



УДК 519.6: 681.5

© 2002 г. **Ф.И. Бернацкий**, д-р техн. наук,
Г.Б. Диго,
Н.Б. Диго

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕТОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В РОБАСТНОМ УПРАВЛЕНИИ³

Рассматриваются возможности использования робастного подхода для оперативного управления техническими системами в условиях неопределенности. Предлагается применение многометодной технологии путем распараллеливания вычислений, иллюстрация – построение и использование областей допустимых управлений.

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 их функционирования и свойствами внешней среды. В таких условиях нужно решать две важные взаимосвязанные проблемы: поиск наилучшего решения и преодоление вычислительной трудоемкости методов и алгоритмов нахождения таких решений. В настоящее время одним из приоритетных и активно развивающихся направлений является робастный подход, позволяющий решать задачи управления для теоретически недостаточно изученных технических систем, характеризующихся различными видами неопределенности.

³ Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Интеграция науки и высшего образования России на 2002 – 2006 гг.» (код проекта И0103), Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Приморского края (код проекта 01-01-96901).

Современный уровень развития средств вычислительной техники и информационных технологий оказывают сильное влияние на развитие теории управления. В связи с этим многие методы и приемы, позволяющие лишь частично преодолевать вычислительные трудности, возникающие при исследовании сложных технических систем, постепенно теряют свою актуальность. При решении таких задач все чаще применяются параллельные и распределенные вычисления.

Постановка задачи

Качество управления реальными техническими системами, функционирующими в условиях неопределенности, зависит от удачного подбора их математического описания и задания требований к результату функционирования. В зависимости от вида неопределенности и способов ее преодоления используются разные методы построения математических моделей, но из-за постоянно меняющихся условий функционирования технических систем не всегда очевидно, какой из них предпочтительнее. Кроме того, возникают общеизвестные проблемы, связанные с заданием требований к результату функционирования исследуемых систем. Только в простейших случаях они могут быть обеспечены в виде конкретных значений выходных показателей, как необходимо в задачах оптимального управления. Из-за этого при выборе управления должны использоваться допуски на выходные показатели, принадлежность к которым может быть обеспечена только с некоторой вероятностью. В связи с этим приходится обращаться к вероятностно-допусковым критериям и рассматривать несколько вариантов решения по каждому из применяемых методов для уточнения как выбранных допусков, так и полученных результатов.

Предложенное в [1] робастное управление на основе областей допустимых управлений позволяет преодолевать два вида неопределенности (априори неизвестные условные законы распределения выходных переменных и невозможность задания требований к результату функционирования рассматриваемой системы в виде конкретных значений выходных показателей).

Первый из них преодолевается введением классов наиболее типичных и часто встречающихся на практике законов распределения для выходных переменных рассматриваемых систем. Эти классы являются основой для нахождения управлений, обеспечивающих небольшую чувствительность целевого условия к конкретному виду закона распределения. Неопределенность второго вида преодолевается заданием требований к результату функционирования системы в виде допусков на выходные показатели и использованием вероятностно-допусковых критериев, по которым управление должно обеспечивать нахождение выходных переменных в этих допусках с вероятностью, не меньшей заданной.

Пусть для выходной переменной y в исследуемой технической системе известна структура ее математической модели

$$y = y(\mathbf{X}, \mathbf{U}), \quad (1)$$

т.е. в виде зависимости от векторов входных контролируемых $\mathbf{X}^T = (x_1, \dots, x_n)$ и управляющих $\mathbf{U}^T = (u_1, \dots, u_m)$ переменных, с установленным допуском $[A, B]$.

Предположим, что условная плотность распределения вероятностей $p(y/\mathbf{U})$ принадлежит некоторому классу \mathbf{K} распределений $p_1(y/\mathbf{U}), \dots, p_r(y/\mathbf{U})$, формируемому на основе имеющихся сведений об исследуемой системе. Обычно этот класс состоит из унимодальных, близких к нормальным распределений. Кроме того, это могут быть распределения с ограниченной областью значений переменной; распределения с утяжеленными «хвостами»; распределения, являющиеся смесью элементов некоторого множества распределений.

Из-за наличия помех вычисленное по выражению (1) значение выхода является его условным математическим ожиданием, а сама модель – уравнением регрессии. Используя выражение (1), в пространстве управлений \mathbf{U} при $\mathbf{X} = \mathbf{X}_j$ для каждого j -го распределения класса \mathbf{K} строится область $S_u^{(j)}$ допустимых управлений, в которой для любого вектора управлений $\mathbf{U} \in S_u^{(j)}$ выполняется вероятностное неравенство

$$P\{y \in [A, B]\} \geq P_0, \quad (2)$$

где P_0 – заданное значение вероятности. Их пересечение

$$F = \bigcap_{j=1}^r S_U^{(j)}$$

образует область робастных управлений, в которой целевое условие (2) мало чувствительно к конкретному виду условного закона распределения. Однозначность вектора управлений достигается, например, аппроксимацией области F многомерным параллелепипедом [2] и принятием точки пересечения его диагоналей за текущее управление.

При векторном выходе область робастных управлений исследуемой системы строится сначала для каждого его компонента. Их пересечение, если оно не пусто, и является областью робастных управлений всей системы. Если же оно пусто, то приходится анализировать и при необходимости корректировать допуски на компоненты вектора выхода, уточнять для них классы условных законов распределения и проверять правильность задания принятых значений вероятностей.

При использовании изложенного подхода приходится сталкиваться с двумя проблемами. Первая из них заключается в том, что из-за отсутствия достаточных сведений об исследуемой системе необходимо неоднократно

уточнять параметры модели по текущим данным. При этом выбор того или иного алгоритма идентификации существенно зависит от объема имеющейся информации. В некоторых ситуациях приходится отказываться от выбранного метода после получения неудовлетворительных результатов, обосновывать использование другого или постепенно переходить от одних методов к другим по мере накопления дополнительной информации. Вторая проблема связана с выбором классов условных распределений выходных переменных. Поскольку способ формирования этих классов формализовать не удастся, приходится перебирать различные сочетания распределений и выбирать наиболее подходящее из них. Решение обеих проблем требует больших временных и вычислительных затрат, а это недопустимо при решении как задач текущей идентификации, так и задач оперативного управления. В связи с чем ставится задача – исследовать возможности использования многометодной и многовариантной технологий на многопроцессорных компьютерах с помощью распараллеливания вычислительного процесса на основе современных операционных систем.

Результатами этих исследований должны стать:

- обоснование использования многометодной и многовариантной технологий;
- структурная схема предлагаемого алгоритма распараллеливания;
- выбор способа организации параллельных вычислений;
- выбор схемы вычислений, основных средств программирования и средств программной реализации.

Обоснование использования многометодной и многовариантной технологий

Как правило, для оценки и корректировки неизвестных коэффициентов математической модели (1) приходится использовать доступную текущую информацию. Постоянно меняющиеся условия функционирования технических систем приводят к нарушению предпосылок и предположений, лежащих в основе конкретных методов идентификации, что может привести к потере ими работоспособности. В то же время сложно достичь хороших результатов с помощью только одного из известных методов идентификации из-за того, что априори неизвестно, какие из предположений в конкретной ситуации могут оказаться невыполненными. Поэтому приходится строить и анализировать модели различными методами, чтобы оценить их способность описывать исследуемую систему в конкретных, но неизвестных условиях. При получении неадекватных моделей выбирается другой метод идентификации и в случае очередной неудачи осуществляется переход к следующему, т.е. используется многометодный алгоритм идентификации. Недостаток такого подхода очевиден, так как сложно или невозможно указать

порядок перехода от метода к методу. Кроме того, основная проблема его применения заключается в том, что для выбора оперативного управления при текущем уточнении модели (1) приходится проводить последовательный перебор, требующий больших временных и вычислительных затрат.

Возникающие трудности могут быть преодолены с помощью многометодной технологии, нового подхода к реализации многометодного алгоритма. Она заключается в распараллеливании вычислительного процесса на многопроцессорных компьютерах путем организации параллельных вычислительных потоков для одновременного проведения расчетов разными методами. Каждый из них обеспечивает построение модели одним из выбранных методов на отдельном процессоре, и по заданному критерию из них выбирается наилучшая.

Вторую проблему, связанную с выбором класса K условных распределений выходных переменных, можно преодолеть, используя многовариантную технологию. Применительно к данной ситуации она сводится к замене сложного и не всегда возможного процесса формализации формирования класса K к одновременному рассмотрению различных вариантов возможных из технологических соображений классов распределений и последующему выбору наилучшего по заданному критерию.

Структурная схема предлагаемого алгоритма распараллеливания

Схема реализации многометодного алгоритма (рис. 1) рассматривается на примере использования трех модификаций стандартного регрессионного анализа.

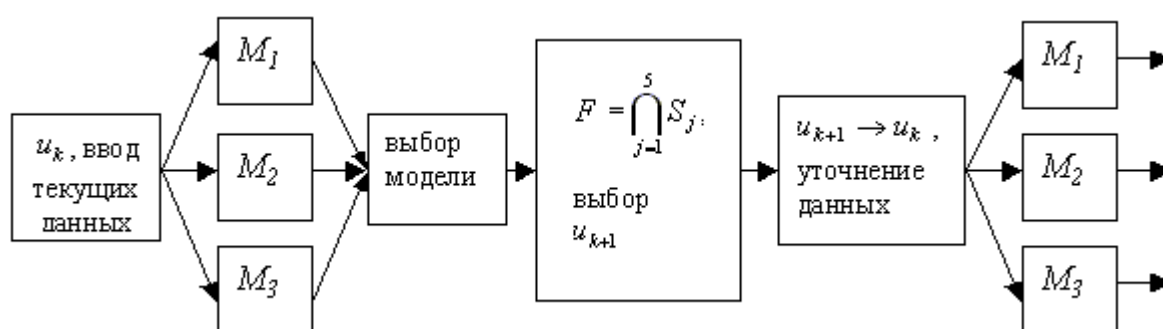


Рис. 1. Схема выбора управления на текущем (k+1)-м шаге.

Коэффициенты модели (1) оцениваются одновременно тремя методами (методом текущих наименьших квадратов, взвешенным методом наименьших квадратов, методом наименьших квадратов с переменной глубиной памяти) по заданной матрице исходных данных. При этом соответственно используются разные длины текущих интервалов, весовые коэффициенты,

глубины памяти. Из вариантов, посчитанных по каждому методу, ищется лучший по заданному критерию результат, затем среди них для построения областей допустимых управлений и последующего выбора оперативного управления выбирается наилучшая модель. Одновременное применение разных методов идентификации и расчет по ним нескольких вариантов моделей формируют группу алгоритмов, каждый из которых работает достаточно эффективно только в определенной ситуации. При этом многометодная технология предусматривает автоматический анализ различных вариантов построения моделей разными методами по заданному критерию.

Схема реализации многовариантного алгоритма при построении областей робастных управлений рассматривается на примере четырех классов условных распределений выходной переменной. Робастные области управления строятся для каждого класса условных распределений (рис. 2), и для нахождения текущего управления из них выбирается лучшая по заданному критерию.

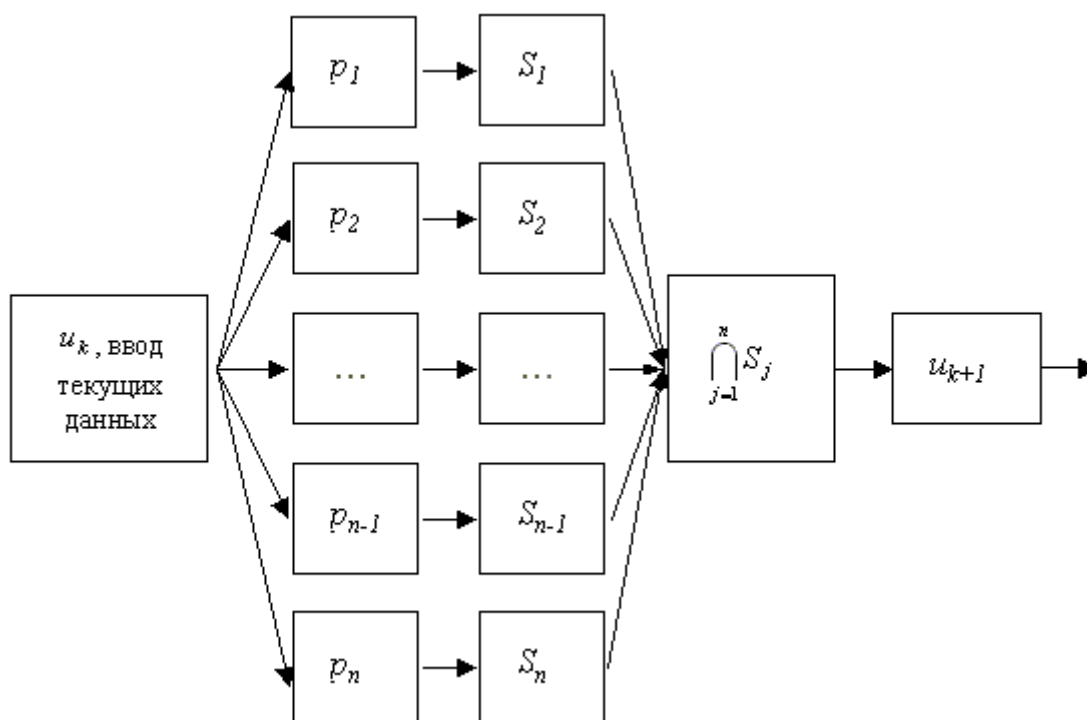


Рис. 2. Схема выбора текущего управления u_{k+1} на основе областей допустимых управлений (на примере одного класса распределений).

Выбор способа организации параллельных вычислений

Очевидно, что программная реализация параллельных вычислений представляет собой сложную в теоретическом и практическом плане задачу и во многом определяется языковыми и инструментальными средствами программирования. Кроме того, на технологию разработки параллельных

программ существенно влияет архитектура используемых компьютеров (векторно-конвейерные или массивно-параллельные). В зависимости от типа архитектуры компьютеров для организации параллельных вычислений применяются векторизация (распараллеливание по данным) или распараллеливание (наряду с распараллеливанием по данным возможно распараллеливание по процессам). Многометодные алгоритмы требуют распараллеливания как по данным (одна параллельная инструкция воздействует на разные потоки данных), так и по процессам (различные потоки данных участвуют в вычислительном процессе под управлением различных потоков команд), поэтому для их программной реализации выбрана система с массовым параллелизмом. Используются известные технологии распараллеливания [3] и основные признаки, присущие параллельным программам [4]: параллелизм, масштабируемость, локальность, модульность.

Выбор схемы вычислений, основных средств программирования и средств программной реализации

Согласно изложенной выше схеме предлагаемого алгоритма распараллеливания схема вычислений на каждом временном шаге включает следующие этапы:

- обновление матрицы данных на корневом процессе;
- рассылка обновленных данных всем остальным процессам;
- обновление и уточнение параметров конкретных методов идентификации и параметров условных распределений в сформированных классах на корневом процессе для построения различных вариантов моделей и областей допустимых управлений;
- рассылка обновленных параметров всем остальным процессам;
- построение различных вариантов модели по каждому методу на параллельных процессах;
- сборка полученных результатов на корневом процессе;
- выбор лучшего варианта построенной модели по каждому методу на корневом процессе;
- выбор наилучшей модели на корневом процессе;
- рассылка полученных результатов по остальным процессам;
- построение областей допустимых управлений для каждого распределения во всех классах распределений;
- построение области робастных управлений для каждого класса распределений;
- сборка полученных результатов на корневом процессе;
- выбор наилучшей области робастных управлений по заданному критерию на корневом процессе;
- выбор текущего управления на корневом процессе;

– рассылка полученных результатов по остальным процессам.

Основным средством программирования выбрана система передачи сообщений MPI (Message Passing Interface) [4], которая практически является стандартом для программирования алгоритмов с массовым параллелизмом. Это объясняется тем, что MPI обеспечивает единый механизм взаимодействия ветвей внутри параллельного приложения независимо от машинной архитектуры, взаимного расположения ветвей и интерфейса разработчика приложений операционной системы. Кроме того, программы, использующие MPI, легче отлаживаются, так как сужается простор для совершения стереотипных ошибок параллельного программирования, и быстрее переносятся на другие платформы, поскольку имеют компиляторы для Си, Си++ и Фортрана.

В качестве модели программы выбрана MPMD-модель (Multiple Program- Multiple Data) [5]. Ее выбор обусловлен следующими факторами:

– изложенная схема распараллеливания вычислений, кроме распараллеливания по процессам, требует распараллеливания по данным (различные потоки команд управляют различными потоками данных в вычислительном процессе);

– структура обменов однородна в пределах одного блока (метода) и между блоками и неоднородна при передаче параметров каждого из методов;

– корневой процесс выполняет вычисления, необходимые для обновления матрицы исходных данных, обновления и уточнения параметров конкретных методов идентификации и параметров условных распределений в сформированных классах, с последующей их рассылкой остальным процессам, выбора наилучшего варианта среди моделей одного метода, окончательного выбора модели для построения областей допустимых управлений, построения областей робастных управлений на текущем шаге и выбора текущего управления.

Программная реализация алгоритма ориентирована на многопроцессорную систему МВС-1000/16 под управлением ОС LINUX.

Заключение

В работе исследованы возможности использования параллельных вычислений при робастном управлении. Предложено применение многометодной технологии, рассмотрены основные технологические аспекты разработки вычислительных программ для систем с массовым параллелизмом на примере алгоритма робастного управления на основе построения и использования областей допустимых управлений.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Бернацкий Ф.И., Диго Г.Б., Диго Н.Б.* Моделирование алгоритмов робастного управления технологическими процессами // Информатика – Машиностроение. №4.1998. С. 22-27.
2. *Абрамов О.В., Здор В.В., Суполя А.А.* Допуски и номиналы систем управления. М.: Наука, 1976.
3. *Лабусов А.Н.* Технологии распараллеливания.
<http://www.spbcas.ru/cfd/techn/Parallel.htm>.
4. *Воеводин В.В.* Параллельная обработка данных.
<http://parallel.ru/vvv/mpl.html>.
5. *Корнеев В.Д.* Параллельное программирование в MPI.
http://sun.sccc.ru/korneev/MPI_1.html.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Ереминым.

УДК 62-506.12

© 2002 г. **Т.А. Галаган**

(Амурский государственный университет, Благовещенск)

РОБАСТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНОЙ

Рассмотрена математическая модель вентильной машины. Синтез алгоритма робастного управления электроприводом выполнен на основе критерия гиперустойчивости. Приведены результаты имитационного моделирования.

Введение

Синхронные электрические машины по сравнению с двигателями постоянного тока и асинхронными машинами являются наиболее перспективными [1]. Отличительной особенностью этих машин является то, что поле ротора в них неподвижно относительно ротора и вращается синхронно вместе с ним.