

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра математического обеспечения
вычислительных комплексов и
информационных систем

**Параллельный вариант адаптивного алгоритма
параметрического синтеза комбинированных
динамических систем**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы
направления 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем
факультета компьютерных наук и информационных технологий
Батыра Егора Валерьевича

Научный руководитель:

Д. ф.-м. н., доцент

Андрейченко Д.К.

(подпись, дата)

Зав. кафедрой:

Д. ф.-м. н.

Андрейченко Д.К.

подпись, дата

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для решения различных инженерно-технических задач и описания множества физических систем зачастую применяется аппарат теории комбинированных динамических систем. Данный подход позволяет достаточно подробно описать исследуемую систему без необходимости рассматривать множество осложняющих при решении задачи обстоятельств реальной физической или механической модели.

Теория устойчивости комбинированных динамических систем, активно развивающаяся на протяжении последних лет, нашла своё отражение в задачах расчёта параметров систем угловой стабилизации. Одной из таких задач является задача расчёта оптимальных значений параметров обратных связей для системы стабилизации реактивного снаряда залпового огня.

Обычно для решения данной задачи в рамках теории комбинированных динамических систем применяется алгоритм параметрического синтеза. Однако на «узких» областях устойчивости имеет смысл использовать адаптивную версию алгоритма параметрического синтеза, способную обеспечить более подходящие значения.

Данная задача требует чрезмерно большого количества ресурсов для проведения вычислительного эксперимента. Поэтому актуальным направлением для исследований является применение технологий распараллеливания. Ранее для распараллеливания алгоритмов параметрического синтеза применялись средства многопоточного программирования при помощи использования таких библиотек как OpenMP и библиотека параллельных шаблонов Microsoft. Однако, для развёртывания на кластерных системах необходимо распараллелить данный алгоритм средствами технологии MPI и реализации динамической балансировки вычислительной нагрузки в условиях возможной неоднородности производительности вычислительных узлов кластерной системы.

Цель бакалаврской работы. Целями данной работы являются: нахождение оптимальных значений параметров обратных связей для системы угловой стабилизации реактивного снаряда залпового огня, а также распараллеливание используемого при решении алгоритма параметрического синтеза на кластере СГУ.

Для достижения данных целей требуется решить следующие задачи:

- 1) Реализация адаптивного алгоритма параметрического синтеза семейства линеаризованных моделей комбинированных динамических систем.
- 2) Создание параллельной версии алгоритма на основе технологии MPI.
- 3) Реализация паттерна распараллеливания MPI-MAP для произведения динамической балансировки вычислительной нагрузки по схеме «менеджер-исполнители».
- 4) Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов

Методологические основы. Методологической основой бакалаврской работы стали труды отечественных и зарубежных учёных. В их число входят: Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П.[1], Соболев В.С., Люстерник Л.А.[3], Лавровский Л.К., Формальский А.М.[11], Эндрюс Г.Р.[16], Антонов А.С.[18], Nelder J.A, Mead R.A.[20], Parkinson J.M., Hutchinson D.[21], Malcolm M.A., Simpson R.B.[22], Piessens R., de Doncker–Kapenga E., Uberhuber C., Kahaner D. [23].

Практическая значимость бакалаврской работы. Была разработана программная реализация адаптивного алгоритма параметрического синтеза семейства комбинированных динамических систем; проведена модификация данного алгоритма для распараллеливания на кластерных системах с использованием технологии MPI; проведён вычислительный эксперимент на кластере СГУ, показавший улучшение по части нахождения оптимальных параметров системы, а также эффективность распараллеливания

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, из четырёх разделов, посвящённых: теории комбинированных динамических систем, применению методов оптимизации для решения задач нахождения

оптимальных параметров физических систем, теории параллельных и распределённых вычислений, исследованию влияния распараллеливания алгоритма параметрического синтеза на кластерных системах на эффективность вычислений. Также в работу включены заключение, список использованных источников и три приложения. Общий объём работы – 87 страниц, из них 69 – основное содержание, включая 10 рисунков, 4 таблицы, список использованных источников – 23 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Введение в теорию комбинированных динамических систем» посвящен начальным сведениям по теории комбинированных динамических систем. В нём формулируются основные определения, рассматриваются основные свойства комбинированных динамических систем, затрагиваются базовые элементы используемого математического аппарата. [1,2,3]

Второй раздел «Параметрический синтез КДС» посвящён описанию подхода к решению задач, рассматриваемых в рамках теории комбинированных динамических систем, называемого параметрическим синтезом. Раздел содержит три подраздела.

Подраздел «Параметрический синтез линейной стационарной КДС» содержит базовые определения, касающиеся параметрического синтеза и замечания к ним. Рассматривается стандартный алгоритм параметрического синтеза на примере модели линейной стационарной комбинированной динамической системы.[4]

Подраздел «Адаптивный вариант параметрического синтеза» описывает модифицированный алгоритм параметрического синтеза, хорошо подходящий для исследования на «узких» областях устойчивости системы. [5-8]

Подраздел «Адаптивный вариант параметрического синтеза семейства линеаризованных КДС» расширяет описанный выше алгоритм для поиска оптимальных значений параметров обратных связей, подходящих для динамических систем с произвольными значениями характеристик, изменяющимися в некотором диапазоне. [5,7,8]

Третий раздел «Модельная задача расчёта оптимальной системы угловой стабилизации» посвящён постановке задачи угловой стабилизации реактивного снаряда залпового огня, сводящейся к задаче угловой стабилизации вращающегося упругого стержня под действием продольного ускорения. [9,10] Подробно описываются все математические аспекты модели,

описывается применение алгоритма параметрического синтеза для решения поставленной задачи. Раздел состоит из нескольких подпунктов.

В подпункте «Модельные уравнения системы стабилизации» показаны уравнения, описывающие поведение комбинированной динамической системы после приведения к безразмерным переменным и параметрами, производятся необходимые предварительные замены и преобразования. [11-13]

В подпункте «Передаточные функции системы стабилизации» производится построение матрицы передаточных функций, рассматриваются вспомогательные краевые задачи, а также методы их решения. [12,13]

Подпункт «Анализ устойчивости системы стабилизации» содержит описание аппарата исследования устойчивости динамической системы. Данный шаг необходим для оценки состояния динамической системы при выполнении алгоритма параметрического синтеза. [1,13,14]

Подпункты «Параметрический синтез» и «Параметрический синтез семейства линеаризованных управляемых комбинированных динамических систем» содержит адаптацию метода параметрического синтеза для рассматриваемой физической системы, роль тех или иных компонентов математической модели в работе алгоритма, а также расширение этого алгоритма для поиска универсальных параметров, подходящих целому семейству комбинированных динамических систем. [1, 15]

В подпункте «Параллельный алгоритм параметрического синтеза» произведена теоретическая оценка возможностей распараллеливания алгоритма параметрического синтеза, перечислены особенности, возникающие при реализации. [16]

Четвёртый раздел «Программная реализация и результаты моделирования» посвящён описанию механизмов, применённых при распараллеливании алгоритма параметрического синтеза, вспомогательных технических средств. Произведён анализ результатов решения поставленной задачи.

В подпункте «Паттерн MPI-MAP» рассматривается паттерн распараллеливания, применяемый при реализации адаптивного алгоритма параметрического синтеза. Данный паттерн является программной интерпретацией схемы динамической балансировки вычислительной нагрузки, известной как «менеджер-исполнители». [16, 17]

В подпункте «Сведения о разработанном и использованном ПО» даётся краткая техническая справка по разработанному и применённому программному обеспечению, библиотеках численного анализа.

В подпункте «Используемые функции библиотеки MPI должны» перечислены и описаны функции библиотеки, использованной для адаптации параллельной версии алгоритма параметрического синтеза к исполнению на кластерных системах. [18]

Подпункт «Используемые функции библиотеки NAG FORTRAN» содержит описание функций библиотеки численного анализа NAG, реализующих безградиентный метод оптимизации Нелдера-Мида и адаптивные методы интегрирования. Данные методы активно применяются в алгоритме параметрического синтеза. [19-23]

В подпункте «Результаты оптимизации переходных процессов» производится сравнение набора параметров комбинированной динамической системы, используемых в качестве отправной точки алгоритма параметрического синтеза и выходного набора, полученного после оптимизации. Проводится анализ поведения импульсных переходных функций, характеризующих отклонение системы угловой стабилизации

Подпункт «Эффективность распараллеливания на кластерной системе» содержит технические характеристики узлов кластера СГУ, а также исследуется время выполнения алгоритма параметрического синтеза семейства комбинированных динамических систем в зависимости от числа используемых при вычислениях процессоров и процессов-исполнителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен адаптивный алгоритм параметрического синтеза семейства линеаризованных управляемых комбинированных динамических систем. Показана его эффективность для случая «узких» областей устойчивости в пространстве параметров обратных связей.

На примере параметрического синтеза системы угловой стабилизации вращающегося упругого стержня показано, что предложенный метод в требуемом диапазоне изменения конструктивных параметров позволяет существенно сократить характерное время регулирования и уменьшить ошибку системы стабилизации.

Показано, что предложенный параллельный алгоритм параметрического синтеза обеспечивает значительное ускорение вычислительного процесса.

Применён паттерн обеспечения балансировки вычислительной нагрузки по схеме «портфель задач» и реализован средствами библиотеки MPI.

Произведён вычислительный эксперимент на кластерной системе СГУ и исследована зависимость ускорения вычислений от числа параллельно исполняющихся на кластере процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П. К теории комбинированных динамических систем// Изв. РАН. Теория и системы управления. 2000. № 3. С. 54-69.
2. Andreichenko D.K., Andreichenko K.P. On the theory of hybrid dynamical systems// Journal of Computer and Systems Sciences International. 2000. Vol. 39. No 3. pp. 383-398.
3. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Краткий курс функционального анализа. М.: Высш. школа, 1982. 271 с.
4. Комарова, М.С. Моделирование, анализ и синтез управляемых комбинированных динамических систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 : защищена 27.12.2012 : утв. 30.09.2013 / Комарова Мария Сергеевна; науч. рук. Д.К. Андрейченко; Министерство образования и науки РФ, Сарат. гос. техн. университет. Саратов, 2012, 167 с. : табл. Библиогр.: с. 159-166
5. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П. Моделирование, анализ и синтез комбинированных динамических систем. Учебное пособие. Саратов: ООО «Издательский Дом «Райт-Экспо», 2013. 144 с.
6. Андрейченко Д.К., Ерофтиев А.А., Мельничук Д.В. Распараллеливание параметрического синтеза по схеме «Портфель задач» на основе технологии MPI // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. 2015. Т. 15. Сер. Математика. Механика. Информатика. Вып. 2. С. 222-228.
7. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Кононов В.В. Параллельный алгоритм вычисления оптимальных параметров одноканальной системы угловой стабилизации// Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. 2013. Т. 13. Сер. Математика. Механика. Информатика, вып. 4, ч. 1. С. 109-117.
8. Андрейченко, Д.К. Адаптивный алгоритм параметрического синтеза / Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Портенко М.С., Мельничук Д.В.// Компьютерные науки и информационные технологии. Материалы

- Международ. науч. конф. – Саратов: Издат. центр «Наука», 2016. – С. 31-34.
9. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Кононов В.В., К теории устойчивости автономной системы угловой стабилизации реактивного снаряда залпового огня// Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика, 13:2(2) (2013), 9–14
 10. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Кононов В.В., Параллельный алгоритм параметрического синтеза системы угловой стабилизации вращающегося упругого стержня под действием продольного ускорения// Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, 2017, №2, С. 24-39
 11. Лавровский Э.К., Формальский А.М. Управление упругим звеном манипулятора при помощи обратной связи по положению и скорости груза// ПММ. 1993. Т. 57. Вып. 6. С. 51-60.
 12. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П. К теории автономных систем угловой стабилизации реактивных снарядов залпового огня// Изв. РАН. ТиСУ. 2009. № 3. С. 141-156.
 13. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Кононов В.В. К устойчивости системы угловой стабилизации вращающегося упругого стержня под действием продольного ускорения// Изв. РАН. ТиСУ. 2013. № 5. С. 12-25.
 14. Андрейченко Д.К. Эффективный алгоритм численного обращения интегрального преобразования Лапласа// ЖВМиМФ. 2000. Т. 40. № 7. С. 1030-1044.
 15. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П. Динамический анализ и выбор параметров модели гироскопического интегратора линейных ускорений с плавающей платформой// Изв. РАН. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 76-89.
 16. Эндрюс Г. Р. Основы многопоточного, параллельного и распределённого программирования /под ред. А. Б. Ставровского. М.; СПб.; Киев: Вильямс, 2003. 505 с.
 17. Андрейченко Д.К., Андрейченко К.П., Мельничук Д.В., Паттерн MPI-

МАР и моделирование выходных вектор-функций нелинейных комбинированных динамических систем// Доклады Академии военных наук. 2015. № 2 (66). С. 101-115.

18. Параллельное программирование с использованием технологии MPI: учебное пособие/ Антонов А.С. – М.: Изд-во МГУ, 2004. — 71с.
19. The NAG Library www.nag.co.uk [Электронный ресурс]/ Numerical Algorithms Group. Электрон. дан. 2017 Режим доступа: <http://www.nag.co.uk/content/nag-library>, свободный. Загл. с экрана.
20. Nelder J.A., Mead R. A simplex method for function minimization // The Computer Journal, Number 7(4), 1965, pp. 308–313.
21. Parkinson J. M., Hutchinson D. An investigation into the efficiency of variants of the simplex method // Numerical Methods for Nonlinear Optimization (Lootsma F. A. ed.), 1972, pp. 115-135.
22. Malcolm M. A., Simpson R. B. Local versus global strategies for adaptive quadrature // ACM Trans. Math. Software, Number 1, 1976, pp. 129–146.
23. Piessens R., de Doncker–Kapenga E., Uberhuber C., Kahaner D. QUADPACK, A Subroutine Package for Automatic Integration // Springer-Verlag, 1983.