

© 2012 г. Г.Б. ДИГО,
Н.Б. ДИГО

(Институт автоматике и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ¹

Предлагаются вычислительные схемы применения многометодной и многовариантной технологий для решения задач анализа и оптимизации динамических объектов на основе областей работоспособности и задач идентификации систем управления с нерегулярным измерением выхода в условиях неопределенности.

THE USING OF PARALLEL CALCULATIONS IN CONTROL PROBLEMS UNDER CONDITIONS OF AN UNCERTAINTY / G. B. Digo (E-mail: bernatsk@iacp.dvo.ru), N. B. Digo (Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Division of Russian Academy of Sciences, 5 Radio Street, Vladivostok 690041, Russia, E-mail: digo@iacp.dvo.ru). Computational schemes of application of multimethod's and multivariate technologies for solving problems of analysis and optimization of dynamic objects on the basis of serviceability domains and the problems of identification of control systems with not regularly measured output in conditions of uncertainty, are offered.

1. Введение

В настоящее время в сферу фундаментальных исследований и практических приложений современной теории управления попадают все более сложные технические системы. Категория их сложности обычно характеризуется такими свойствами как многомерность, нелинейность, неопределенность. Каждое из них существенно затрудняет исследование поведения систем и решение задачи управления. Существующая структурно-параметрическая неопределенность обычно связана с особенностями функционирования систем и свойствами внешней среды. В таких условиях приходится не только искать наилучшее решение, но и преодолевать вычислительную трудоемкость используемых методов и алгоритмов.

В зависимости от вида неопределенности и используемых способов ее преодоления применяются разные методы управления, однако не всегда ясно, какой из них предпочтительнее. Кроме того, из-за большой степени зашумленности протекающих процессов при задании требований к результату функционирования реальных технических систем приходится сталкиваться с общеизвестными сложностями. Современный уровень развития

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов 12-И-ОЭММПУ-01 и 12-И-ОЭММПУ-04 ДВО РАН в рамках программы фундаментальных ОЭММПУ №14 «Анализ и оптимизация функционирования систем многоуровневого, интеллектуального и децентрализованного управления в условиях неопределенности».

средств вычислительной техники и информационных технологий позволяет для решения таких задач применять многометодную и многовариантную технологии на многопроцессорных вычислительных системах или на распределенных многомашинных комплексах, связанных локальной сетью, используя распараллеливание вычислительного процесса.

В докладе такой подход в условиях неопределенности рассматривается применительно к решению задач анализа и оптимизации динамических объектов на основе областей работоспособности и задач идентификации систем управления с нерегулярным измерением выхода.

2. Многометодная и многовариантная технологии в задачах управления

Одним из подходов к реализации алгоритмов управления является многометодная технология, заключающаяся в распараллеливании сложного вычислительного процесса путем организации параллельных вычислительных потоков для одновременного проведения расчетов разными методами. Поскольку каждый из этих потоков, работая достаточно эффективно только в определенных условиях, реализуется на отдельном процессоре, отыскивая решение по заданному критерию, предусматривается автоматический анализ результатов, полученных разными методами, и выбор среди них наилучшего. В реальных условиях применение такой технологии обеспечивает для каждой задачи подбор своей последовательности шагов из разных методов, приводящей к наиболее эффективному поиску оптимального управления.

Многовариантная технология в условиях неопределенности позволяет выбирать решения на основе обработки информации об альтернативах, критериях выбора, возможных исходах, системах предпочтений и способах отображения множеств допустимых альтернатив во множество критериальных оценок возможных исходов. Такую процедуру можно рассматривать как динамический процесс принятия решений в условиях неопределенности, поскольку она имеет неустойчивую во времени исходную информацию (с течением времени изменяются состав и свойства альтернатив, набор критериев выбора, их относительная важность, а также предпочтительность альтернатив, критериев и исходов). При этом характер выбора экспертных предпочтений отражает тенденции изменений во входной информации. Для их оценки используется накапливаемая статистика, требующая многовариантной обработки больших объемов информации [1].

Главным критерием качества распараллеливания вычислений выбрано сокращение общего времени решения задачи. Приходится учитывать, что возможности распараллеливания вычислений зависят от количества имеющихся процессоров (ограничения на число методов и вариантов), особенностей вычислительного алгоритма, который может оказаться принципиально последовательным и степени информационной неопределенности об исследуемом объекте. Распараллеливание базируется на декомпозиции последовательного алгоритма вычислений, а единицей параллелизма является однократный расчет по каждому из блоков.

Среди возможных вариантов распараллеливания по данным выбран простейший, не требующий в ходе решения обмена информацией между процессорами. Такая технология распараллеливания, отличающаяся от прочих возможных вариантов своей алгоритмической простотой, выбрана, несмотря на некоторые ее недостатки (невозможность подключать простаивающие процессоры и разгружать занятые при асинхронном времени расчета из-за автономного владения информацией и отсутствия обмена нею). Это связано с тем, что в некоторых задачах оперативного управления отсутствие передачи

данных от одного процессора к другому ускоряет процесс вычислений больше, чем пошаговый обмен информацией между ними.

Ниже рассматривается описанный подход применительно к анализу и оптимизации динамических объектов на основе областей работоспособности (областей качества) и решению проблем идентификации систем управления с нерегулярным измерением выхода в условиях неопределенности.

3. Многометодная технология при анализе и оптимизации на основе областей работоспособности

В условиях неопределенности одним из важных этапов анализа и синтеза сложных динамических систем является нахождение в пространстве параметров такого подпространства (областей работоспособности или качества), все точки которого удовлетворяют ряду требований (условия устойчивости, работоспособности, достижимости, безопасности, надежности и т.д.), предъявляемых к их функционированию. Использование знаний о таких областях позволяет проводить анализ различных показателей функционирования систем, на его основе осуществлять оптимальный синтез значений их параметров, оценивать способность систем сохранять требуемые свойства при отклонениях параметров их элементов от расчетных значений, вызванных различными дестабилизирующими факторами, и запасы работоспособности или остаточные ресурсы.

При синтезе оптимальных параметров в процессе проектирования знание границ и конфигурации областей работоспособности позволяет назначать допуски на параметры элементов, выбирать оптимальные в том или ином смысле значения управляющих параметров, определяющие настраиваемые компоненты систем и критические настроечные значения, допустимые вариации их параметров. Очевидно, что такая концепция представляет собой самостоятельную методологическую проблему. Так, первым этапом решения задачи оптимального параметрического синтеза является построение области работоспособности. Исходными данными для него являются информация о возможных вариациях значений внутренних параметров системы $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, $\mathbf{x} \in R^n$,

$$(1) \quad x_{i_{\min}} \leq x_i \leq x_{i_{\max}}, \quad x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n},$$

и условия работоспособности (ограничения на компоненты вектора выходных параметров $\mathbf{y} = \{y_j\}_{j=1}^m$)

$$(2) \quad a_j \leq y_j(\mathbf{x}) \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m,$$

$$(3) \quad y_j = F_j(x_1, \dots, x_n).$$

В (3) $F_j(\cdot)$ - известный оператор, зависящий от топологии исследуемого объекта.

Область работоспособности

$$(4) \quad D_{\mathbf{x}} = \{\mathbf{x} \in R^n : \mathbf{a} \leq \mathbf{y}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{b}\}$$

в общем случае может быть точечным множеством (счетным, конечным или некоторым континуумом), ограниченным сложной поверхностью в многомерном пространстве, а ее точки характеризуют благоприятные события (работоспособное состояние системы, устойчивое состояние и т.д.). Большая размерность области и априори неизвестная конфигурация ограничивающей ее поверхности создают существенные трудности не только при ее нахождении, но и при использовании в процессе решения широкого круга прикладных задач.

В условиях отмеченной выше неопределенности построение области работоспособности включает в себя предварительный анализ имеющейся информации о внутренних параметрах и условиях работоспособности, аппроксимацию, анализ полученных результатов. Исходными данными для предварительного анализа являются условия работоспособности, задаваемые выражениями (2)-(3), и ограничения (1) на внутренние параметры, образующие содержащий область работоспособности n -мерный параллелепипед допусков

$$(5) \quad B_d = \{x \in R^n \mid x_{i_{\min}} \leq x_i \leq x_{i_{\max}}, i = 1, \dots, n\}.$$

Если область D_x вписана в параллелепипед B_d , то осуществляется переход к этапу аппроксимации. Если же (5) содержит область (4), но не является для нее описанным, строится параллелепипед B_o с гранями, параллельными соответствующим граням параллелепипеда допусков B_d и касающимся границ области работоспособности. Его построение, как первый шаг на этапе аппроксимации области работоспособности, позволяет несколько уменьшить пространство поиска. Возможные алгоритмы построения B_o и матричное описание D_x приведены в [2-4]. В результате использования этих алгоритмов находится n -мерный параллелепипед

$$(6) \quad B_o = \{x \in R^n \mid 0 \leq c_i \leq x_i \leq d_i \leq 1, i = 1, \dots, n\},$$

описанный вокруг области работоспособности D_x с точностью до заданного ε . Подобно параллелепипеду B_d он имеет свое матричное представление, позволяющее с большей точностью отслеживать неизвестные границы D_x и получать более точное описание области работоспособности D_x , перейдя к этапу аппроксимации.

Во многих ситуациях для этого оказываются эффективными методы приближения области работоспособности различными геометрическими фигурами (вписанными или описанными n -мерными параллелепипедами с гранями, параллельными координатным плоскостям, выпуклыми многогранниками, эллипсоидами [2, 5-6]). Кроме того, при выполнении определенных требований к условиям работоспособности и ограничениям на внутренние параметры могут использоваться алгоритмы, основанные на кусочно-линейном или квадратичном приближении границ области работоспособности [7]. Очевидно, что каждый из этих методов наиболее эффективен при выполнении определенных требований. Но поскольку в условиях существующей неопределенности проверка их выполнения затруднена или вообще невозможна, представляется целесообразным применять многометодную технологию и рассматривать используемые алгоритмы как многовариантный подход к аппроксимации области D_x , так как метод, удачный в одних условиях, может оказаться неудачным при их изменении. Вычислительная схема аппроксимации на основе многометодной технологии реализуется в виде параллельных

процессов с учетом полноты и особенностей исходной информации. Проведенные исследования позволяют утверждать, что в реальных условиях применение такого подхода обеспечивает подбор алгоритма, приводящего к наилучшему результату.

4. Многовариантная технология для идентификации объекта управления с нерегулярным измерением выхода

При решении задач стабилизации многомерных динамических объектов с запаздыванием (ректификационные колонны установок первичной переработки нефти и др.), в которых число управляющих воздействий и управляемых переменных могут достигать нескольких десятков, находят широкое применение системы управления на основе прогнозирующих моделей. Очевидно, что их эффективность напрямую зависит от качества применяемых алгоритмов идентификации, которые должны обеспечивать минимальную ошибку прогноза в условиях нерегулярных изменений выхода. В отличие от известных постановок задач идентификации приходится работать в условиях различных частот квантования входных и выходных переменных. Это соответствует распространенной реальной ситуации, когда выход объекта (например, показатель качества производимого продукта технологического процесса) измеряется нерегулярно, в то время как значения других технологических переменных доступны на каждом такте управления. Кроме того, могут быть неизвестны структура и параметры модели объекта.

Для поиска зависимости между входными и выходными переменными при описанных выше условиях в [8] предлагается регрессионная модель, содержащая вейвлет-преобразованные входы, получаемые разложением по ортонормированным функциям на основе вейвлет-базиса. Общий принцип его построения состоит в использовании масштабного преобразования и смещений. Изменение масштабов позволяет выявлять различие в характеристиках на разных шкалах, а сдвиги – свойства переменных в разные моменты времени на изучаемом интервале. Методические приемы вейвлет-преобразований схематичны, их особенности вырабатываются, исходя из характеристик обрабатываемых данных, интересующих результатов и имеющихся предпочтений. Это связано с тем, что разные виды вейвлетов позволяют настраивать используемые преобразования на выделение воздействий определенной формы.

В настоящее время набор вейвлетов довольно обширен и содержит более десятка базовых типов и множество вариантов для некоторых из них [9], однако при выборе среди них наиболее подходящих необходимо учитывать свойства конкретных типов и условия решаемых задач. В связи с этим при использовании вейвлет-преобразований для построения регрессионных моделей приходится применять несколько типов вейвлетов в зависимости от имеющихся экспериментальных данных, полученных с объекта, сравнивать полученные результаты и выбирать наилучший из них. Для преодоления возникающих при этом трудностей предлагается использовать многовариантную технологию. Применительно к данной ситуации она сводится к одновременному рассмотрению нескольких типов вейвлетов или их вариантов и последующему выбору наилучшего по заданному критерию (например, коэффициенту детерминации). Для этого формируется матрица данных размера $(K \times M)$ из значений входных переменных, полученных за некоторое время до начала измерения выхода (K – число измеренных значений по каждой из M входных переменных). По ней выполняются вейвлет-преобразования входных переменных. Преобразованные входы используются как входные переменные в уравнении регрессии выбранной структуры. Критерием эффективности полученных результатов является коэффициент детерминации R^2 [10]. Из всех использованных вейвлет-преобразований выбирается то, которое обеспечивает наибольшее значение R^2 . Схема

реализации многовариантного алгоритма на примере n типов вейвлет-преобразований приведена на рис. 1.

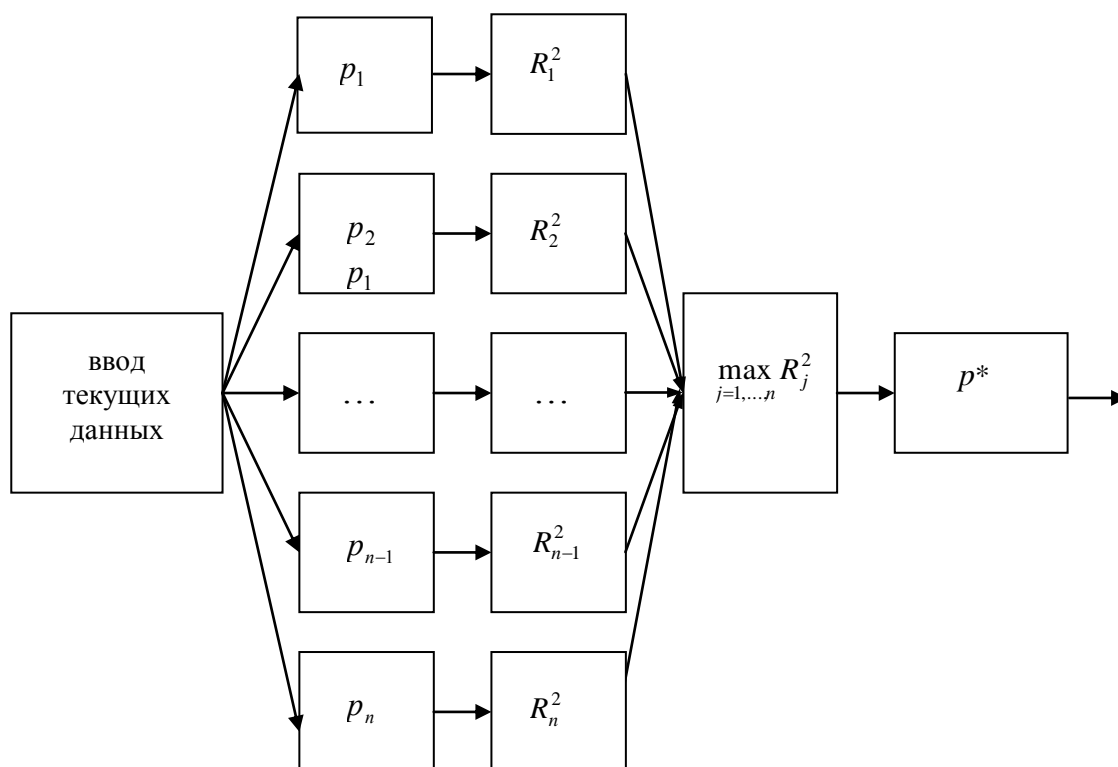


Рис. 1. Схема реализации многовариантного алгоритма на примере n типов вейвлет-преобразований (p_i - тип вейвлет-преобразования, R_i^2 - коэффициент детерминации, $i = 1, 2, \dots, n$, p^* - тип вейвлет-преобразования, соответствующий максимальному коэффициенту детерминации).

5. Заключение

При использовании многометодной и многовариантной технологий для решения задач управления в условиях неопределенности главным критерием качества их применения было выбрано сокращение общего времени решения задачи. Это связано с тем, что в таких задачах, как и во многих других прикладных задачах, важна не столько высокая точность решений, сколько возможность их быстрого получения для многочисленных вариантов с учетом высокой степени неопределенности, сопутствующей анализу практических проблем. В этом отношении разработанные процедуры, позволяющие рассматривать используемую последовательность алгоритмов и управляющих логических операторов как единый алгоритм, оказываются достаточно эффективными, и применение изложенного подхода в реальных условиях обеспечивает подбор наиболее подходящих алгоритмов, приводящих к наилучшему результату.

Предложенные вычислительные схемы на основе многометодной и многовариантной технологий при анализе и оптимизации динамических объектов на основе областей работоспособности и идентификации систем управления с нерегулярным измерением выхода в условиях неопределенности дают возможность учитывать специфику конкретных задач и, модифицируя известные алгоритмы, находить решение по мультиметодным алгоритмам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000.
2. Абрамов О.В., Диго Г.Б., Диго Н.Б., Катусева Я.В. Параллельные алгоритмы построения области работоспособности // Информатика и системы управления. 2004. №2(8). С. 121-133.
3. Катусева Я.В., Назаров Д.А. Алгоритмы анализа области работоспособности, заданной в матричной форме // Информатика и системы управления. 2005. №2(10). С. 118-128.
4. Диго Г.Б., Диго Н.Б. Аппроксимация областей работоспособности и достижимости равномерной сеткой на основе адаптивного разбиения // Информатика и системы управления. 2011. №2(28). С. 22-29.
5. Диго Г.Б., Диго Н.Б. Реализация параллельного алгоритма аппроксимации области работоспособности выпуклым многогранником // Информатика и системы управления. 2006. №1(11). С. 167-174.
6. Диго Г.Б., Диго Н.Б. Использование эллипсоидов для описания области работоспособности // Информатика и системы управления. 2008. №1(15). С. 22-28.
7. Брейтон Р.К., Хэчтел Г.Д., Санджованни-Винченелли А.Л. Обзор методов оптимального проектирования интегральных схем // ТИИЭР. 1981. Т. 69. №10. С. 180-215.
8. Гончаров А.А., Диго Г.Б., Диго Н.Б., Торгашов А.Ю. Применение вейвлетов для идентификации объектов управления с нерегулярным измерением выхода // XXXVI Дальневосточная математическая школа-семинар имени академика Е.В.Золотова. 4-10 сентября 2012г., Владивосток: Сб. материалов [Электронный ресурс]. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2012. С. 462-469.
9. Дьяконов В.П. Вейвлеты: От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002.
10. Ершов Э.Б. Распространение коэффициента детерминации на общий случай линейной регрессии, оцениваемой с помощью различных версий метода наименьших квадратов (рус., англ.) // ЦЭМИ РАН Экономика и математические методы. – М.: ЦЭМИ РАН, 2002. Т. 38. Вып. 3. С. 107-120.