr Kalmana. Rozszerzony filtr Kalmana. Przykłady zastosowań, śledzenie obiektów.
10. Filtry adaptacyjne o strukturze kratowej (4h).

Predykcja w przód i wstecz. Właściwości filtrów kratowych. Gradientowe adaptacyjne algorytmy kratowe. Filtr estymujący proces łączny. Zalety adaptacyjnych filtrów kratowych.

11. Filtry adaptacyjne NOI (2h).

Algorytmy adaptacyjne wykorzystujące struktury filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (NOI). Problemy związane z wykorzystaniem filtrów NOI w systemie adaptacyjnym, stosowane uproszczenia. Usuwanie potencjalnej niestabilności adaptacyjnych filtrów NOI.

12. Wprowadzenie do adaptacyjnych sztucznych sieci neuronowych (2h)

Adaptacyjne sztuczne sieci neuronowe jako rozwinięcie adaptacyjnych systemów wykorzystujących filtry cyfrowe. Jednowarstwowe sieci neuronowe wykorzystujące algorytm LMS. Sieci wielowarstwowe, algorytm wstecznej propagacji błędów. Przykłady zastosowań.

Zakres laboratorium:

1. Modelowanie i analiza widmowa dyskretnych sygnałów losowych (3h).
2. Implementacja i badanie właściwości algorytmu LMS (3h).
3. Implementacja i badanie właściwości algorytmu RLS (3h).
4. Adaptacyjne usuwanie szumów i zakłóceń, usuwanie zakłóceń występujących w sygnale EKG, usuwanie zakłóceń z sygnału akustycznego (3h).
5. Adaptacyjna korekcja charakterystyki kanału telekomunikacyjnego (3h).
6. Indywidualne zadania indywidualne uzgodnione z prowadzącym (15 h).

Metody oceny:

1. egzamin – 50 pkt.
2. laboratorium – 50 pkt., pięć zajęć klasycznych punktowanych po 5 pkt, zadanie indywidualne – 25 pkt.

Tabela ocen:

- < 51 - ocena 2,
- 51-60 - ocena 3,
- 61-70 - ocena 3,5,
- 71-80 - ocena 4,
- 81-90 - ocena 4,5,
- 91-100 - ocena 5.

## 12. LITERATURA

- S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Fifth Edition, Prentice Hall, 2014.  
A. Uncini, Fundamentals of Adaptive Signal Processing, Springer, 2015.  
P. M. Clarkson, Optimal and adaptive signal processing, CRC Press, 1993.  
L. Ljung, System Identification: Theory for the User, Prentice Hall, 1999.  
T. Zieliński, P. Korohoda, R. Rumian, Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, PWN, 2014.  
L. Rutkowski, Filtry adaptacyjne i adaptacyjne przetwarzanie sygnałów, WNT, 1994.

## 13. EFEKTY UCZENIA SIĘ:

Student, który zaliczył przedmiot:

- ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia w zakresie systemów i algorytmów adaptacyjnych,

- zna podstawowe metody, techniki i narzędzia stosowane przy rozwiązywaniu złożonych zadań inżynierskich dotyczących adaptacyjnego przetwarzania sygnałów,
- potrafi wykorzystać metody analityczne, symulacyjne oraz eksperymentalne do formułowania i rozwiązywania zadań inżynierskich oraz prostych problemów badawczych w obszarze adaptacyjnego przetwarzania sygnałów,
- potrafi dokonać krytycznej analizy sposobu funkcjonowania i ocenić istniejące rozwiązania w zakresie modelowania, analizy i projektowania systemów adaptacyjnych.