

УДК 517.977 + 629.7

АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗАДАЧАХ ПРИБЛИЖЕННО-ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ

© 2009 А. О. Блинов, В. И. Гурман, В. П. Фраленко

Институт программных систем РАН

Развивается приближённый подход к исследованию оптимального управления летательным аппаратом как сложным объектом, не имеющим полного аналитического описания. Предлагается аппроксимация практических (в том числе имитационных) моделей объекта аналитическими конструкциями различной сложности и точности для поиска на их основе приближённого глобального решения с последующим итерационным уточнением. В качестве содержательного примера рассматривается исследование манёвра нештатной посадки вертолета. Приводится описание программного комплекса улучшения и оптимизации законов управления, включающего алгоритмы аппроксимации.

Оптимальное управление, аналитическая аппроксимация, метод наименьших квадратов, летательные аппараты.

Введение

Имеется достаточно богатый опыт применения современных методов оптимального управления к задачам оптимизации управления летательными аппаратами (ЛА) с учётом их специфических особенностей, таких, как вырожденность и магистральная природа решений [1–8]. При этом успешное решение задач в значительной степени обеспечивалось тем, что система уравнений движения представлялась за счет различных упрощений в аналитическом виде, который позволял выявить указанные особенности и применить соответствующую теорию, чтобы найти управления и траектории хотя бы приближенно-оптимальные, но, во всяком случае, лучшие по сравнению с традиционными.

Распространению этого опыта, на наш взгляд, препятствует, прежде всего, сложный, неявный характер описания используемых на практике моделей движения, зачастую в форме компьютерных программ, включающих значительное количество эмпирических зависимостей в представлениях сил и моментов. В [9] предложен систематический приближённый подход, состоящий из следующих этапов: 1) аналитическая аппроксимация модели движения; 2) приближённый качественный анализ задачи с использовани-

ем упрощающих допущений для получения начального приближения её глобального решения; 3) итерационное уточнение начального приближения подходящим методом.

Цель данной работы - рассмотреть подробно первый этап как основу для реализации последующих этапов 2 и 3 и продемонстрировать его эффективность на примере такого характерного с точки зрения сложности описания объекта, как вертолёт в режиме нештатной посадки.

Схемы аналитической аппроксимации

Предполагается, что модель движения в общем случае представляет собой управляемую систему дифференциальных уравнений в нормальной форме

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, u), \quad \left(\frac{dx^i}{dt} = f^i(t, x, u) \right), \quad (1)$$
$$t \in [0, \dots, t_F]$$

и дополнительных ограничений

$$x \in X(t) = \{x : \xi^i(t, x) \leq 0\} \subset R^n,$$
$$u \in U(t, x) = \{u : v^k(t, x) \leq 0\} \subset R^p.$$

Причём имеется, по крайней мере, программно-алгоритмическое представление (компьютерные программы для расчёта) правых

частей уравнений (1) и левых частей неравенств как функций многих переменных $f^i(t, x, u)$, $\xi^j(t, x)$, $v^k(t, x)$.

Для аналитического представления этих функций предлагается процедура, аналогичная статистическим схемам обработки массивов эмпирических данных. По имеющимся программам подсчитываются таблицы их значений на сетке узлов, генерированной комбинациями значений каждого аргумента, распределенных равномерно в его рабочем диапазоне. В качестве аппроксимирующих конструкций рассматриваются полиномы $\sum_{\alpha} \psi_{\alpha}(t) q_{\alpha}(y)$. Например, удобные

в алгоритмическом отношении композиции одномерных полиномов вида

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} (y_1)^{j_1} \left(\sum_{j_2=0}^{m_2} (y_2)^{j_2} \left(\dots \sum_{j_r=0}^{m_r} \psi_{j_1, j_2, \dots, j_r} (y_r)^{j_r} \right) \right), \quad (2)$$

где $y = (t, x, u)$, $r = 1 + n + p$. Аппроксимация проводится по методу наименьших квадратов (МНК)

$$\sum_{\beta} ([q_{\alpha}(y_{\beta})][\psi_{\alpha}] - \phi(y_{\beta}))^2 \rightarrow \min_{\{\psi_{\alpha}\}}$$

где $\phi(y_{\beta})$ – значения аппроксимируемой функции в выбранных узлах. Для рассматриваемых конструкций МНК сводится к решению системы линейных уравнений относительно коэффициентов $\psi_{\alpha}(\psi_{j_1, j_2, \dots, j_r})$. Для её однозначной разрешимости каждое значение m_k не должно превышать числа узловых значений соответствующей переменной y^k (в случае равенства полином (2) становится интерполяционным).

Для выбора подходящей аппроксимирующей конструкции из рассматриваемого класса предварительно проводится анализ чувствительности табличных зависимостей к изменению аргументов в рабочем диапазоне (практически путём построения семейств графиков зависимостей от той или иной переменной при различных характерных комбинациях остальных).

Целесообразно строить не одну, а несколько различных аппроксимаций. Часть из них может выбираться в классе, допускающем эффективный качественный анализ, не обеспечивая при этом высокой точности. Например, это может быть класс линейных конструкций, поскольку имеется хорошо развитая общая теория линейных управляемых систем, либо класс конструкций, линейных относительно всех или части управлений, поскольку соответствующие управляемые системы вида

$$\frac{dx}{dt} = g(t, x, u^1) + k(t, x)u^2$$

допускают преобразование к производным системам меньшего порядка, декомпозицию системы и применение специальных эффективных методов решения вырожденных задач [8, 9]. Для придания аппроксимирующей конструкции желаемых свойств на её коэффициенты накладываются соответствующие условия – некоторые линейные соотношения, так что в конечном итоге речь идёт об условном МНК.

Другая часть, напротив, преследует цель возможно более точного описания для использования на этапе 3 итерационного улучшения универсальными методами, не зависящими от специфики модели. Хотя этот этап принципиально может быть выполнен и непосредственно с использованием компьютерного представления модели, аналитическое представление имеет то преимущество, что делает его не зависящим от вычислительной системы, в которой реализована модель объекта, и позволяет выполнять его в той системе, где реализован алгоритм улучшения. Окончательный выбор аппроксимирующей конструкции может быть сделан по естественному критерию минимума средне-квадратического отклонения полинома от табличных значений при прочих равных условиях (одинаковое число искомых коэффициентов и число узлов).

Как уже отмечалось, собственно в программной форме задаются не все соотношения модели, а отдельные зависимости в составе аналитических выражений правых ча-

стей системы (1), связанные, главным образом, с формированием сил и моментов. Тогда речь может идти об аппроксимации именно этих зависимостей. Соответствующие им таблицы получаются, очевидно, простым пересчётом из таблиц соответствующих правых частей.

Рассмотрим пример исследования маневра нештатной посадки вертолёта.

Аналитическая аппроксимация уравнений движения вертолёта

Рассматривается движение вертолёта в вертикальной плоскости, описываемое уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{x}^1 &= m^{-1}(-X_{BP} \cos \theta - T \sin u^1), \\ \dot{x}^2 &= m^{-1}(-X_{BP} \sin \theta + T \cos u^1 - G), \\ \dot{x}^3 &= f^3(x^1, x^2, x^3, u^1, u^2, \tilde{N}) + \frac{P}{x^3}(N - \tilde{N}), \\ \dot{x}^4 &= x^2,\end{aligned}$$

где x^1, x^2 – горизонтальная и вертикальная составляющая вектора скорости, x^3 – угловая скорость вращения несущего винта, x^4 – высота, u^1 – угол отклонения вектора тяги от вертикали, u^2 – общий шаг несущего винта;

$$\begin{aligned}X_{BP} &= Q((x^1)^2 + (x^2)^2), \\ T &= F_T(x^3 R)^2, \quad \theta = \arctg(x^2 / x^1),\end{aligned}$$

где N – располагаемая мощность двигателей (рассматривается как внешнее воздействие в аварийной ситуации, вызванной отказом одного из двигателей); m, G, P, Q и R, \tilde{N} – константы (m и G – соответственно масса и вес вертолёта, \tilde{N} – расчётное значение N при вычислении таблиц правых частей).

Заданы начальные значения фазовых переменных и ограничения на управления и фазовые переменные в ходе и в конце манёвра:

$$\begin{aligned}x^1(0), \quad x^2(0), \quad x^3(0), \quad x^4(0), \\ u^{i-} \leq u^i \leq u^{i+}, \quad i = 1, 2, \quad x^1(t_F) \leq x^{1+}, \\ x^2(t) \geq x^{2-}(t), \quad x^2(t_F) \geq x^{2-}, \\ x^{3+} \geq x^3(t_F) \geq x^{3-},\end{aligned} \quad (3)$$

которые определяют рабочие диапазоны изменения переменных при аппроксимации.

Описанная модель динамики вертолёта используется в задачах предварительной оценки лётных характеристик вертолёта [3, 10]. С одной стороны, она сравнительно проста, а с другой позволяет существенно повысить точность расчёта взлётно-посадочных характеристик на переходных режимах по сравнению с известным энергетическим методом благодаря учету динамики полёта и особенно динамики изменения потребной мощности на валу несущего винта.

Расчёты проводились на примере условного вертолёта, близкого по характеристикам к вертолёту Ка-226 [11], для следующих числовых значений параметров, ограничений и начальных условий:

$$\begin{aligned}G &= 3400 \text{ кг}, \quad P = 0.2, \quad Q = 0.0004, \\ R &= 6.5 \text{ м}, \quad N = 357 \text{ л.с.}, \\ u^{1-} &= -0.35; \quad u^{1+} = 0.35; \quad u^{2-} = 0; \quad u^{2+} = 0.35; \\ x^{1+} &= 7 \text{ м/с}; \quad x^{2-} = -3.5 \text{ м/с}; \\ x^{3-} &= 24.5 \text{ л/с}; \quad x^{3+} = 31.5 \text{ л/с}; \\ x^1(0) &= x^2(0) = 0; \quad x^3(0) = 29.5 \text{ л/с}; \quad x^4(0) = 0.\end{aligned}$$

Для данного примера имеется отлаженная фортран-программа расчёта правых частей, практически используемая в ОАО «КАМОВ». По этой программе были посчитаны таблицы их значений на сетке узлов, генерированной комбинациями значений аргументов, распределённых равномерно в их рабочих диапазонах (табл. 1).

Таким образом, были получены два варианта таблиц значений.

Вариант 1: таблица построена с помощью полного перебора по трем значениям каждой фазовой переменной и управления и состоит из 243 строк.

Вариант 2: таблица содержит результат полного перебора по пяти значениям каждой фазовой переменной и управления и состоит из 3125 строк.

Для восполнения аналитических описаний было построено семейство МНК-аппроксимаций табличных зависимостей

Таблица 1

Вазовые переменные и управления	Рабочие диапазоны	
	Нижняя граница	Верхняя граница
x^1	0,2778	18,28
x^2	-5	0
x^3	25	31
u^1	-0,349	0,349
u^2	0	0,349

$f^3(x^1, x^2, x^3, u^1, u^2, \tilde{N})$ и $F_T(x^1, x^2, x^3, u^1, u^2)$ (последняя получается простым пересчётом таблиц правой части f^2) с использованием аппроксимирующих конструкций вида (2) с различными значениями показателей степени и различным числом коэффициентов (табл. 2). В частности, в числе этих конструкций находится и линейная по всем переменным (φ_1).

Полиномы φ_1, φ_2 , как наиболее простые, могут использоваться для качественного анализа модели с целью поиска начальных приближений законов управления, а полиномы $\varphi_4 - \varphi_7$ целесообразно использовать

в процедурах улучшения начальных приближений.

Был проведён сравнительный анализ точности аппроксимаций, получаемых при использовании перечисленных полиномов, по естественному критерию минимума среднеквадратического отклонения полинома от табличных значений:

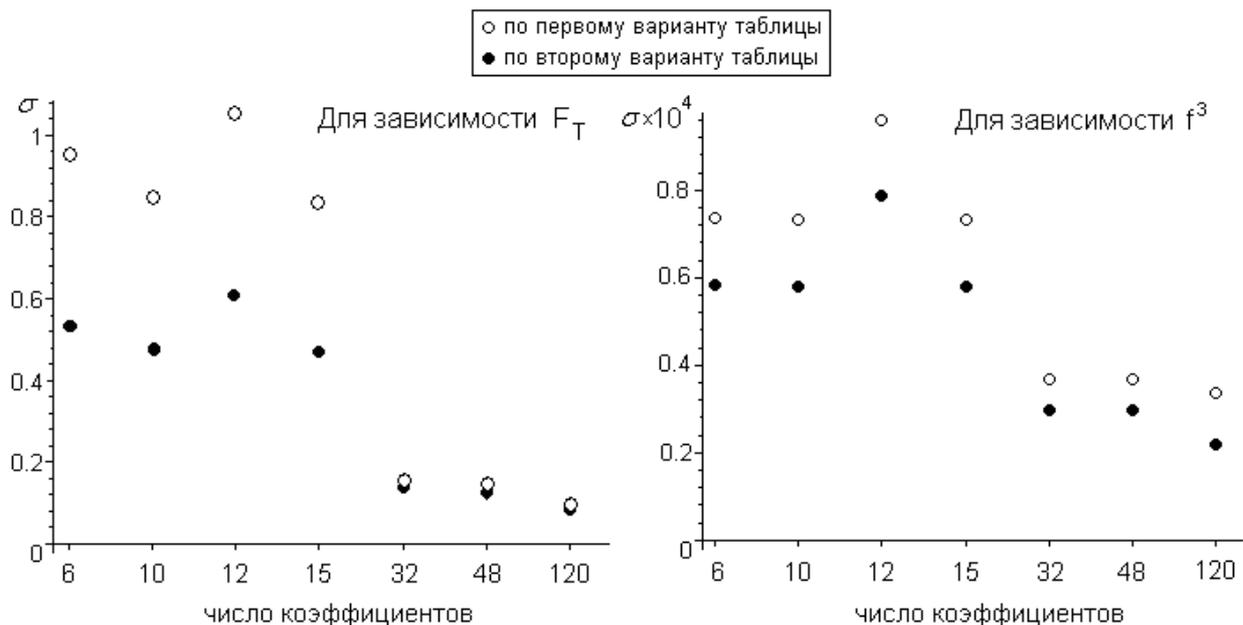
$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{\beta} ([g_{\alpha}(y_{\beta})][\psi_{\alpha}] - \phi(y_{\beta}))^2}{\beta},$$

где β – количество узлов аппроксимации.

Результаты этого анализа для зависимостей F_T и f^3 показаны на рис.1.

Таблица 2

Полином	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7
Число коэффициентов	6	10	12	15	32	48	108



С ростом числа коэффициентов полиномов рассматриваемого семейства (за исключением φ_3) аппроксимация улучшается.

При использовании полинома φ_3 происходит нарушение этой закономерности, поскольку он не содержит переменной u^1 (не все переменные участвуют в формировании аппроксимирующей конструкции). Аппроксимации, построенные по второму варианту таблицы (более густой), точнее. При этом, однако, расчёты занимают гораздо больше времени.

На рис. 2 представлена более детальная картина приближения F_T и f^3 , соответственно, на примере полинома средней сложности (φ_6) при использовании второго варианта таблицы. По горизонтальной оси отмечены номера узлов, по вертикальной – значения приближаемых величин. Крестиками показаны точные значения, кружочками – приближённые.

Такой несложный (при возможностях современных компьютеров) анализ позволяет выбрать оптимальную (с точки зрения объёмов вычислений и точности) аппроксимирующую конструкцию. Например, в дан-

ном случае наиболее выгодным для численных процедур улучшения управления представляется полином φ_5 .

Благодаря тому, что полученные приближения исходной модели имеют полное аналитическое описание, их можно использовать при исследовании и оптимизации взлетно-посадочных характеристик вертолёта с непосредственным применением различных теоретических методов и алгоритмов улучшения и оптимального синтеза и управления [11, 12]. В [9, 10] проведено исследование режимов безопасной посадки вертолёта в аварийных ситуациях, вызванных отказом одного из двигателей, которое сводится к решению следующей оптимизационной задачи. Требуется минимизировать конечную высоту $h(t_F) = x^4(t_F)$ при выполнении ограничений (3), отражающих требования безопасности. Это равносильно максимизации нижней границы опасной зоны. Приведём некоторые результаты, полученные с использованием построенных аналитических аппроксимаций.

Вначале была построена наиболее простая, линейная аппроксимация модели с использованием полинома φ_1 и первого варианта таблицы.

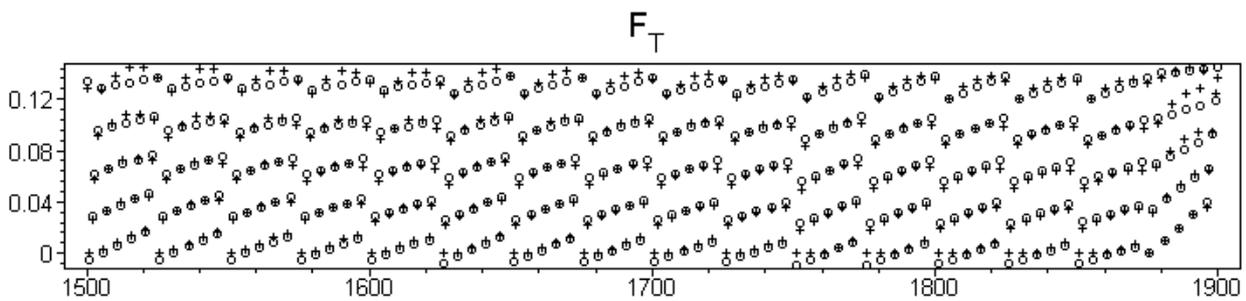


Рис. 2

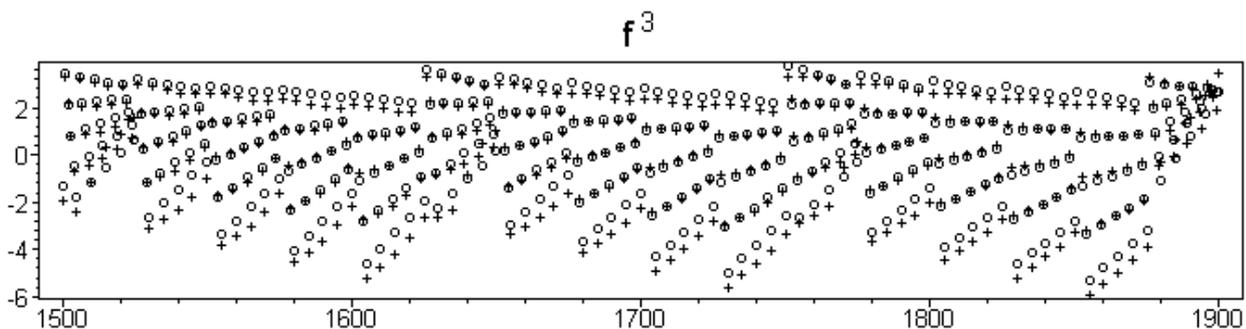


Рис. 3

С её помощью был проведен качественный анализ согласно процедуре, описанной в [9], и получено начальное приближение оптимального решения для последующего улучшения $(t_F, u^1(t), u^2(t))_0$. На следующем этапе – улучшения начального приближения – использовалась более точная модель, полученная аппроксимацией F_T и f^3 с использованием первого варианта таблицы узлов и аппроксимирующей конструкции φ_5 .

На рис. 4 представлены режимы посадки, соответствующие начальному приближению (белые квадратики) и улучшенному варианту (чёрные квадратики). Видно, что они сравнительно мало различаются, что говорит о хорошем начальном приближении, полученном в результате качественного анализа.

После трёх итераций значение конечной высоты уменьшилось на 1 м, что соответствует повышению границы опасной зоны на 15 % по сравнению с начальным приближением при сохранении качественного характера динамики управлений и состояния. Это свидетельствует о весьма высокой точности начального приближения, полученного в результате качественного анализа. На основании проведённых расчётов были предложены сравнительно простые варианты за-

конов управления для реального вертолета К-226, апробированные на имеющейся исходной фортран-программе.

Программный комплекс

В настоящий момент реализуется программный комплекс улучшения и оптимизации законов управления ISCON (Improvement and Synthesis of Control), существенную часть которого составляют описанный выше алгоритм аппроксимации. Он используется не только для аналитического представления модели объекта, но и в промежуточных конструкциях методов улучшения и синтеза управления, а также может быть применён и к «элементарным» конечномерным задачам оптимизации в составе этих методов [14].

Комплекс состоит из четырёх крупных блоков: МОДЕЛЬ, СИНТЕЗ, АППРОКСИМАЦИЯ, ИНТЕРФЕЙС (рис. 5) и предназначен для решения следующих трёх типов задач: (I) глобальный приближённо-оптимальный синтез управления, улучшение и локально-оптимальный синтез управления; (II) аппроксимация исходной модели объекта и (III) взаимосвязь алгоритмов и программ, осуществляемая через интерфейс. В блоке МОДЕЛЬ находится программная реализация исходной модели объекта.

С помощью ИНТЕРФЕЙСА задаются верхние и нижние границы рабочего диапа-

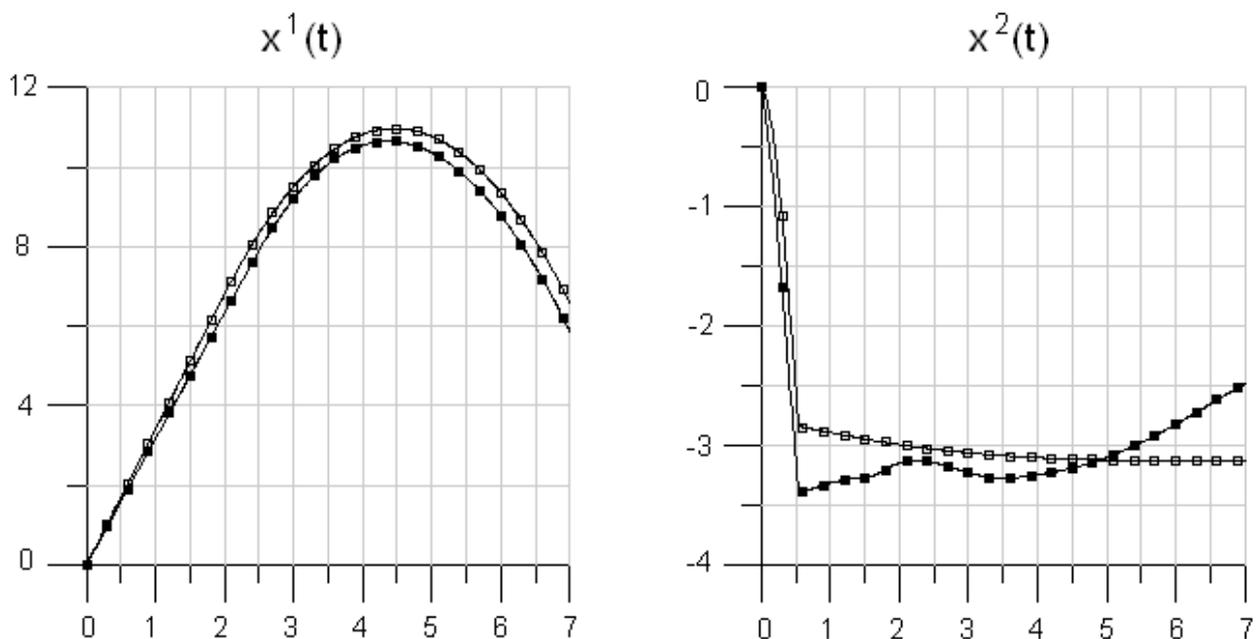


Рис. 4

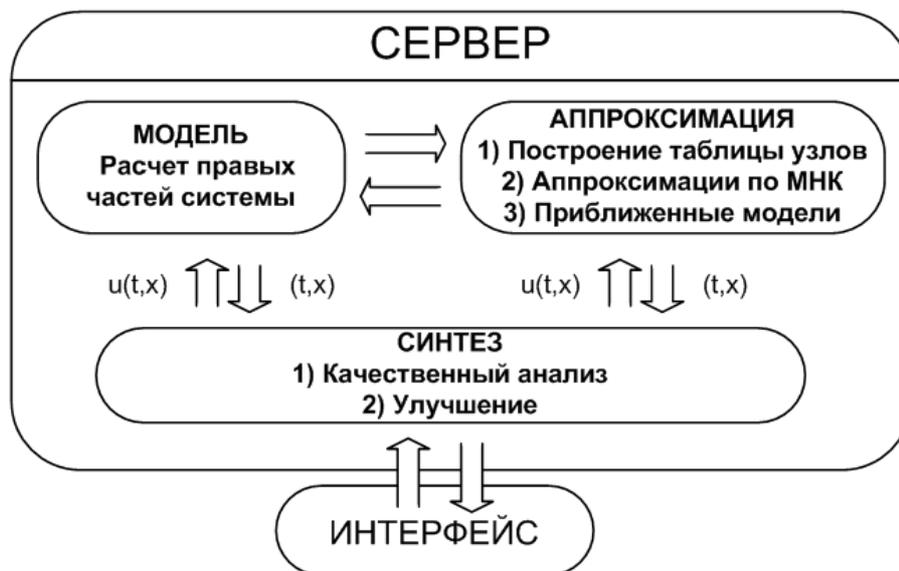


Рис. 5

зона и строится равномерная сетка узлов. Далее в блоке АППРОКСИМАЦИЯ работает программа вычисления правых частей динамической системы в заданных узловых точках и строится серия аппроксимаций. Качественный анализ и последующее улучшение управления выполняются в блоке СИНТЕЗ, включающем алгоритмы, описанные в [9], [10].

Алгоритмы разрабатываемого программного комплекса реализованы в среде С++ и в операционной среде высокопроизводительных параллельных вычислений (Т++) и апробированы в вычислительных экспериментах с параллельными версиями программ. Предусмотрена возможность об-

ращения сервера ПК ISCON к одному из кластеров семейства «Скиф» в ИПС РАН.

Описанный алгоритм аппроксимации отвечает требованиям реализации в параллельном исполнении. Для оценки эффективности распараллеливания программы проведены вычислительные эксперименты для различного количества вычислительных узлов. Полученные данные, представленные на рис. 6, позволяют сделать вывод об эффективности распараллеливания указанного алгоритма при числе узлов кластера 2-8, которое определяется соотношением между сложностью алгоритма и «накладными расходами» на пересылку данных между узлами.

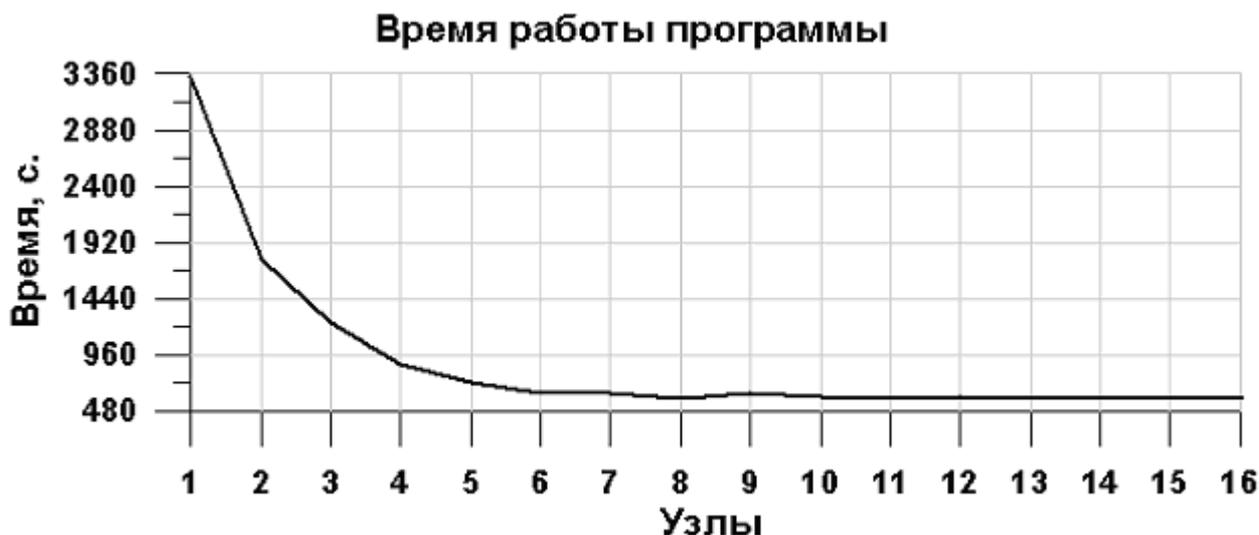


Рис. 6

Заключение

Композиционные полиномы были использованы для приближённого синтеза оптимального управления ещё в [1В данной работе предложено применять для аналитического описания моделей объектов управления. Главное их преимущество заключается в возможности сведения задачи многомерной аппроксимации к семейству задач одномерной аппроксимации, хорошо изученных в различных приложениях. В частности, для степенных полиномов гарантируется совместность системы линейных уравнений МНК в случаях, когда число узлов равно или близко к числу коэффициентов. Кроме того, они допускают комбинации различных аппроксимирующих конструкций (например, степенных, тригонометрических, сплайновых и т. п.) для различных переменных, что существенно расширяет возможности их использования.

Предложенный подход может быть использован для аппроксимации сложных моделей, представленных аналитически, в классах, допускающих эффективное решение задачи известными методами. Такие классы характеризуются определёнными условиями (например, линейность относительно управлений, условия инволютивности коэффициентов при этих управлениях для преобразования к производным системам меньшего порядка [5]). При этом естественным образом приходим к условному МНК.

Разработанный алгоритм аппроксимации может быть применен к любым динамическим системам.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 08-01-00274-а.

Библиографический список

1. Кротов, В. Ф. Новые методы вариационного исчисления в динамике полета [Текст]/В.Ф. Кротов, В. З. Букреев, В. И. Гурман. – М.: Машиностроение, 1969. - 288 с.
2. Салмин, В. В. Оптимизация космических перелетов с малой тягой. Проблемы совместного управления траекторией и угловым движением [Текст]/В. В. Салмин. – М.: Машиностроение, 1987. - 208 с.
3. Кротов, В. Ф. Методы и задачи оптимального управления [Текст]/ В. Ф. Кротов, В. И. Гурман. – М.: Наука, 1973. - 448 с.
4. Гурман, В. И. Вырожденные задачи оптимального управления [Текст]/В. И. Гурман. – М.: Наука, 1977. - 304 с.
5. Гурман, В. И. Принцип расширения в задачах управления [Текст]/В. И. Гурман. – М.: Наука. Физматлит, 1997. - 288 с.
6. Гурман, В. И. Магистральные решения в процедурах поиска оптимальных управлений [Текст]/В. И. Гурман//Автоматика и телемеханика. - 2003. – №3. - С. 61-71.
7. Никифорова, Л. Н. Синтез оптимального управления вертолетом на маневре в вертикальной плоскости [Текст]/Л. Н. Никифорова, М.Ю. Ухин//Научное обозрение. - 2006. – №2. - С. 63-72.
8. Никифорова, Л. Н. Синтез оптимального управления вертолетом на посадке с режима авторотации [Текст]/Л. Н. Никифорова, М. Ю. Ухин//Научное обозрение. - 2005. – №6. - С. 65-72.
9. Гурман, В. И. Приближенные методы оптимизации управления летательным аппаратом [Текст]/В. И. Гурман, В. Н. Квоков, М. Ю. Ухин//Автоматика и телемеханика. - 2008. – №4. - С. 191-201.
10. Трушкова, Е. А. Улучшение и оптимизация управления летательным аппаратом с использованием аналитических аппроксимаций модели объекта [Текст]/Е. А. Трушкова, В. Н. Квоков, М. Ю. Ухин// Вестник СГАУ. - 2008. (в печати).
11. Суриков, Н. Ф. «Вертолет Ка-26» [Текст]/ Н.Ф.Суриков, Г.И.Иоффе, Ф.Ф.Дмитриев, Е.Г.Пак. – М.: Транспорт, 1982. - 224с.
12. Ухин, М. Ю. Приближенный синтез оптимального управления [Текст]/М.Ю.Ухин. – М.: Физматлит, 2006. - 128 с.
13. Гурман, В. И. Улучшение управления, реализующего скользящий режим [Текст]/В. И. Гурман, Е. А. Трушкова, М. Ю. Ухин//Автоматика и телемеханика. - 2008. – №3. - С. 161-171.
14. Зоркальцев В. И. Метод наименьших квадратов: геометрические свойства, альтернативные подходы, приложения [Текст]/В. И. Зоркальцев. – Новосибирск: Наука, 1995. - 216 с.

References

1. Krotov, V.F. New methods of calculus of variations in flying dynamic [Text]/V.F. Krotov, V.Z. Bukreev, V.I. Gurman. – M.: Mashinostroenie, 1969. - 288 p.
2. Salmin, V.V. Optimization of space flying with small traction. Problems of joint control of trajectory and angular motion [Text]/V.V. Salmin. – M.: Mashinostroenie, 1987. - 208 p.
3. Krotov, V.F. Methods and problems of optimal control [Text]/V.F. Krotov, V.I. Gurman. – M.: Nauka, 1973. - 448 p.
4. Gurman, V.I. The degenerate problems of optimal control [Text]/V.I. Gurman. – M.: Nauka, 1977. - 304 p.
5. Gurman, V.I. The extension principle in control problems [Text]/V.I. Gurman. – M.: Nauka. Fizmatlit, 1997. - 288 p.
6. Gurman, V.I. The main solution in procedures of optimal control searching [Text]/V.I. Gurman//Avtomatika i Telemekhanika. -2003. –№3.- P. 61-71.
7. Nikiforova, L.N. The optimal control synthesis of helicopter on maneuver in vertical plane [Text]/L.N. Nikiforova, M.Yu. Ukhin// Nauchnoe obozrenie. -2006. –№2.- P. 63-72.
8. Nikiforova, L.N. The optimal control synthesis of helicopter on conditions of auto rotary press landing [Text]/L.N. Nikiforova, M.Yu. Ukhin//Nauchnoe obozrenie. -2005. – №6.- P. 65-72.
9. Gurman, V.I. The approximate methods of control optimization of aircraft [Text]/V.I. Gurman, V.N. Kvokov, M.Yu. Ukhin// Avtomatika i Telemekhanika. -2008. –№4.- P. 191-201.
10. Trushkova, E.A. Improvement and optimization of aircraft control with using analytical approximation of object model [Text]/ E.A. Trushkova, V.N. Kvokov, M.Yu. Ukhin// Vestnik SGAU. -2008. (in print).
11. Surikov N.F. “Helicopter Ka-26” [Text]/N.F. Surikov, G.I. Ioffe, F.F. Dmitriev, E.G. Pak. – M.: Transport, 1982. - 224 p.
12. Ukhin, M.Yu. The approximate synthesis of optimal control [Text]/M.Yu. Ukhin. – M.: Fizmatlit, 2006. - 128 p.
13. Gurman, V.I. Improvement of control realizing sliding conditions [Text]/ V.I. Gurman, E.A. Trushkova, M.Yu. Ukhin//Avtomatika i Telemekhanika. -2008. –№3.- P. 161-171.
14. Zorkaltsev, V.I. The least-squares method: geometric properties, alternative approaches, applications [Text]/V.I. Zorkaltsev. – Novosibirsk: Nauka, 1995. - 216 p.

ANALYTICAL APPROXIMATION OF AIRCRAFT DYNAMICS MODEL IN PROBLEMS OF APPROXIMATE OPTIMAL CONTROL SYNTHESIS

© 2009 A. O. Blinov, V. I. Gurman, V. P. Fralenko

Institute of Software Systems, Russian Academy of Sciences

An approximate approach to investigating optimal control of an aircraft as a complex object having no complete analytical description is developed. Approximation of practical models (including simulation ones) of the object by analytical designs of various complexity and accuracy for the search of an approximate global solution with consequent iterative refinement on their basis is proposed. The study of helicopter emergency landing manoeuvre is considered as an example. Description of a software complex of refinement and optimization of control laws including the approximation algorithms is given.

Optimal control, analytical approximation, method of least squares, aircraft.

Информация об авторах

Блинов Александр Олегович, инженер-программист, исследовательский центр процессов управления института программных систем РАН. Область научных интересов: теория управления, методы оптимизации, многомерная аппроксимация, моделирование динамических систем. E-mail: sarmat@pereslavl.ru.

Гурман Владимир Иосифович, доктор технических наук, профессор, директор исследовательского центра процессов управления института программных систем РАН. Область научных интересов: теория управления, оптимизация, системный анализ. E-mail: vlad@gurman.ru.

Фраленко Виталий Петрович, инженер-программист, исследовательский центр процессов управления института программных систем РАН. Область научных интересов: методы оптимизации, распознавание образов, нейронные сети, программное обеспечение высокопроизводительных систем. E-mail: alarmod@pereslavl.ru.

Blinov, Alexander Olegovitch, programming engineer, research centre of control processes, Institute of Software Systems, Russian Academy of Sciences. Area of research: control theory, optimization methods, multidimensional approximation, simulation of dynamic systems. E-mail: sarmat@pereslavl.ru.

Gurman, Vladimir Iosifovitch, director of research centre of control processes, Institute of Software Systems, Russian Academy of Sciences, doctor of technical science, professor. Area of research: control theory, optimization, system analysis. E-mail: vlad@gurman.ru.

Fralenko, Vitaly Petrovitch, programming engineer, research centre of control processes, Institute of Software Systems, Russian Academy of Sciences. Area of research: optimization methods, image recognition, neuron networks, software for high-efficiency systems. E-mail: alarmod@pereslavl.ru.