

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИНТЕЗА РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ ГАММА-3 ¹

Л.С. Михайлова,

(Электростальский политехнический институт, г. Электросталь)

ismixx@rambler.ru

А.Г. Александров

(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва)

alex7@ipu.ru

М.Ф. Степанов

(Саратовский технический университет, г. Саратов)

mfs@sstu.ru

Ключевые слова: синтез регуляторов, автоматизированное проектирование

Введение

Одним из важных этапов проектирования любой системы автоматического управления (САУ) является разработка алгоритма управления. В настоящее время система MATLAB занимает доминирующее положение среди средств автоматизации разработки закона управления. Среди отечественных систем для автоматизации деятельности инженера наиболее разработаны системы МВТУ [1], ГАММА, "ИНСТРУМЕНТ-3м-И". Семейство систем ГАММА развивается более четырех десятков лет. Предыдущие версии системы ГАММА-1, ГАММА-1М, ГАММА-1РС [2] содержали программное обеспечение синтеза регуляторов многомерных линейных систем и использовались для разработки алгоритмов автоматического управления гироскопическими платформами, полетом вертолетов в строю, газораспределительными предприятиями, теплоэнергетическими установками и т.д. В следующей версии системы ГАММА-2РС [3] класс решаемых задач был расширен. Система содержала директивы конечно-частотной идентификации и адаптивного управления. В свете разработанной в [4] концепции решателей задач ТАУ системы МВТУ, ГАММА, MATLAB и др. построены на основе детерминированных решателей (Д-решателей), способных решать лишь известные им задачи, для которых в системе имеются планы их решения.

Параллельно разрабатывались системы с интеллектуальным решателем, обеспечивающие решение задач проектирования САУ в непроцедурной постановке. Это системы "ЕИ-решатель на базе ПИНС", "ИНСТРУМЕНТ-3м-И" [5], "МИССАУ" [6]. Дело в том, что в ходе функционирования САУ изменяется не только объект управления, точная модель которого чаще всего неизвестна, но и среда функционирования, а также и требования цели управления. Поэтому динамически изменяется и постановка задачи синтеза закона управления. Только интеллектуальные решатели (И-решатели) способны построить адекватный закон управления в изменяющихся условиях. Интегрированная система ГАММА-3 строится как развитие принципов, реализованных в системах ГАММА-2РС и ИНСТРУМЕНТ-3м-И.

В данной работе рассматриваются средства синтеза регуляторов линейных многомерных систем, реализованные в среде ГАММА-3.

2. Система ГАММА-3

1.1 Структура системы

Основу системы составляют:

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 09-07-00200-а

- Библиотека математических функций, реализующих базовые функции для работы с матрицам
- Алгоритмический MATLAB - подобный язык программирования ГАММА, предназначенный для разработки процедур системы и пакетов расширения;
- Пакеты расширения, предназначенные для решения задач автоматизации разработки САУ

1.2 Классы решаемых задач

Проблемная ориентация системы ГАММА-3 достигается за счет наличия пакетов расширения. В настоящее время разрабатываются пакеты расширения для решения задач синтеза регуляторов многомерных линейных систем, конечно-частотной идентификации и адаптивного управления.

2. Директивы синтеза регуляторов

В предыдущей версии системы были реализованы следующие директивы синтеза регуляторов линейных многомерных объектов

- Аналитическое конструирование регуляторов (АКоР)
- Синтез оптимальной системы с наблюдателем (минимально-фазовый объект)
- Синтез H_∞ -субоптимального управления
- Точное управление

В настоящее время в системе ГАММА-3 разрабатываются директивы точного управления.

2.1 Постановка задачи точного управления

Рассмотрим систему, описываемую уравнениями

$$\dot{x} = Ax + \tilde{B}_1 \tilde{w} + B_2 u, y = C_2 x, \tilde{z} = C_1 x \quad (1)$$

$$\dot{x}_c = A_c x_c + B_c y, u = D_c x_c + C_c y \quad (2)$$

где $x(t) \in R^n$ --- вектор состояний объекта; $u(t) \in R^m$ --- вектор управлений; $y(t) \in R^r$ --- вектор измеряемых переменных; $\tilde{w}(t) \in R^\mu$ --- вектор внешних возмущений; A, B_1, B_2, C_2 --- известные матрицы чисел соответствующих размеров, $z(t) \in R^{m_1}$ --- вектор регулируемых переменных, $x_c(t) \in R^{n_c}$ --- вектор состояний регулятора, $A_c, B_c, C_c, D_c, \tilde{C}_1$ --- матрицы чисел соответствующих размеров.

Пусть компоненты вектора возмущений, представлены в виде

$$\tilde{w}_i(t) = \sum_{k=0}^{\rho} (\delta_{ki}^s \sin \omega_{ki} t + \delta_{ki}^c \cos \omega_{ki} t) (i = \overline{1, \mu}) \quad (3)$$

где амплитуды и частоты произвольные числа такие, что

$$|\tilde{w}_i(t)| \leq \tilde{w}_i^* (i = \overline{1, \mu}) \quad (4)$$

где \tilde{w}_i^* --- заданные числа (границы внешних возмущений).

Установившиеся значения регулируемых переменных

$$\tilde{z}_{i, st} = \limsup |\tilde{z}_i(t)| (i = \overline{1, m_1}) \quad (5)$$

Будем говорить, что регулятор (2) обеспечивает точное управление в установившемся режиме (или, для сокращения, точное управление), если

$$\tilde{z}_{i, st} \leq \tilde{z}_i^* (i = \overline{1, m_1})$$

где \tilde{z}_i^* --- заданные числа (границы внешних возмущений).

2.2 Этапы директивы синтеза точного управления

- 1) Приведение моделей объекта управления и измерительного устройства к форме Коши.

- 2) Анализ наблюдаемости модели объекта управления. (Если объект не полностью наблюдаем, то вычисления останавливаются).
- 3) Анализ управляемости модели объекта управления. (Если объект не полностью управляем, то вычисления останавливаются).
- 4) Приведение модели объекта управления к форме "вход-выход"

$$T_1(s)y = T_2(s)u + T_3(s)\tilde{w}$$

где полиномиальные матрицы

$$T_1(s) = \sum_{k=0}^r T_k^{(1)} s^k, T_2(s) = \sum_{k=0}^m T_k^{(2)} s^k, T_3(s) = \sum_{k=0}^{\mu} T_k^{(3)} s^k$$

- 5) Анализ корней λ_i полинома $\det T_2(s)$.
- 6) Формирование модели объекта управления с "условными" управляющими и возмущающими воздействиями.
- 7) Формирование коэффициентов функционала оптимизации на основе "условных" возмущающих воздействий.

$$J_1 = \int_0^{\infty} (y^T Q_0 y + u^{*T} M_0^T M_0 u^*) dt, Q_0 = \text{diag}[q_{ii}], q_{ii} \leq \sum_{k=1}^{\mu} \frac{w_k^{*2}}{z^{*2}}$$

$$M_0 = I_m, (i = 1, \dots, m)$$

- 8) Приведение модели объекта управления в форме "вход-выход" с "условными" управляющими и возмущающими воздействиями к канонической форме Коши.
- 9) Определение прогнозируемой обобщенной частоты среза из неравенства

$$\det[I_m + T_{20}^T(-j\omega)T_1^T(-j\omega)Q_0T_1^T(-j\omega)T_{20}^T(-j\omega)] \leq 2$$

- 10) Анализ выполнения условий структурной грубости.
- 11) Преобразование функционала оптимизации из формы по регулируемым переменным в форму по переменным состояния объекта управления.

$$J_2 = \int_0^{\infty} (\bar{x}^T \bar{Q} \bar{x} + \sum_{i=1}^{\psi} u^{*T} M_0^T M_0 u^*) dt, Q = C_1^T Q_0$$

- 12) Формирование функционала оптимизации из условия реализуемости регулятора:

$$J_3 = \int_0^{\infty} (\bar{x}^T \bar{Q} \bar{x} + \sum_{i=1}^{\psi} u^{*(i)T} M_{(i)}^T M_{(i)} u^{*(i)}) dt, \psi = [T_1(s)] - [T_2(s)]$$

- 13) Формирование модели объекта управления в расширенной форме Коши и преобразование функционала оптимизации

$$\dot{\tilde{x}} = \tilde{A}\tilde{x} + \tilde{B}\tilde{u}, J_1 = \int_0^{\infty} (\tilde{x}^T \tilde{Q} \tilde{x} + \tilde{u}^{*T} \tilde{u}^*) dt$$

Алгоритм вычисления матриц расширенной формы Коши приведен в [8]

- 14) Решение уравнения Риккати

$$\tilde{P}\tilde{A} + \tilde{A}^T \tilde{P} - \tilde{P}\tilde{B}\tilde{B}^T \tilde{P} + \tilde{Q} = 0$$

и формирование

$$\tilde{C}^T = -\tilde{B}^T \tilde{P}$$

- 15) Формирование модели управляющего устройства в форме "вход-выход" с учетом "условных" управляющих воздействий и канонических переменных объекта управления:

$$T_u(s)u = T_y(s)y$$

$$T_u(s) = G(s)T_{20}^{-1}T_2(s), T_y(s) = C^T(s)$$

$$G(s) = \sum_{i=0}^{\psi-1} C_i^T + M_\psi s^\psi, \tilde{C}^T = [C^T, -C^T_0, -C^T_1, \dots, C^T_{\psi-1}]$$

16) Анализ динамики САУ

2.3 Модули директивы

Для разработки директив в системе ГАММА-3 используется собственный МАТЛАБ-подобный язык программирования. Перечислим некоторые модули, входящие в разрабатываемые директивы

- Приведение модели объекта к форме «вход-выход».
Синтаксис: function [T1,T2]=M028(A,B2,C2,m).
Входные данные: A, B₂, C₂ - матрицы модели в форме Коши, m – вектор чисел, выбираемых по соображениям уровня помех.
Выходные данные: T₁, T₂ - матрицы объекта в форме "вход-выход"
- Анализ динамики САУ.
Синтаксис: function [y,x] = analys_g(A,B1,B2,C,Ar,Br,Cr,Dr,t,w)
Входные данные: A, B₂, B₁, C - матрицы модели объекта в форме Коши, A_r, B_r, C_r, D_r - матрицы регулятора в форме Коши, t – вектор времени моделирования, w- вектор внешних возмущений.
Выходные данные: y – матрица значений регулируемых переменных, x – конечный вектор состояния.
- Вычисление постоянной времени дополнительных инерционных звеньев.
Синтаксис: function t=M022(T1,T20,Q0,w)
Входные данные: T₁, T₂₀ - матрицы системы в форме "вход-выход", Q₀ - матрица расширенной модели объекта, w - прогнозируемая обобщенная частота среза.
Выходные данные: t - постоянная времени дополнительных инерционных звеньев.
- Формирование модели объекта с учетом дополнительных инерционных звеньев.
Синтаксис: function [A_,B_,Q_]=M023(A,B,C,Q0,t1)
Входные данные: A, B, C - матрицы модели объекта в форме Коши, Q₀- матрица коэффициентов функционала, t₁ - постоянная времени дополнительных инерционных звеньев.
Выходные данные: A_, B_, Q_ - матрицы модели объекта с учетом дополнительных инерционных звеньев
- Разработка программы формирования уравнений регулятора в форме «вход-выход».
Синтаксис: function [Ty, Tu]=m058tu(C,M,T2,T20,t).
Входные данные: T₂, T₂₀ - матрицы системы в форме "вход-выход", C – матрица, построенная на основе решения уравнения Риккати, M-матрица коэффициентов функционала оптимизации, t₁ - постоянная времени дополнительных инерционных звеньев.
Выходные данные: T_y, T_u - матрицы регулятора в форме "вход-выход"
- Формирование матриц расширенной формы Коши и преобразование функционала LQ-оптимизации.
Синтаксис: function [A_,B_,Q_,Mf]=M025(A,B,Q,w,psi)
Входные данные: A, B – матрицы объекта в форме Коши, Q – матрица функционала оптимизации, w – обобщенная частота среза, psi – заданная величина
Выходные данные: A_, B_, Q_ - преобразованные матрицы

- Вычисление прогнозируемой обобщенной частоты среза.
Синтаксис: function w=M020(T1,T20,Q0,k).
Входные данные: T_1 , T_{20} - матрицы системы в форме "вход-выход", Q_0 - матрица расширенной модели объекта.
Выходные данные: w - прогнозируемая обобщенная частота среза.

3. Заключение

Рассмотрена система автоматизации проектирования САУ ГАММА-3. Основным отличием данной версии системы от предыдущих версий является наличие MATLAB-подобного языка программирования. Проблемная ориентация системы достигается за счет разработки пакетов расширения: синтеза, идентификации, адаптивного управления. В настоящей работе описаны фрагменты пакета расширения для синтеза регуляторов многомерных систем.

Литература

1. Козлов О.С., Кондаков Д.Е., Скворцов Л.М. и др. Программный комплекс для исследования динамики и проектирования технических систем // Информационные технологии. 2005. № 9.
2. Александров А.Г., Панин С.Ю. Система ГАММА-1РС для синтеза регуляторов многомерных систем // Автоматизация в промышленности, 2003, №3
3. Александров А.Г., Михайлова Л.С., Исаков Р.В. Структура программного обеспечения для автоматизации разработки алгоритмов автоматического управления // А и Т, №4, 2005, стр. 176-184.
4. Степанов М.Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. – 376 с.
5. Степанов М.Ф. Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-3м-И (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-3м-И). Свидетельство Роспатента об офиц. регистр. программы для ЭВМ. - № 2003612369. – 2003.
6. Степанов М.Ф. Система моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления (МИССАУ-2002). Свидетельство Роспатента об офиц. регистр. программы для ЭВМ. - № 2003612370. – 2003.
7. Александров А.Г. Методы построения систем автоматического управления. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008г., 232 с.
8. Александров А.Г. Синтез регуляторов многомерных систем. М.: Машиностроение, 1986, 272с.