

**KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ**

Kod przedmiotu		Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Optymalne i adaptacyjne przetwarzanie sygnałów		
			w j. angielskim	Optimal and Adaptive Signal Processing		
Kierownik przedmiotu	dr hab. inż. <b>Konrad Jędrzejewski</b> , prof. uczelni	Prowadzący zajęcia	dr hab. inż. <b>Konrad Jędrzejewski</b> , prof. uczelni			
Jednostka realizująca	WEiTI	Dyscyplina naukowa	ITT, AEE, IB, NF, MAT			
Poziom kształcenia	kształcenie doktorantów	Semestr studiów	letni			
Język zajęć	polski/ <del>angielski</del>					
Forma zaliczenia:	zaliczenie na ocenę	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	60	Sumaryczna liczba ECTS	4	
Minimalna liczba uczestników	10	Maksymalna liczba uczestników	30	Dostępność dla studentów I lub II stopnia	Tak/ <del>Nie</del>	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	2	0	1	1	0
	łącznie w semestrze	30	0	15	15	0
Przewidywany termin realizacji zajęć	dzień tygodnia	Śr (W), Pon (P, L)		Miejsce prowadzenia zajęć	budynek	numer sali
	godziny	Śr 10-12, Pon (17-20)			WEiTI	CS202

**1. Wymagania wstępne**

Śluchacz powinien posiadać podstawową wiedzę z przetwarzania sygnałów i rachunku prawdopodobieństwa.

**2. Cele przedmiotu**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z zaawansowanymi technikami i algorytmami optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów cyfrowych w kontekście ich praktycznych zastosowań, m.in. w zagadnieniach pomiarowych, elektronice medycznej, akustyce, telekomunikacji i radiolokacji. W trakcie laboratoriów studenci będą implementować wybrane optymalne i adaptacyjne algorytmy, badać ich właściwości, a także przetwarzać optymalnie i adaptacyjnie sygnały spotykane w wybranych zastosowaniach. Przedstawione zostanie także przejście od klasycznych systemów adaptacyjnych do sztucznych sieci neuronowych.

**3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)**

**Wykład**

- Optymalne i adaptacyjne przetwarzanie sygnałów.  
Historia, kluczowe założenia i rezultaty optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów. Przykładowe zastosowania.
- Dyskretne procesy stochastyczne i teoria estymacji.  
Reprezentacja widmowa dyskretnych sygnałów stochastycznych. Odpowiedź liniowych układów na pobudzenia losowe. Modelowanie dyskretnych sygnałów stochastycznych. Estymatory. Klasyczne i bayesowskie podejście do estymacji. Estymatory maksimum gęstości a posteriori, maksimum funkcji wiarygodności, minimum błędu średniokwadratowego. Kres dolny Cramera-Rao. Estymacja średniokwadratowa.
- Algorytmy optymalnego przetwarzania sygnałów.  
Podstawowe pojęcia i zasady optymalnego przetwarzania sygnałów. Optymalny filtr liniowy. Wyprowadzenie i rozwiązanie równań normalnych. Optymalny liniowy predyktor. Optymalny filtr predykcyjny. Algorytmy Levinsona i Durbina.
- Algorytmy adaptacyjnego przetwarzania sygnałów LMS (least mean squares).  
Iteracyjne rozwiązanie równań normalnych. Kryterium najmniejszego średniego kwadratu błędu (LMS). Wyprowadzenie algorytmu LMS. Analiza zbieżności i właściwości algorytmu LMS. Różne warianty algorytmu LMS.
- Algorytmy adaptacyjnego przetwarzania sygnałów RLS (recursive least squares).  
Algorytmy gradientowe. Algorytm LMS-Newtona. Kryterium najmniejszych kwadratów (LS). Algorytmy rekursywne RLS. Algorytm EWRLS (exponentially weighted RLS). Algorytmy RLS a algorytmy LMS.
- Zastosowania filtrów optymalnych i adaptacyjnych.

Optymalne i adaptacyjne usuwanie zakłóceń. Usuwanie zakłóceń z sygnałów biomedycznych i akustycznych. Optymalne i adaptacyjne wydzielanie sygnałów sinusoidalnych z szumu. Optymalne i adaptacyjne sterowanie wiązką. Wyrównywanie kanału komunikacyjnego. Cyfrowa linearyzacja wzmacniaczy mocy (DPD).

7. Optymalna filtracja kalmanowska.

Sformułowanie problemu, struktura systemu. Filtr Kalmana. Rozszerzony filtr Kalmana. Przykłady zastosowań, śledzenie obiektów.

8. Filtry adaptacyjne o strukturze kratowej.

Predykcja w przód i wstecz. Gradientowe adaptacyjne algorytmy kratowe. Filtr estymujący proces łączny. Zalety adaptacyjnych filtrów o strukturze kratowej.

9. Systemy adaptacyjne wykorzystujące struktury filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej.

Algorytmy adaptacyjne dla struktur filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Uproszczenia algorytmów dla struktur filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Usuwanie potencjalnej niestabilności systemów adaptacyjnych wykorzystujących struktury filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej.

10. Wprowadzenie do adaptacyjnych sztucznych sieci neuronowych

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

#### Laboratorium

1. Optymalne algorytmy przetwarzania sygnałów.

2. Adaptacyjne algorytmy przetwarzania sygnałów typu LMS.

3. Adaptacyjne algorytmy przetwarzania sygnałów typu RLS.

4. Zastosowania algorytmów adaptacyjnych – sygnały biomedyczne.

5. Zastosowania algorytmów adaptacyjnych w telekomunikacji bezprzewodowej.

#### Ćwiczenia projektowe

Indywidualne zadania projektowe uzgodnione z prowadzącym.

Projekt składa się z następujących etapów:

1. Definicja problemu i zakresu projektu.

2. Opracowanie koncepcji rozwiązania problemu, podstaw teoretycznych, struktury oprogramowania, itp.

3. Implementacja.

4. Testowanie i badania.

5. Przygotowanie raportu.

Przykładowe tematy zadań indywidualnych:

1. Implementacja algorytmów optymalnego i/lub adaptacyjnego przetwarzania sygnałów na platformach sprzętowych, do których słuchacze mają dostęp.

2. Implementacja i badania właściwości algorytmów adaptacyjnych wykorzystujących strukturę kratową filtru w różnych zastosowaniach.

3. Implementacja i badania właściwości adaptacyjnych filtrów wykorzystujących strukturę filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej.

4. Implementacja i badania właściwości algorytmów adaptacyjnych pracujących w dziedzinie częstotliwości.

5. Implementacja i badania właściwości blokowych algorytmów adaptacyjnych.

6. Implementacja i badania właściwości algorytmów adaptacyjnych wykorzystujących filtry Voltera.

7. Implementacja i badania właściwości sztucznych sieci neuronowych wykorzystujących algorytm wstecznej propagacji błędów i jego modyfikacje.

8. Adaptacyjne usuwanie zakłóceń i artefaktów z sygnałów biomedycznych.

9. Adaptacyjne usuwanie echa.

10. Adaptacyjne kształtowanie wiązki w szykach mikrofonowych.

11. Adaptacyjne kształtowanie wiązki w szykach antenowych.

12. Adaptacyjne przetwarzanie sygnałów w zastosowaniach radiolokacyjnych.

13. Śledzenie obiektów w przestrzeni dwu lub trójwymiarowej za pomocą filtru Kalmana.

14. Adaptacyjne wyrównywanie kanałów telekomunikacyjnych przy zaawansowanych scenariuszach odbioru i otoczenia.

15. Adaptacyjna cyfrowa linearyzacja wzmacniaczy mocy (DPD).

16. Algorytmy estymacji parametrów sygnałów oparte na koncepcji adaptacyjnej dopasowanej obserwacji.

Studenci mogą również zgłaszać własną tematykę projektów związaną z tematyką wykładu.

4. Efekty uczenia się			
Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SZD	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
<b>Wiedza</b>			
W01	zna i rozumie podstawy teoretyczne oraz kluczowe koncepcje i metody optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów	SD_W2 SD_W3	kolokwium pisemne
W02	zna i rozumie zalety, wady i ograniczenia dotyczące zastosowania podstawowych algorytmów optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów	SD_W2 SD_W3	kolokwium pisemne
W03	zna i rozumie zagadnienia ogólne i wybrane zagadnienia szczegółowe dotyczące wykorzystania optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów w praktycznych zastosowaniach	SD_W2 SD_W3	kolokwium pisemne
<b>Umiejętności</b>			
U01	potrafi zaimplementować i przebadac symulacyjnie podstawowe algorytmy optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów	SD_U1 SD_U2	ocena sprawozdania z laboratorium, ocena projektu
U02	potrafi dokonać krytycznej analizy sposobu funkcjonowania i ocenić istniejące rozwiązania w zakresie modelowania, analizy i projektowania systemów optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów	SD_U1 SD_U2 SD_U4	ocena projektu, ocena sprawozdania z laboratorium
U03	potrafi wykorzystać metody optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów do rozwiązywania zadań inżynierskich oraz problemów badawczych	SD_U1 SD_U2 SD_U4	ocena projektu
<b>Kompetencje społeczne</b>			
K01	gotów jest do uznawania znaczenia wiedzy oraz osiągnięć naukowych w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych w zakresie optymalnego i adaptacyjnego przetwarzania sygnałów	SD_K2	ocena projektu

\* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

5. Kryteria oceny
<p>Do uzyskania 100 pkt.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. kolokwium pisemne – 50 pkt.</li> <li>2. laboratorium – 25 pkt. (5x5)</li> <li>3. projekt – 25 pkt.</li> </ol> <p><u>Tabela ocen:</u></p> <p>Liczba punktów:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;51 – ocena 2,</li> <li>51–60 – ocena 3,</li> <li>61–70 – ocena 3,5,</li> <li>71–80 – ocena 4,</li> <li>81–90 – ocena 4,5,</li> </ul>

91–100 – ocena 5.

**6. Literatura**

Literatura podstawowa:

- [1] P. M. Clarkson, Optimal and adaptive signal processing, CRC Press, 1993.
- [2] A. Uncini, Fundamentals of Adaptive Signal Processing, Springer, 2015.
- [3] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Fifth Edition, Prentice Hall, 2014.

Literatura uzupełniająca:

- [1] T. Zieliński, P. Korohoda, R. Rumian, Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, PWN, 2014.
- [2] L. Rutkowski, Filtry adaptacyjne i adaptacyjne przetwarzanie sygnałów, WNT, 1994.
- [3] L. Ljung, System Identification: Theory for the User, Prentice Hall, 1998.

**7. Nakład pracy studenta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się\*\***

Lp.	Opis	Liczba godzin
1	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu	60
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	5
3	Godziny pracy samodzielnej studenta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych	30
4	Godziny pracy samodzielnej studenta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia	15
<b>Sumaryczny nakład pracy studenta</b>		<b>110</b>
<b>Liczba punktów ECTS</b>		<b>4</b>

\*\* 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy studenta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)

**8. Informacje dodatkowe**

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich	2
Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym	2