

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Пашенко Ф.Ф., Дургарян И.С.

Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН

Россия, г.Москва, ул. Профсоюзная, 65

Email: feodor@ipu.rssi.ru

Аннотация: Рассматриваются вопросы построения систем автоматизированного проектирования как систем принятия решений. Описана функциональная схема системы проектирования. Исследованы вопросы устойчивости системы автоматизированного проектирования и сходимости проектных решений к цели проектирования.

Введение

Реальная САПР АСУ – это человеко-машинная система для решения многокритериальной задачи проектирования в условиях неопределённости. Одной из основных подсистем такой системы является система поддержки принятия решений.

Системы поддержки принятия решения (СППР) можно определить как интерактивные компьютерные системы, оказывающие помощь лицам, принимающим решения (ЛПР), используя развитые базы данных и мощные базы математических моделей при решении сложных, слабоструктурированных и слабоформализованных управленческих проблем [1,2]. СППР расширяют интеллектуальные возможности систем автоматизированного проектирования.

1. Система проектирования как система принятия решений

Качественное и своевременное проектирование систем управления сложными производственными объектами возможно только на основе моделирования, осуществляемого в автоматическом режиме. Поэтому одним из основных элементов САПР является система автоматизированной идентификации, т.е. построения математической модели проектируемого объекта.

В работах [3,4] рассмотрены системы автоматизированной идентификации. В основу их построения

заложен подход к идентификации технологических объектов как к интерактивному процессу, требующему решения множества вычислительных задач, осмысления полученных промежуточных результатов, выбора на основе их анализа наилучшего варианта дальнейшего поиска, корректировки первоначальной стратегии решения задачи с возможным возвращением к более ранним этапам поиска.

При построении систем автоматизированной идентификации, используются следующие принципы:

- универсальность применения;
- функциональная полнота;
- ориентация на пользователей с различными интересами и уровнем подготовки;
- удобство перестройки структуры.

Система автоматизированной идентификации состоит из следующих основных частей:

- экспертная система для анализа и классификации статистической информации об объекте;
- библиотека программ идентификации;
- система управления базой данных;
- блок моделирования.

Все это создает возможность плодотворно сочетать возможности автоматического машинного решения задач и функции принятия решения человеком.

2. Сходимость итерационного процесса проектирования

Процесс проектирования систем автоматического управления (САУ), реализуемый при помощи предложенной САПР, представляет собой многошаговый итерационный процесс принятия решений с расширением круга критериев и задач, в ходе которого на последующих шагах уточняются и корректируются результаты, полученные на предыдущих стадиях. По мере развертывания процесса исследуются

варианты структуры САУ в целом и её подсистем, применяются различные методы и алгоритмы оптимизации в зависимости от целей управления и требований технического задания, осуществляется моделирование и испытание САУ. При этом большая нагрузка падает на подсистемы, функционирующие по замкнутому контуру.

В предлагаемой САПР можно выделить отдельные подсистемы и объединения подсистем, функционирующие по замкнутому циклу. Эффективность работы САПР, особенно в автоматическом режиме, во многом определяется функционированием контура: имитационная модель - аналитическая модель - оптимизация параметров. Это объясняется тем, что данный контур позволяет осуществить системный подход к процессу проектирования САУ, заключающийся в одновременном проектировании объекта, информационной и управляющей систем.

Однако, несмотря на столь заманчивые перспективы использования такого типа систем в САПР, в литературе почти не имеется результатов их положительного применения. Одной из основных причин является неустойчивость процесса проектирования, осуществляемого в замкнутых контурах АСП. Уравнения, описывающие отдельные подсистемы САУ, имеют вид:

$$y_t = \mathbf{c}^T \mathbf{x}_t \quad - \text{уравнение объекта;} \quad (1)$$

$$v_t = y_t + \varepsilon_t \quad - \text{уравнение наблюдателя;} \quad (2)$$

$$\mathbf{c}_t^T \mathbf{x}_t = \hat{y}_t = y_{зад} \quad - \text{уравнение регулятора,} \quad (3)$$

где y_t - значение показателя качества функционирования САУ (выходной сигнал системы); ε_t - случайный шум, характеризующий неточность измерительных приборов; $y_{зад}$ - значение показателя качества, которое должна обеспечить проектируемая САУ; \mathbf{c} - вектор параметров САУ, значения которых выбираются в процессе проектирования; \mathbf{x}_t - вектор входных сигналов объекта, в

состав \mathbf{x}_t входит и управление; t - дискретное время. Предполагается, что вектор входных сигналов принимает значения из некоторого ограниченного множества X , а помеха представляет собой стационарный белый шум с $M \varepsilon_t = 0, D \varepsilon_t = \sigma^2 \neq 0$.

Рассмотрим подсистему моделирования САПР. На входе проектируемого объекта управления действует составной вектор $\mathbf{x}_t = (\mathbf{z}_t, u_t)$, $n-1$ компоненты которого — возмущения, последняя n -я компонента — управляющее воздействие. Выход y_t — скалярная величина, линейно связанная с входом.

Наблюдаемый процесс для проектировщика (наблюдателя) (2) искажен приведенной помехой ε_t и может быть представлен в виде

$$v_t = y_t + \varepsilon_t = \mathbf{c}^T \mathbf{x}_t + \varepsilon_t = \mathbf{a}^T \mathbf{z}_t + b u_t + \varepsilon_t.$$

Параметры \mathbf{c} проектируемой системы неизвестны и аппроксимируются оценками \mathbf{c}_t , получаемыми с помощью алгоритмов стохастической аппроксимации или алгоритма Качмажа [4]. Функционирование системы организовано следующим образом. В момент времени t в систему поступает возмущение \mathbf{z}_t . Проектировщик, используя имеющуюся в базе моделей оценку \mathbf{c}_{t-1} , с учетом требований к системе, задает управляющее воздействие u_t . Подача этой информации в систему и одновременно в модель системы позволяет получить выходной сигнал системы $v_t = \mathbf{c}_t^T \mathbf{x}_t + \varepsilon_t$ и его прогноз $\hat{y}_t = \mathbf{c}_{t-1}^T \mathbf{x}_t$. Ошибка прогноза $l_t = v_t - \hat{y}_t$ характеризует качество работы БМ. Здесь $\mathbf{x}_t = (\mathbf{z}_t, u_t)$.

На основании имеющейся информации нужно синтезировать наилучшее управляющее воздействие (регулятор). В данном случае вся информация о связи предыдущих входов с выходами содержится в текущей модели объекта. Близость модели к объекту характеризуется как показателем $\theta_{t-1} = \mathbf{c} - \mathbf{c}_{t-1}$, так и $l_t = v_t - \hat{y}_t$. Если g_t — задание системы стабилизации, то качество регулирования определяется величиной $v_t - g_t = l_t + (\hat{y}_t - g_t)$. Отсюда видно, что если модель достаточно точна, то управление

может быть найдено из уравнения $\hat{y}_t(\mathbf{z}_t, u_t) - g_t = 0$.

С другой стороны, погрешность прогноза выражается через предыдущую погрешность определения параметров $l_t = v_t - \hat{y}_t = \boldsymbol{\theta}_{t-1}^T \mathbf{x}_t + \varepsilon_t$. Таким образом, имеют место три взаимосвязанные разности: $\boldsymbol{\theta}_{t-1} = \mathbf{c} - \mathbf{c}_{t-1}$, $l_t = v_t - \hat{y}_t$ и $\delta_t = y_t - g_t$. Воздействуя на δ посредством u_t , и используя неточность прогноза l_t , получаем уточнение оценок при уменьшении θ . В свою очередь это обеспечивает приближение к требуемой цели проектирования $l_t + \delta \approx 0$.

При попадании текущих оценок на оптимальное направление процесс моделирования останавливается. Действительно, в замкнутой системе (без помех) уравнение стабилизации (регулятор) имеет вид $\mathbf{c}_{t-1}^T \mathbf{x}_t = 0$. Если, кроме того, $\mathbf{c}_{t-1} = \omega \mathbf{c}$, где \mathbf{c} — вектор истинных параметров, а ω — скаляр, то $\boldsymbol{\theta}_{t-1} = (\omega^{-1} - 1) \mathbf{c}_{t-1}$ и, следовательно, поправочный член в алгоритме Качмажа обращается в нуль:

$$\frac{\mathbf{x}_t^T \boldsymbol{\theta}_{t-1}}{\|\mathbf{x}_t\|^2} \mathbf{x}_t = (\omega^{-1} - 1) \frac{(\mathbf{x}_t^T \mathbf{c}_{t-1})}{\|\mathbf{x}_t\|^2} \mathbf{x}_t = 0.$$

Далее оценки не меняются: $\mathbf{c}_t = \omega \mathbf{c} = \mathbf{c}_{t-1}$ при $s \geq t-1$. Что же происходит при этом на выходе? Для ответа на этот вопрос рассмотрим уравнения объекта $y_t = \mathbf{a}^T \mathbf{z}_t + b u_t$, прогноза $\hat{y}_t = \mathbf{a}_{t-1}^T \mathbf{z}_t + b_{t-1} u_t$ и управления $u_t = (g_t - \omega \mathbf{a}_{t-1}^T \mathbf{z}_t) / \omega b_{t-1}$. Поскольку $\mathbf{c}_{t-1} = \omega \mathbf{c}$, и $g_t = 0$, то $y_t = \mathbf{a}^T \mathbf{z}_t + b u_t = g_t / \omega = 0$. Таким образом, при отличном от нуля задании $g_t \neq 0$, необходимо изменение алгоритма моделирования, а, следовательно, и проектируемого регулятора, тогда как при $g_t = 0$, задача стабилизации решается успешно. Данное замечание справедливо и при применении других алгоритмов адаптивного моделирования.

Сформулируем следующие утверждения, которые гарантируют монотонное приближение к цели при многошаговом итерационном процессе проектирования.

Утверждение 1. Пусть проектируемая система с достаточной степенью адекватности аппроксимируется соотношением $y_t = \mathbf{c}^T \mathbf{x}_t$, где $\mathbf{c} \in R^n$ - вектор неизвестных параметров САУ, которые оцениваются рекуррентной процедурой

$$\mathbf{c}_t = \mathbf{c}_{t-1} + \alpha \cdot (y_t - \hat{y}_t) \cdot \mathbf{x}_t, \quad (4)$$

где $\alpha > 0$, \mathbf{c}_0 - заданное начальное значение, $\hat{y}_t = \mathbf{c}_{t-1}^T \mathbf{x}_t$, \mathbf{x}_t - последовательность случайных векторов с гауссовским распределением

$$\mathbf{x}_t \sim N \left\{ \mathbf{0}, \sigma^2 \cdot \left(\mathbf{I}_n - \frac{\mathbf{c}_{t-1} \cdot \mathbf{c}_{t-1}^T}{\|\mathbf{c}_{t-1}\|^2} \right) \right\} \quad (5)$$

Тогда для обеспечения монотонной сходимости оценок

$$M_{\mathbf{x}_t} \left\{ \|\mathbf{c}_t - \mathbf{c}\|^2 \right\} \leq \|\mathbf{c}_{t-1} - \mathbf{c}\|^2, \quad (6)$$

где $M_{\mathbf{x}_t} \{ \}$ - усреднение по \mathbf{x}_t при заданном значении выходного показателя проектируемой системы

$$\hat{y}_t = y_{зад} = 0 \quad (7)$$

достаточно выполнения условия

$$0 < \alpha < 2 / \sigma^2 (n-1). \quad (8)$$

Утверждение 2. Пусть проектируемая система допускает аппроксимацию вида $y_t = \mathbf{a}^T \mathbf{z}_t + b u_t$, где $\mathbf{a} \in R^{n-1}$ - евклидово пространство размерности $n-1$ $b \in R$ - неизвестные параметры; \mathbf{z}_t - последовательность случайных векторов, распределенных по закону $N \{ \mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_{n-1} \}$. Тогда для выполнения условий (6), (7) предыдущего утверждения условие (8) следует заменить неравенством

$$0 < \alpha < \frac{2}{\sigma^2 [n+1 + (1 + \cos^2 \theta_{t-1}) \cdot \|r_{t-1}\|^2]}$$

где

$$r_t = -\frac{a_t}{b_t},$$
$$\theta_t = (r_t, a_t + b_t \cdot r_t).$$

Доказательство утверждений следует из результатов работ [5,6].

Утверждения 1 и 2 сохраняют силу и при значении заданного параметра отличного от нуля.

Таким образом, показано, что использование адаптивных алгоритмов даёт возможность обеспечить сходимость процесса проектирования как по «тренду», так и монотонную сходимость по параметрам.

Литература

1. *Thierauf R.J.* Decision support Systems for effective planning and control, - N.J., - Hall Inc., Englewood – Cliffs, 1982
2. *Герасимов А.В., Дмитриенко Л.Г.* Поддержка принятия решения оператором АСУ с применением идеологии автоматического управления. Четвёртая международная конференция по проблемам управления (26 – 30 января 2009 года): Сборник трудов. –М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления имени В.А.Трапезникова РАН, 2009 г., сс. 1396 – 1398.
3. *Белкина М.В., Дургарян И.С., Кнеллер Д.Ю.* Пакет прикладных программ «АИДА» и его применение для анализа технологических объектов и решения задач моделирования. // Моделирование и управление производствами повышенного риска. М.: Институт проблем управления, 1997
4. *Пащенко Ф.Ф.* Введение в состоятельные методы моделирования систем, ч. 1. Математические основы моделирования систем. М.: Финансы и статистика. 2006, с. 328
5. *Аксенов В.М., Пащенко Ф.Ф.* Об адаптивной идентификации объектов в замкнутых системах // А и Т. 1980. № 10. С. 70-80
6. *Ротач В.Я.* Теория автоматического управления. Москва. Издательство МЭИ, 2004, с. 400