

Zespół Autorski: dr hab. inż. Konrad Jędrzejewski, ZTOiS ISE

## ADAPTACYJNE PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW (APSG)

**Słowa kluczowe:** Adaptacyjne przetwarzanie sygnałów, filtry adaptacyjne, systemy adaptacyjne, algorytmy adaptacyjne, algorytm LMS, algorytm RLS, filtr Kalmana, optymalne przetwarzanie sygnałów.

### Krótką charakterystyka w języku polskim:

*Efekty kształcenia i cel przedmiotu: najwyżej 1000 znaków (do umieszczenia w informatorze, Internecie, itp.)*

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z nowoczesnymi metodami adaptacyjnego przetwarzania sygnałów w kontekście ich praktycznych zastosowań. Po uzupełnieniu wiadomości w zakresie optymalnej estymacji sygnałów losowych, omawiane są główne klasy algorytmów adaptacyjnych wraz z przykładami ich zastosowań, m.in. w elektronice medycznej, telekomunikacji, radiolokacji i akustyce. Podczas laboratorium studenci implementują algorytmy adaptacyjne, badają ich właściwości, a także przetwarzają adaptacyjnie sygnały spotykane w wybranych zastosowaniach.

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.

### Treść wykładu:

1. Wprowadzenie do adaptacyjnego przetwarzania sygnałów (3h).

Historia i pryncypia adaptacyjnego przetwarzania sygnałów. Przykładowe zastosowania: usuwanie zakłóceń akustycznych, usuwanie zakłóceń w sygnale EKG, usuwanie ech w łączach telekomunikacyjnych, identyfikacja budowy geologicznej ziemi.

2. Uzupełnienie wiadomości z teorii dyskretnych procesów stochastycznych (3h).

Reprezentacja widmowa dyskretnych sygnałów stochastycznych. Odpowiedź liniowych układów na pobudzenia losowe. Modelowanie dyskretnych sygnałów stochastycznych (modele AR, MA, ARMA). Twierdzenie Wolda. Filtr modelujący. Stacjonarność sygnału, a stabilność filtru modelującego. Sygnały gaussowskie i niegaussowskie.

3. Uzupełnienie wiadomości z teorii estymacji (2h).

Ogólne właściwości estymatorów. Klasyczne i bayesowskie podejście do estymacji. Podstawowe metody estymacji przy różnych założeniach o znajomości informacji *a priori* o sygnale. Estymatory maksimum gęstości *a posteriori*, maksimum funkcji wiarygodności,

minimum błędu średniokwadratowego. Kres dolny Cramera-Rao. Estymacja średniokwadratowa. Estymacja sygnałów.

4. Optymalne przetwarzanie sygnałów (2h).

Optymalny filtr liniowy. Równania normalne. Rozwiązanie równań normalnych. 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. Przykłady zastosowań.

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). Zbieżności i złożoność obliczeniowa algorytmu RLS. Porównanie algorytmów RLS i LMS. Przykłady zastosowań.

Slajdy z wykładów oraz materiały pomocnicze udostępniane na stronie WWW przedmiotu.

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 (3h).

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

10. Filtry adaptacyjne o strukturze kratowej (3h).

Predykcja w przód i wstecz. Właściwości filtrów kratowych. Współczynniki odbicia i ich związek z algorytmem Levinsona-Durбина. Estymacja współczynników odbicia. Gradientowe adaptacyjne algorytmy kratowe. Porównanie z filtrami transwersalnymi. Przykłady zastosowań.

11. Filtry adaptacyjne NOI (2h).

Problemy związane z wykorzystaniem filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (NOI). Filtry adaptacyjne wykorzystujące struktury filtrów NOI. Usuwanie potencjalnej niestabilności adaptacyjnych filtrów NOI.

### **Zakres ćwiczeń, laboratorium, projektu:**

#### 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 (3h).
5. Wybrane zastosowania algorytmów adaptacyjnych (3h).

Zajęcia laboratoryjnych odbywają się w Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów (CS202).

Indywidualne zadania laboratoryjne:

Praca 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. Adaptacyjna różnicowa modulacja kodowo-impulsowa (ADPCM – Adaptive differential pulse code modulation) – implementacja i badania symulacyjne.
2. Adaptacyjna kompresja sygnałów mowy, np. LPC (Linear predictive coding) – implementacja i badania symulacyjne.
3. Adaptacyjne usuwanie zakłóceń z sygnałów biomedycznych – implementacja i badania symulacyjne.
4. Adaptacyjna cyfrowa linearyzacja wzmacniaczy mocy (DPD) – implementacja i badania symulacyjne.
5. Szyki antenowe/mikrofonowe, adaptacyjne kształtowanie wiązki – implementacja i badania symulacyjne.
6. Implementacja i badania symulacyjne zachowania adaptacyjnych filtrów NOI.
7. Implementacja i badania właściwości algorytmów adaptacyjnych o strukturze kratowej.
8. Implementacja i badania właściwości algorytmów adaptacyjnych pracujących w dziedzinie częstotliwości.
9. Implementacja i badania symulacyjne algorytmów LMS ze zmiennym krokiem adaptacji i algorytmów RLS ze zmienną stałą zapomnienia.
10. Implementacja i analiza porównawcza uproszczonych algorytmów typu LMS.
11. Implementacja i badania symulacyjne filtru Kalmana.
12. Zastosowanie filtru Kalmana w problemach śledzenia obiektów
13. Nieliniowe filtry adaptacyjne.
14. Implementacja i badania algorytmów estymacji parametrów sygnałów opartych na koncepcji adaptacyjnej dopasowanej obserwacji.
15. Interaktywna strona www do symulacji algorytmów adaptacyjnego przetwarzania sygnałów.

Studenci mogą również zgłaszać własne tematy projektów związane z tematyką wykładu.

**Formy weryfikacji wiedzy:**

Do uzyskania 100 pkt.

1. egzamin – 50 pkt.
2. laboratorium – 25 pkt. (5x5)
3. zadanie indywidualne – 25 pkt.

Tabela ocen:

Liczba punktów	< 51	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
Ocena	2	3	3,5	4	4,5	5

**Materiały dydaktyczne:**

Slajdy z wykładów oraz materiały pomocnicze udostępniane na stronie WWW przedmiotu.

- [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.
- [4] T. Zieliński, P. Korohoda, R. Rumian, *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji*, PWN, 2014.
- [5] L. Rutkowski, *Filtry adaptacyjne i adaptacyjne przetwarzanie sygnałów*, WNT, 1994.
- [6] B. Widrow, S. D. Stearns, *Adaptive signal processing*, Prentice Hall, 1985.
- [7] L. Ljung, *System Identification: Theory for the User*, Prentice Hall, 1999.