



МЕТОДИ АДАПТИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	172Мн РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49259)172Мн PEI - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 53272)172Мн PEI+ - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 57919)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестри
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС/ 120 годин (Лекц. 36 год, Практ. год, Лаб. 18 год, СРС. 66 год)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Жук С.Я. s.zhuk@kpi.ua , +38(068)801-04-37; Лабораторні: д.т.н., проф. Жук С.Я. СРС: д.т.н., проф. Жук С.Я..
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6878

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Опис навчальної дисципліни. Дисципліна навчає статистичним методам адаптивного оброблення сигналів для використання в сучасних радіотехнічних системах. Сучасні радіотехнічні системи мають значні обчислювальні можливості і, по-суті, є комп'ютеризованими інформаційно-вимірювальними системами. Вони повинні ефективно функціонувати в складній сигнально-завадовій обстановці, що динамічно змінюється. Це можливо забезпечити, лише шляхом розробки адаптивних алгоритмів, які можуть бути реалізовані на базі сучасних спеціалізованих цифрових систем обробки сигналів.

Мета навчальної дисципліни. Метою дисципліни є вивчення методів адаптивного оброблення сигналів в радіотехнічних комп'ютеризованих системах, які дозволяють розробляти алгоритми, що забезпечують ефективне функціонування таких систем в умовах завад.

Предмет вивчення: методи адаптивного оброблення сигналів при наявності навчаючої вибірки (з вчителем) і при її відсутності (без вчителя) в сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих системах.

Компетентності.

Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу, синтезу та інших загальнонаукових методів пізнання (ЗК 12).

Здатність до системного мислення, вирішення задач розробки, оптимізації та оновлення структурних блоків телекомунікаційних, радіотехнічних та інформаційних систем (ФК 3).

Здатність використовувати інформаційні технології, методи інтелектуалізації та візуалізації, штучного інтелекту для дослідження та аналізу процесів у телекомунікаційних та радіотехнічних системах (ФК 5).

Здатність обирати оптимальні методи досліджень, модифікувати та адаптувати існуючі, розробляти нові методи досліджень відповідно до існуючих технічних засобів та формувати методiku обробки результатів досліджень (ФК 16).

Здатність розробляти алгоритми адаптивної обробки сигналів в сучасних радіотехнічних системах, що працюють в умовах апріорної невизначеності, та досліджувати їх ефективність шляхом статистичного моделювання на ЕОМ з використанням спеціалізованих програмних засобів (ФК 25).

Програмні результати навчання

Визначати напрямки модернізації технологічних аспектів виробництва, впровадження новітніх інформаційних та комунікаційних технологій (ПРН 2).

Розробляти алгоритми адаптивної обробки сигналів в сучасних радіотехнічних системах, що працюють в умовах апріорної невизначеності, та досліджувати їх ефективність шляхом статистичного моделювання на ЕОМ з використанням спеціалізованих програмних засобів. (ПРН 17).

Пререквізити: навчальна дисципліна «Методи адаптивного оброблення сигналів» базується на знаннях з таких дисциплін: “Математичне моделювання процесів та систем”, “ Супутникові інформаційні системи”, „Машинне навчання в радіотехнічних комп’ютеризованих системах”, „Математичні методи оптимізації”.

Постреквізити: Дисципліна є завершальною за напрямом статистичного оброблення сигналів і присвячена розгляду найбільш складних задач синтезу адаптивних радіотехнічних систем, які здатні функціонувати в умовах апріорної невизначеності щодо сигнально-завадової обстановки.

2. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Математичні моделі сигналів і завод.

Тема 1. Випадкова послідовність і модель авторегресії.

Тема 2. Випадкові послідовності і моделі ковзного середнього і авторегресії - ковзного середнього.

Тема 3. Марківські послідовності та ланцюги Маркова.

Розділ 2. Методи адаптивного оброблення сигналів при наявності навчальної вибірки.

Тема 4. Вінерівська фільтрація в часовій області.

Тема 5. Чисельні методи пошуку вінерівського рішення.

Тема 6. LMS-алгоритм і його властивості.

Тема 7. Адаптивна фільтрація на основі методу найменших квадратів.

Тема 8. RLS – алгоритм та його властивості.

Тема 9. Адаптивна ідентифікація параметрів невідомої лінійної системи.

Тема 10. Оптимальна просторова компенсація завод лінійною цифровою антенною решіткою.

Тема 11. Адаптивна просторова компенсація завод лінійною цифровою антенною решіткою.

Розділ 3. Методи адаптивного оброблення сигналів при відсутності навчальної вибірки.

Тема 12. Оптимальна нелінійна фільтрація сигналів в дискретному часі.

Тема 13. Оптимальна лінійна фільтрація сигналів в дискретному часі.

Тема 14. Методи подолання апріорної невизначеності.

Тема 15. Адаптивна фільтрація сигналів на основі байєсівського підходу.

Тема 16. Адаптивна фільтрація сигналів на основі методу розділення.

Тема 17. Адаптивна фільтрація сигналів з випадковою структурою.

Тема 18. Використання алгоритмів адаптивної фільтрації процесів з випадковою структурою при траєкторній обробці інформації

3. Навчальні матеріали та ресурси

Література базова:

1. Adaptive filters: by C.F.N. Cowan and P.M. Grant. Publisher: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1985, 308 pp.
2. S.Naykin, Adaptive Filter Theory, 5th Edition, Prentice Hall, 2013. -912p.
3. Братченко Г. Д., Перелигін Б. В., Банзак О. В., Казакова Н. Ф., Григор'єв Д. В. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник. – Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. – 452 с
4. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>
5. Жук С.Я., Товкач І.О. Методи адаптивного оцінювання параметрів руху безпілотного літального апарату на основі вимірювань сенсорної мережі. -К.: «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 172 с.
6. Monzingo, Robert A., Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. –2nd ed. SciTech Publishing, Raleigh, NC. 2011. -510 p.

Література додаткова:

1. L. R. Rabiner and R. W. Schafer, Introduction to Digital Speech Processing, Foundations and Trends in Signal Processing, vol 1, no 1–2, pp 1–194, 2007
2. Андреев М.В. Комп'ютерні методи обробки сигналів. Конспект лекцій. Цифровий депозитарій ДНУ ім. О.Гончара, 2017. – Режим доступу: http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=8146
3. Жук С.Я. Технології оптимального оброблення сигналів. Курс лекцій. / С.Я. Жук. Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023. -260с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57037>
4. Васильєв В. М. Теорія ймовірностей в радіотехніці: підручник / В. М. Васильєв, С. Я. Жук. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 368 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/56854>
5. Прокопенко І.Г. Методи і засоби обробки сигналів. Оцінювання, виявлення, фільтрація. Підручник / І.Г. Прокопенко. – К.: НАУ, 2003.-200с. <https://zavantag.com/docs/1157/index-3316.html>
6. Новосядлий С. П., Мельник Л. В. Адаптивні фільтри в цифровій обробці сигналів сучасних телекомунікаційних систем / С. П. Новосядлий, Л. В. Мельник // Восточно Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №2/9. – С.48–54.
7. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 79 с

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань винесених на лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Математична модель авторегресії. Рівняння Юла-Уокера. Аналіз математичної моделі і кореляційної функції послідовності авторегресії другого порядку. Література: [1, 2] Завдання для СРС. Рівняння Вінера-Хінчина для кореляційних функцій і спектральних щільностей потужності стаціонарних випадкових послідовностей.
2	Випадкова послідовність і модель ковзного середнього. Розрахунок кореляційної функції послідовності $KC(q)$. Випадкова послідовність і модель авторегресії -

	<p>ковзного середнього. Розрахунок кореляційної функції послідовності $APCC(q)$. Література: [1,2] <i>Завдання для СРС:</i> Співвідношення спекральних щільностей потужності аналогових стохастичних сигналів і випадкових послідовностей.</p>
3	<p>Класифікація марківських процесів. Загальні властивості марківських послідовностей. Марківські послідовності на основі AP-моделі. Векторні гаусівські марківські послідовності. Література: [1,2] <i>Завдання для СРС:</i> Марківські ланцюги та їх властивості.</p>
4	<p>Вінерівська фільтрація Узагальнена структура адаптивного фільтра. Критерій мінімуму середнього квадрата похибки оцінки. Синтез фільтра Вінера в часовій області. Фільтр Вінера першого порядку. Обчислювальна складність фільтра Вінера. Література: [1, 2, 3] <i>Завдання для СРС:</i> Лінійно-обмежена вінерівська фільтрація. /</p>
5	<p>Чисельна процедура розрахунку рішення рівняння Вінера - Хопфа. Градієнт функції і його властивості. Метод простого градієнту. Метод простого градієнту з постійним кроком. Блок-схема алгоритмів. Література: [2] <i>Завдання для СРС:</i> Алгоритм Ньютона. Постійні часу алгоритму Ньютона.</p>
6	<p>LMS-алгоритм і його властивості. Модифікація алгоритму на основі методу найшвидшого зпуску. Перехідні процеси в LMS-алгоритмі. Якість адаптивної фільтрації сигналів за допомогою LMS-алгоритму. Література: [1,2,3] <i>Завдання для СРС:</i> Лінійно обмежений LMS-алгоритм.</p>
7	<p>Постановка задачі і її рішення класичним методом найменших квадратів. Геометрична інтерпретація МНК. Лінійна регресія як імовірнісна модель. Властивості оцінок. Література: [1, 2] <i>Завдання для СРС:</i> Геометрична інтерпретація методу найменших квадратів.</p>
8	<p>Рекурсивна задача найменших квадратів. Рішення рекурсивної задачі найменших квадратів. RLS - алгоритм із зважуванням. Обчислювальна складність RLS – алгоритму. Література: [1, 2,3] <i>Завдання для СРС:</i> Швидкість збіжності RLS –алгоритму.</p>
9	<p>Адаптивна ідентифікація систем. Подавлення луна-сигналу. Вирівнювання характеристик каналу зв'язку. Моделювання адаптивних фільтрів за допомогою програм DSP System Toolbox мови MATLAB. Література: [2,4] <i>Завдання для СРС:</i> Адаптивне вирівнювання характеристик каналу зв'язку.</p>
10	<p>Модель лінійної цифрової антенної решітки. Оптимальний алгоритм компенсації активних шумових завад лінійною ЦАР. Література: [5] <i>Завдання для СРС:</i> Критерій оптимальності компенсації шумових завад.</p>
11	<p>Адаптивна компенсація перешкод в антенній решітці на основі LMS- алгоритму. Адаптивна компенсація перешкод в антенній решітці на основі RLS- алгоритму. Література: [5] <i>Завдання для СРС:</i> Кореляційна функція випадкової комплексної гаусівської послідовності</p>
12	<p>Оптимальна нелінійна фільтрація сигналів в дискретному часі. Синтез квазіоптимального алгоритму нелінійної фільтрації сигналів в дискретному часі на основі методу лінеаризації.</p>

	Література: [2] <i>Завдання для СРС: Властивості квазіоптимального фільтру.</i>
13	Оптимальна лінійна фільтрація сигналів в дискретному часі. Синтез оптимального алгоритму лінійної фільтрації в дискретному часі. Багатовимірний фільтр Калмана. Література: [1, 2, 3] <i>Завдання для СРС: Властивості фільтру Калмана.</i>
14	Методи подолання параметричної апріорної невизначеності. Види апріорної невизначеності. Байєсівський підхід подолання параметричної апріорної невизначеності. Небайєсівський підхід на основі методу максимальної правдоподібності. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Рівномірно найкращі вирішальні правила.</i>
15	Постановка задачі адаптивної фільтрації сигналів. Адаптивна фільтрація сигналів на основі байєсівського підходу. Оптимальний алгоритм на основі обчислення апостеріорної щільності імовірності. Квазіоптимальний адаптивний алгоритм на основі гаусівського наближення. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Чутливість алгоритмів фільтрації.</i>
16	Адаптивна фільтрація сигналів на основі методу розділення. Багатоканальний оптимальний алгоритм сумісної фільтрації і розрізнення значення невідомого параметру. Адаптивна фільтрація при лінійних рівняннях повідомлення та спостереження з невідомими параметрами. Багатоканальний пристрій адаптивної фільтрації. Література: [2] <i>Завдання для СРС: Поняття про робастні методи фільтрації</i>
17	Адаптивна фільтрація сигналів з випадковою структурою. Модель стохастичної послідовності з випадковою структурою. Оптимальна фільтрація сигналів в дискретному часі. Структурна схема оптимального пристрою. Синтез оптимального алгоритму лінійної фільтрації в дискретному часі. Структурна схема квазіоптимального пристрою. Література: [4] <i>Завдання для СРС: Псевдобайєсівські квазіоптимальні адаптивні алгоритми з пам'яттю.</i>
18	Математичні моделі руху цілі у вигляді дискретних стохастичних динамічних систем. Адаптивний алгоритм фільтрації координат цілі, що рухається з маневром. Адаптивний алгоритм фільтрації координат цілі за наявності аномальних вимірювань. Література: [4] <i>Завдання для СРС: Змішані марківські процеси.</i>

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Дослідження лінійних параметричних моделей гаусівських випадкових послідовностей	4
2	Дослідження алгоритму вінерівської фільтрації в часовій області	2
3	Дослідження LMS-алгоритму адаптивної фільтрації	2
4	Дослідження RLS-алгоритму адаптивної фільтрації	2
5	Дослідження оптимальної і адаптивних лінійних цифрових антенних	4

	решіток	
6	Дослідження адаптивного алгоритму фільтрації на основі байєсівського підходу	2
7	Дослідження адаптивного алгоритму фільтрації на основі методу розділення	2

5. Самостійна робота студента/аспіранта

На самостійну роботу студентів відводиться 66 годин. Вона складається з:

- Опрацювання матеріалу лекцій та підготовки до тестів за лекційними матеріалами – 18 год.;
- підготовки до лабораторних робіт, проведення необхідних розрахунків та оформлення протоколів лабораторних робіт, підготовка до захисту лабораторних робіт – 28 год.;
- підготовка до модульної контрольної роботи – 4 год.;
- підготовка до екзамену – 16 год.;

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Рекомендовані методи навчання: вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, виконання лабораторних робіт. Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, контрольних заходів та іспиту. Метою лабораторних робіт є: поглиблення і закріплення теоретичних знань, набуття навиків моделювання з використанням обчислювальної техніки, набуття навиків оцінки достовірності отриманих результатів та оформлення документів. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab. В режимі дистанційного навчання лабораторні роботи 1-7 виконуються на домашньому персональному комп'ютері в пакеті прикладних програм MATLAB.

Правила відвідування занять. Всі заняття проводяться в аудиторії або в дистанційному режимі, лекції та лабораторні роботи проводяться в відповідності до розкладу наданого деканатом. Контроль здійснюється на занятті викладачем, якщо воно проводиться в аудиторії, або за результатами тестів з матеріалу лекцій та надходженню звітів про виконання лабораторних робіт, якщо воно дистанційне. Відвідування занять обов'язкове (як лекцій, так і лабораторних занять).

Призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях та лабораторних заняттях, участь у конкурсах робіт, підготовку та публікацію наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, участь в науково-дослідній роботі на тему, що відповідає темам дисципліни. Кількість заохочуваних балів не більше 10; Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань та звітів лабораторних робіт. Кількість штрафних балів не більше 10.

Академічна доброчесність Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Навчання іноземною мовою Навчальна дисципліна «Методи адаптивного оброблення сигналів» передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела російською та англійською мовою.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю

Поточний контроль: здійснюється шляхом опитування на лабораторних заняттях та при виконанні МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання.

1. Рейтинг студента з дисципліни розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання і захист лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);

2. Критерії нарахування балів.

2.1. Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог. При захисті за кожну лабораторну роботу нараховуються бали:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 7 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними неточностями – 5 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

2.2. Модульна контрольна робота оцінюється із 11 балів:

- «відмінно» – правильно і повністю виконані всі завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 10-11 балів;
- «добре» – частково виконані завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 7-9 балів;
- «задовільно» – завдання контрольної роботи виконані із помилками (не менше 60% потрібної інформації) – 4-6 балів;
- «незадовільно» – завдання не виконані або містять грубі помилки, МКР не зараховано – 0 балів.

3. Календарна проміжна атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимального можливого на час атестації, студент вважається атестованим. Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 8 балів. Умовою позитивної другої атестації – отримання не менше 22 балів.

4. Умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти відповідають на питання білету. Кожен білет містить чотири запитання (завдання). Кожне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 6 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка R з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на останньому занятті;
- календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації t . Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого (R_t) на час атестації $RD_t \geq 0,5R$, студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку – в атестаційній відомості виставляється «не зараховано».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено завідувач кафедри РТПС, д.т.н., проф. Жук Сергій Якович

Ухвалено кафедрою РТС (протокол № 06/23 від 22.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією Факультету електроніки (протокол № 06/23 від 29.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією Радіотехнічного факультету (протокол № 06-23 від 29.06.2023 р.)