СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПО МОДЕЛИ-ЭТАЛОНУ

Иволгина Т.А.
Национальный авиационный университет, г. Киев,
кафедра информационных технологий
E-mail: iids@nau.edu.ua

Abstract
Ivolgina T.A. Synthesis of the automated control system of details by a sample. *The new approach to the decision of a problem of stability synthesis of the automated control system of details is offered, which differs by absence of identification necessity and parameters customization of object model. And also the block diagram of the automated control system of details with the standard model is showed.*

Общая постановка проблемы автоматизированного контроля деталей. Опыт, накопленный при создании автоматизированных и автоматических систем управления, показывает, что управление различными процессами основывается на ряде правил и законов, часть из которых оказывается общей для технических устройств, живых организмов и общественных явлений. Изучение процессов управления, получения, преобразования информации в технических, живых и общественных системах составляет предмет кибернетики, важным разделом который является техническая кибернетика, включая анализ информационных процессов управления техническими объектами, синтез алгоритмов управления и создание систем управления, реализующих эти алгоритмы [1,2].

Современный уровень развития науки и техники характеризуется повсеместным распространением сложных технических объектов. Для контроля и управления такими объектами широко применяются измерения деталей с помощью КИМ. Особенно это относится к измерению выходных показателей процессов, доступных для прямых измерений, но зависящих от большого числа факторов, что требует их учета в модели объекта измерения и ведет к значительной методической погрешности. Зачастую измерительные системы (ИС) имеют неприемлемо большую результирующую погрешность из-за низкочастотных составляющих.

Действенным средством исключения низкочастотных погрешностей остается периодическая параметрическая адаптация ИС за счет структурной избыточности путем комплексирования ИС В многочисленных работах, посвященных параметрической адаптации, главное внимание уделено алгоритмам адаптации (алгоритмам поиска значений адаптируемых параметров). Проблема выбора оптимального значения периода адаптации и других характеристик режима адаптации до последнего времени оставалась вне поля зрения.

Сущность работы автоматизированных систем управления и контроля деталей заключается в том, что наряду с системой регулирования имеется эталонная модель замкнутой системы, обладающая желаемыми динамическими характеристиками. Ошибка рассогласования между движением системы и эталонной модели служит основной информацией для перестройки коэффициентов регулятора с целью приближения динамических свойств системы к свойствам эталонной модели. Достоинством адаптивных систем с моделью-эталоном (АСМЭ) является простая реализуемость, высокую скорость адаптации к изменению внешних условий и чувствительность к измерительным шумам [3].

Существо всех ранее известных подходов к решению задачи стабилизации, сводилось к нахождению линейной части механизма адаптации. Наиболее эффективна, в этом смысле методика, основанная на лемме Якубовича-Калмана и решении уравнения Ляпунова.

Однако в практическом отношении в силу чисто математических сложностей решения известные результаты ограничены в основном системами, описываемыми дифференциальными уравнениями состояния относительно невысокой размерности.

Второе важное обстоятельство, ограничивающее практическое применение известных подходов к решению задач синтеза систем стабилизации — это необходимость использования при сопутствующей идентификации объекта желаемого (тестового) входного сигнала, формирование которого в пространстве не всегда возможно.

Данные обстоятельства существенно ограничивают практическую значимость известных результатов и не позволяют использовать их при решении задач синтеза систем автоматизированного контроля деталей.

Настоящая работа посвящена синтезу обобщенных алгоритмов адаптации, использующих ошибку рассогласования между выходными координатами системы и модели и их производными с целью доставить системе свойство устойчивости ее движения относительно движения модели и одновременно обеспечить устойчивость процессов изменения перестраиваемых коэффициентов замкнутой системы, рассматриваемых как вспомогательные координаты, относительно соответствующих коэффициентов модели.

Постановка задачи

Под технически оптимальной системой будем понимать достижение главной цели управления автоматизированными системами с максимально возможным качеством при заданном множестве технических условий и ограничений.

Цель работы — разработка прямого метода-синтеза (без решения задачи идентификации) адаптивных систем стабилизации автоматизированных систем контроля деталей с моделью-эталоном в контуре управления на основе сочетания достаточных условий устойчивости, и идей теории модального управления, а также разработка математической модели при контроле деталей с моделью эталоном.

Задача синтеза технически оптимальной системы автоматического управления (САУ) состоит в следующем. Заданное целевое пространство системы (ЦПС)

$$X = \{\{x\}, \{R\}, \{P\}\},$$

где $\{x\}$ — вектор синтезированных характеристик САУ; R — отношение эквивалентности по сложности системы, которая отвечает множеству требований к САУ; P — отношение преимуществ к сложности системы, которая отвечает множеству сравнений по выполнению указанных требований.

Характерными признаками ЦПС есть “максимальная” эквивалентность — общая для САУ данного класса цель управления (экстраполяция координат, навигация, геометрический обход объекта измерения) [4].

Решение

В общем виде геометрические объекты измерения (целевое множество) является гладким ν-мерным подмногообразием пространства состояния R^n;

$$S = \{x \in X : \varphi(x) = 0\} \tag{1}$$

с вектором локальных координат $s \in S^* \subset R^{\nu}$, что определяются уравнением

$$s = \Psi(x) \,, \tag{2}$$

где φ, Ψ — гладкие векторы-функции размерности $n–\nu$ и ν, соответственно.

Уравнение (1) ставит основную задачу управления пространственным движением — задачу стабилизации системы относительно S, то есть поддержка системы на заданном многообразии S при $x_0 \in S$ и притяжении к нему для начального состояния x_0, что принадлежат некоторой области подмногообразия вида S.

В основе процедуры синтеза закона управления лежит использование нелинейного преобразования переменных состояния, которое описывается выражением (2) и

$$e = \varphi(x) \,, \tag{3}$$

где e — вектор относительного движения, которое характеризует отклонения от поверхности S, если для $x \in S$ матрица Якоби $\Phi(x) = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \psi}{\partial x} \\ \dfrac{\partial \varphi}{\partial x} \end{bmatrix}$ обратимая, т.е. выполняется условие регулярности преобразования: $\det \Phi \neq 0$.

Пусть состояние объекта можно описать линейными уравнениями вида:

$$\frac{d}{dt} x(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t). \tag{4}$$

Уравнение обратной связи (уравнение измерений) представим в форме:

$$y(t) = Cx(t) + M(t)u(t). \tag{5}$$

Будем считать вектор управления $u(t)$ детерминированным, являющимся функцией вектора состояния $x(t)$.

Требуется найти такую допустимую кусочно-непрерывную векторную функцию $u(t)$, чтобы в любой момент времени расположение корней характеристического уравнения замкнутой системы совпадала с заданным распределением.

В соответствии с общеизвестными результатами, оптимальное управление линейной системы обеспечивается при

$$u(t) = -K(t)x(t), \tag{6}$$

где $K(t)$ — матрица оптимальных коэффициентов усиления контура управления.

В замкнутой форме уравнения (4),…,(6) записываются в виде

$$\frac{d}{dt} x(t) = (A(t) - B(t)K(t))x(t). \tag{7}$$

Проблема заключается в том, что в процессе измерения механических величин адаптивной автоматизированной системы контроля элементы матриц $A(t)$ и $B(t)$ изменяются в достаточно широких диапазонах, что делает необходимым обеспечение настройки матрицы $K(t)$ таким образом, чтобы сохранились желаемые динамические свойства системы.

Примем следующие исходные предпосылки:

– система полностью управляема;

– имеет место полная информация о векторе состояния, т.е. все его компоненты известны с требуемой точностью:

– матрицы $A(t)$ и $B(t)$ — медленно изменяющиеся.

В соответствии с подходом, базирующимся на теории устойчивости (4),...,(6), можно изменить все элементы матриц $A(t)$ и $B(t)$ таким образом, чтобы система была устойчива, т.е. обеспечить стремление ошибки $e(t)$ к нулю при $t \to \infty$.

Настройке могут быть подвергнуты лишь элементы матрицы $K(t)$.

Для формирования уравнения настройки элементов матрицы коэффициентов усиления $K(t)$ введем в рассмотрение следующие математические модели:

Уравнение модели-эталона:

$$\frac{d}{dt} x_M(t) = (A_M - B_M K_M)x_M(t). \tag{8}$$

Уравнение управляемого объекта:

$$\frac{d}{dt} x_P(t) = (A_P(t) - B_P(t)K_P(t))x_P(t), \tag{9}$$

где $e = x_M - x_P$ — глобальный вектор ошибки; $v = De$ — линейное выражение закона адаптации; $v_1 = J^{\mathrm{T}} v$ — матричное преобразование закона адаптации.

Тогда уравнение настройки матрицы $K(t)$ может быть представлено в форме

$$\Delta k(t) = \int L_1 v_1 (Q_1 xp)^{\mathrm{T}} d\tau + L v_1 (Qxp)^{\mathrm{T}}, \qquad (10)$$

где $A_{\text{м}}$ и $A_{\text{р}}$ — ($n \times n$)-матрицы состояния — модели и управляемого объекта; $B_{\text{м}}$ и $B_{\text{р}}$ — ($n \times m$)-матрицы — входа модели и управляемого объекта; D ($n \times m$) и J — ($n \times m$)-матрицы закона адаптации линейной части и линейного преобразования; Q, L, Q_1, L_1 — определенно-положительные весовые матрицы; $\Delta k(t)$ — текущее изменение матрицы $K(t)$.

В модельной структуре (8),…, (10) имеем, что все изменения элементов матриц $A_{\text{р}}$ и $B_{\text{р}}$ эквивалентно трансформируются в виде линейной комбинации (вследствие применения вновь введенной матрицы J) изменяемых компонент $K(t)$.

Очевидно, что если все изменяемые компоненты матрицы $K(t)$ на интервале адаптации представляют собой конечные числа, то их линейная комбинация также будет стремиться к нулю.

С другой стороны, как уже отмечалось, при условии полной управляемости объекта (в интервале использования модели N_i) можно, изменяя матрицу $K(t)$, придать системе любые динамические свойства, в том числе и свойства модели-эталона. С учетом этих двух обстоятельств видно в том, что если элементы матрицы J строго положительные, система, удовлетворяющая модели (8), (10), устойчива.

Поскольку модели применимы для системы стабилизации с нулевым входом ($u(t)=0$), элементы матрицы $K(t)$ будут адаптироваться к изменению параметров объекта и действию возмущений.

Для поддержания системы в состоянии возбуждения вне зависимости от влияния внешних возмущений можно придать управляемой системе и модели одни и те же незначительные (допустимые) возмущения, в виде малого квазитестового сигнала. Это позволит поддерживать систему в состоянии возбуждения при отсутствии входного сигнала $u(t)$, что имеет место в системах стабилизации с нулевым желаемым входом. В качестве таких сигналов, в зависимости от конкретного объекта и требования к качеству процесса, могут быть использованы синусоидальные, кусочно-постоянные или кусочно-переменные сигналы с достаточно малой допустимой амплитудой и необходимой частотой, практически не влияющие на изменение траекторного движения [5].

Задача заключается теперь в том, чтобы при изменении параметров объекта и при действии внешних возмущений воспроизводить вектор состояния модели.

Физическая интерпретация алгоритма. В силу действия введенной матрицы J все необходимые изменения для каждого j-го столбца обобщенной матрицы ($A_{\text{р}}$–$B_{\text{р}}K$) (гарантирующие устойчивость адаптации) переносятся в виде линейной комбинации этих изменений в те элементы j-го столбца, в которых фигурируют элементы матрицы $K(t)$.

Именно это свойство обусловливает главное преимущество построенного на моделях (9), (10) алгоритма, заключающееся в высокой степени гибкости и удобстве настройки матрицы $K(t)$, эквивалентно адаптирующейся к желаемым изменениям матриц состояния и управления. Рациональный выбор матрицы J, как показывают расчеты, позволяет обеспечить предъявляемые к качеству адаптации требования и оптимизировать процедуру функционирования алгоритма адаптации.

Структура предлагаемой автоматизированной системы контроля деталей с моделью эталоном представлена на рис.1.

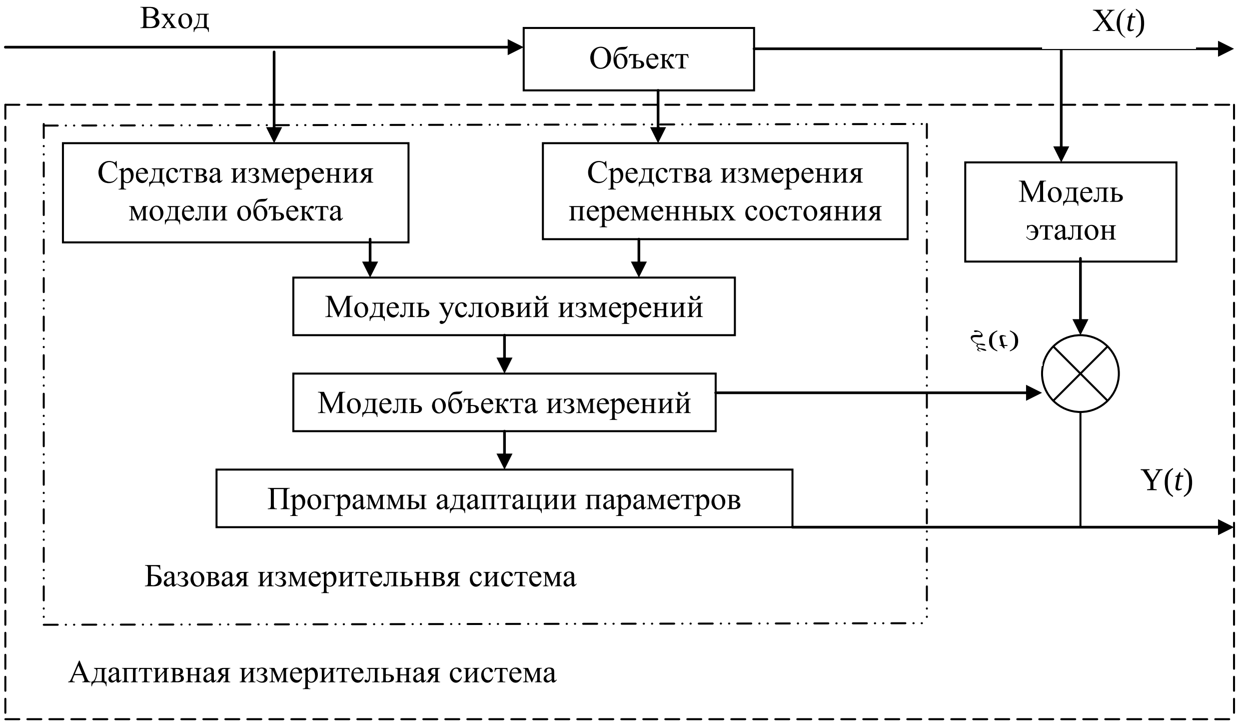

Рисунок 1 — Структура адаптивной автоматизированной системы контроля деталей с моделью-эталоном

В качестве модели эталона может быть встроенная в управляющую вычислительную систему КИМ, расположенная на роторе линейного двигателя с двумя делителями луча по координате y и координате z [6].

Заключение

Предложен новый подход к решению задачи синтеза устойчивости системы автоматизированного контроля деталей, который отличается отсутствием необходимости сопутствующей идентификации и настройки параметров модели объекта. Реализована блок-схема автоматизированной системы контроля деталей с моделью эталоном.

Литература

1. Современная прикладная теория управления / Под ред. А.А. Колесникова. Том 3. — Москва – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
2. Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. О синтезе самонастраивающейся системы управления с эталонной моделью. — Автоматика и телемеханика, №3, 1966.
3. Иванов В.А. Теория оптимальных систем автоматического управления. — М.: Наука, 1981. — 336 с.
4. Квасников В.П. Повышение точности и быстродействия информационно-измерительных систем механических величин объектов со сложными пространственными поверхностями: Монография. — Черкассы: Черкасский институт управления, 2002. — 192 с.
5. Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., М.Б. Модестов, Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. Координатные измерительные машины и их применение. — М.: Машиностроение, 1988. — 328 с.
6. Parks P.C. Lypunov Redesign of Model Reference Adaptive Control System // IEEE Automat. Control. 1966. V. AC–11. № 3.