

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
Кафедра комп'ютерних наук

Кваліфікаційна робота магістра
з теми: «Розробка та застосування структурних моделей на
основі ланцюгових дробів для аналізу лінійних динамічних
систем з розподіленими параметрами»

Виконав:
здобувач вищої освіти групи KN1-M23
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Павлюк Богдан Олександрович

Керівник:
Іванюк Віталій Анатолійович,
доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук

Рецензент:
Ковальська Ірина Борисівна,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри математики

Кам'янець-Подільський, 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Павлюк Б.О. Розробка та застосування структурних моделей на основі ланцюгових дробів для аналізу лінійних динамічних систем з розподіленими параметрами. – Кваліфікаційна робота магістра, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена актуальній проблемі моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами. Метою роботи є розробка ефективних методів структурного та математичного моделювання таких систем на основі ланцюгових дробів.

У роботі проведено детальний аналіз існуючих методів моделювання, розроблено алгоритми апроксимації передатних функцій ланцюговими дробами та створено програмні модулі для їх реалізації в середовищі MATLAB/Simulink.

Запропонований підхід дозволяє підвищити точність і ефективність моделювання складних систем, що мають широке застосування в різних галузях науки і техніки. Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових алгоритмів ідентифікації та адаптації систем, а також для оптимізації робочих процесів в промисловості.

Ключові слова: динамічні системи, розподілені параметри, ланцюгові дроби, апроксимація, моделювання, MATLAB, Simulink.

ABSTRACT

Pavliuk B.O. Development and application of structural models based on continued fractions for the analysis of linear dynamic systems with distributed parameters. – Master's qualification work, 2024.

The qualification work is devoted to the current problem of modeling dynamic systems with distributed parameters. The aim of the work is to develop effective methods for structural and mathematical modeling of such systems based on continued fractions.

The work provides a detailed analysis of existing modeling methods, algorithms for approximating transfer functions by continued fractions are developed, and software modules are created for their implementation in the MATLAB/Simulink environment.

The proposed approach allows to increase the accuracy and efficiency of modeling complex systems that are widely used in various fields of science and technology. The results of the study can be used to develop new algorithms for identifying and adapting systems, as well as for optimizing work processes in industry.

Keywords: dynamic systems, distributed parameters, continued fractions, approximation, modeling, MATLAB, Simulink.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ СТРУКТУРНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ.....	8
1.1. Метод структурного моделювання	8
1.2. Передатні функції.....	14
1.3. Передатні функції об'єктів з розподіленими параметрами	19
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. СЕРЕДОВИЩЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	26
2.1. Загальна характеристика MATLAB.....	26
2.2. Побудова та аналіз моделей динамічних систем в MATLAB	29
2.3. Середовище імітаційного моделювання Simulink	32
2.4. Інструменти апроксимації в Matlab.....	35
Висновки до розділу 2.	38
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМИ АПРОКСИМАЦІЇ НА ОСНОВІ ЛАНЦЮГОВИХ ДРОБІВ.....	39
3.1. Алгоритми побудови ланцюгових дробів для апроксимації моделей ...	39
3.2. Алгоритми побудови правильних C -дробів	40
3.3. Оптимізований алгоритм побудови дробово-раціональних передатних функцій.....	41
3.4. Алгоритм отримання коефіцієнтів ланцюгових дробів	43
Висновок до розділу 3.	44
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	45
4.1. Огляд розроблених модулів.....	45
4.2. Обчислювальні експерименти побудови ланцюгових дробів.....	46

4.3. Імітаційне моделювання розподілених ланок на основі ланцюгових дробів.....	48
4.4. Оптимізація структури моделей в Simulink	50
4.5. Модель "вхід-вихід" для ланцюгового дробу	52
4.6. Обчислювальні експерименти	53
Висновки до 4 розділу	61
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ.....	64

ВСТУП

Дослідження динамічних систем з розподіленими параметрами набуває все більшої актуальності в сучасному світі, де технології розвиваються стрімкими темпами. Такі системи широко представлені в різних галузях, таких як автоматичне керування (наприклад, робототехніка, процеси виробництва), електротехніка (лінії електропередачі), механіка (вібрації конструкцій, теплові процеси) та інших.

Точне моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами є критичним для досягнення кількох важливих цілей: оптимізації робочих процесів, зниження енергоспоживання та підвищення надійності систем, що веде до покращення їхньої ефективності; створення інноваційних продуктів та рішень на основі глибокого розуміння динамічних процесів, що сприяє розробці нових технологій; а також забезпечення безпеки шляхом прогнозування та запобігання аварійним ситуаціям, особливо в критичних системах.

Однак, точне моделювання систем з розподіленими параметрами є складним завданням через їхню високу розмірність та складність математичного опису. Існуючі методи часто мають обмеження щодо точності, швидкодії або універсальності.

Саме тому актуальним є завдання розробки ефективних методів структурного та математичного моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами на основі ланцюгових дробів, що дозволить подолати зазначені обмеження та забезпечити більш точне і ефективне моделювання таких систем.

Мета роботи. Метою роботи є розробка методів структурного та математичного моделювання лінійних динамічних систем з розподіленими параметрами на основі ланцюгових дробів, а також створення програмних засобів для їх реалізації.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих методів моделювання лінійних динамічних систем;
- розробити алгоритми апроксимації передатних функцій систем з розподіленими параметрами ланцюговими дробами;
- створити програмні модулі для реалізації розроблених алгоритмів у середовищі MATLAB/Simulink;
- провести обчислювальні експерименти для оцінки точності та ефективності запропонованих методів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є лінійні динамічні системи з розподіленими параметрами, які описуються складними математичними моделями.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є методи структурного та математичного моделювання лінійних динамічних систем з розподіленими параметрами на основі ланцюгових дробів, а також програмні засоби їх реалізації.

Методи дослідження. У роботі застосовано широкий спектр методів дослідження. Теоретичний аналіз літератури дозволив ознайомитися з існуючими підходами до моделювання динамічних систем. Математичне моделювання було використано для розробки формальних моделей досліджуваних об'єктів. Комп'ютерне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink забезпечило можливість проведення чисельних експериментів та аналізу отриманих результатів. Статистична обробка даних дозволила оцінити точність і достовірність моделей.

Практичне значення. Запропоновані методи та алгоритми знайдуть своє застосування в різних галузях. Зокрема, вони дозволять підвищити точність моделювання складних технічних систем, що є критичним для їхнього ефективного функціонування. Крім того, результати дослідження спростять процедуру проектування систем автоматичного керування, зменшивши час та ресурси, необхідні для розробки нових рішень. Не менш важливим є потенціал розробки нових алгоритмів ідентифікації та адаптації систем, що відкриває

нові можливості для створення більш гнучких та адаптивних систем управління.

Елементи наукової новизни. Наукова новизна роботи полягає у розробці нового методу моделювання, який дозволяє підвищити ефективність та універсальність аналізу складних динамічних систем. Запропонований підхід базується на використанні апроксимаційних моделей у формі ланцюгових дробів та імітаційного моделювання, а його реалізація в середовищі MATLAB/Simulink забезпечує практичну значущість для широкого кола задач автоматичного керування.

Апробація результатів. Результати дослідження опубліковані у Віснику Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Фізико-математичні науки. Випуск 17. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2024 [19].

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили детально проаналізувати існуючі методи моделювання динамічних систем та виявити їхні обмеження. На основі цього аналізу були розроблені нові алгоритми апроксимації передатних функцій систем з розподіленими параметрами ланцюговими дробами. Ці алгоритми забезпечують більш точну та ефективну апроксимацію порівняно з існуючими методами.

Для реалізації розроблених алгоритмів було створено спеціалізоване програмне забезпечення на платформі MATLAB/Simulink. Розроблені програмні модулі дозволяють автоматизувати процес побудови імітаційних моделей, що значно спрощує процес моделювання та аналізу динамічних систем.

Проведені обчислювальні експерименти підтвердили високу точність і ефективність запропонованих методів. Отримані результати демонструють, що розроблені моделі адекватно описують динаміку реальних систем і можуть бути використані для вирішення широкого кола задач автоматичного керування.

Таким чином, у даній роботі було вирішено всі поставлені завдання. Розроблені методи та програмні засоби можуть бути успішно застосовані для моделювання та аналізу складних динамічних систем, що мають розподілені параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. B. Wayne Bequette. Process Control: Modeling, Design, and Simulation, 2nd edition. *Rensselaer Polytechnic Institute*. Pearson, 2023
2. Ben Adcock, Simone Brugiapaglia, Clayton G. Webster. Sparse Polynomial Approximation of High-Dimensional Functions, *Simon Fraser University, Concordia University, University of Texas*. SIAM, 2022.
3. Bingen Yang, Inna Abramova. Dynamic Systems: Modeling, Simulation, and Analysis. *University of Southern California; University of Southern California*. Cambridge University Press, 2022.
4. Bingen Yang. Stress, Strain, and Structural Dynamics: An Interactive Handbook of Formulas, Solutions, and MATLAB Toolboxes, 2nd edition. *University of Southern California*. Academic Press, 2022.
5. Clarence W. de Silva. Modeling of Dynamic Systems: with Engineering Applications, 2nd edition. *University of British Columbia*. CRC Press, Inc., 2022.
6. Dingyü Xue, Feng Pan. MATLAB and Simulink in Action: Programming, Scientific Computing and Simulation. *Northeastern University, Northeastern University*. Springer Singapore, 2024.
7. Dumitru Baleanu, Dr. Valentina Balas, Dr. Praveen Agarwal. Fractional Order Systems and Applications in Engineering. *Institute of Space Sciences, Magurele-Bucharest, "Aurel Vlaicu" University of Arad, Anand International College of Engineering*. Academic Press, 2022
8. Gang Li. Introduction to the Finite Element Method and Implementation with MATLAB. *Clemson University*. Cambridge University Press, 2020.
9. Gordon Blower. Linear Systems. Springer International Publishing, 2023.
10. Jongrae Kim. Dynamic System Modelling and Analysis with MATLAB and Python: For Control Engineers. *University of Leeds*. Wiley-IEEE Press, 2022.
11. Nader Jalili, Nicholas W. Candelino. Dynamic Systems and Control Engineering. Cambridge University Press, 2023.

12. Paul A. Gagniuc. Coding Examples from Simple to Complex: Applications in MATLAB. *National University of Science and Technology Politehnica Bucharest*. Springer International Publishing, 2024.
13. Sulaymon Eshkabilov. Beginning MATLAB and Simulink: From Beginner to Pro, 2nd edition. *North Dakota State University*. Apress, 2022.
14. Верлань А. Ф., Федорчук В. А. Моделі динаміки електромеханічних систем Київ: Наук. думка, 2013. 222 с.
15. Верлань А. А., Федорчук В. А. Моделювання комп'ютерно-інтегрованих силових енергетичних установок: монографія. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. 296 с.
16. Верлань А. Ф., Федорчук В. А., Іванюк В. А. Комп'ютерне моделювання в задачах динаміки електромеханічних систем : монографія. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Кам'янець-Подільський, 2010. 204 с.
17. Іванюк В. А., Тихоход В. О., Протасов С. О. Інтегральні моделі ірраціональних та трансцендентних ланок. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки : зб. наук. праць. Кам'янець-Подільський, 2011. Вип. 5. С. 101–109.
18. Федорчук В. А., Іванюк В. А. Сучасні проблеми комп'ютерного моделювання: навчально-методичний посібник. [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. 101 с.
19. Павлюк Б., Іванюк В. Застосування ланцюгових дробів для моделювання систем з розподіленими параметрами. Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Фізико-математичні науки. Випуск 17. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2024.