УДК 519.2

А.Н. Пупков

К СИНТЕЗУ МНОГОКАНАЛЬНОГО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА МНОГОМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена проблема построения многоканального непараметрического регулятора линейных динамических систем. Большое внимание уделено алгоритму построения такого типа регулятора, с точки зрения многоканального управления. Приведены иллюстрации численных экспериментов, иллюстрирующих работу многоканального регулятора.

Ключевые слова: *непараметрический регулятор, многомерные модели, линейная динамическая система, идентификация и управление многомерными системами.*

Задачи управления сложными технологическими объектами различного функционального назначения являются одним из наиболее важных аспектов теории идентификации и управления. Обычно в информационных технологиях проектирования систем автоматизированного управления технологическими процессами используют классические законы регулирования. Применение данных законов требует знания полной априорной информации об объекте управления. Одним из важнейших факторов, побудившим к поискам новых подходов, явилось наличие недостаточной априорной информации об исследуемом объекте для математической постановки задачи. Ниже приводится исследования непараметрического многоканального регулятора, который является существенно более эффективным, поскольку для него не важно знание параметрической структуры объекта.

1. Постановка задачи

Исследуемый подход к синтезу непараметрического многоканального регулятора [1] сводится к тому, что по измеренным значениям наблюдений управляемого вектора входных воздействий

$$u_{n,i}, i=\overline{1,s},\ \ n=\overline{1,N},$$

где N – размерность вектора входных переменных, s – объем выборки, и выходного сигнала $x_i, i=\overline{1,s}$, требуется построить модель линейной динамической системы. Схема объекта показана на рис. 1 (исходная схема объекта и с учетом декомпозиции).

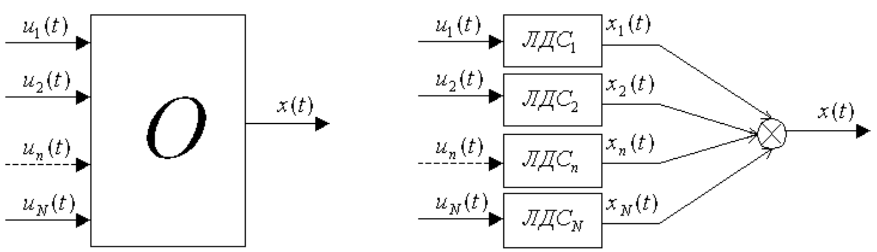

Рис. 1. Исходная схема объект и его декомпозиция

Наблюдения переменных «вход-выход» объекта осуществляются в дискретном времени со случайной статистически независимой помехой с нулевым математическим ожиданием и ограниченной дисперсией.

Линейную динамическую систему с векторным входом $u_n(t)$ можно описать следующей математической формулой:

$$x(t)=\int_0^t h_1(t-\tau)u_1(\tau)d\tau+\int_0^t h_2(t-\tau)u_2(\tau)d\tau+...+\int_0^t h_N(t-\tau)u_N(\tau)d\tau\,, \qquad (1)$$

где $x(t)$ – выход системы, $h_n(t)$ – весовые функции соответственно n-го звена системы, $u_n(t)$ – вектор входных параметров системы.

Модель ЛДС при нулевых начальных условиях выглядит следующим образом:

$$x_s(t)=\int_0^t h_{1,s}(t-\tau)u_1(\tau)d\tau+\int_0^t h_{2,s}(t-\tau)u_2(\tau)d\tau+...+\int_0^t h_{N,s}(t-\tau)u_N(\tau)d\tau\,. \qquad (2)$$

Оценку весовой функции n-го звена $h_{n,s}(t), n=\overline{1,N}$, запишем в виде

$$h_{n,s}(t)=\frac{1}{sC_s}\sum_{i=1}^{s}k_{n,i}H'\left(\frac{t-t_i}{C_s}\right), \qquad (3)$$

где k – есть переходная характеристика соответствующего компонента объекта управления, функция $H(\cdot)$ и параметр размытости C_s удовлетворяют условиям сходимости [4]. При преобразовании формулы (2) получаем модель многомерного объекта:

$$x_s(t)=\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{sC_s}\int_0^t\sum_{i=1}^{s}k_{n,i}H'\left(\frac{t-t_i-\tau}{C_s}\right)u_n(\tau)d\tau\,. \qquad (4)$$

Параметр размытости C_s является настроечным и выбирается из минимума среднеквадратичного критерия:

$$W(C_s)=\sum_{i=1}^{s}\left(x(t_i)-x_s(t_i,C_s)\right)^2\to\min_{C_s}\,. \qquad (5)$$

Известно, что обратный оператор ЛДС имеет тот же вид, что и прямой оператор ЛДС, с той лишь разницей, что весовая и переходная функции определяются в направлении «выход-вход» [4]. Поскольку на реальном объекте такие реализации получить нельзя, «обратные» характеристики «снимаются» с модели ЛДС при решении уравнения $x_{n,s}(t)=1(t),\ n=\overline{1,N}$, соответственно для каждого входа системы $u_n(t)$. Решения системы данных уравнений – есть алгоритм для отыскания реализации «обратной» переходной функции $\omega[t]$ для каждого звена системы и выглядит следующим образом:

$$\omega_n[t]=\frac{sC_s-\Delta\tau\sum\limits_{j=1}^{\frac{t-\Delta\tau}{\Delta\tau}}\sum\limits_{i=1}^{s}k_{n,i}H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{C_s}\right)\omega_n(\tau_j)}{\Delta\tau\sum\limits_{i=1}^{s}k_{n,i}H'\left(\frac{-t_i}{C_s}\right)}\,,\ n=\overline{1,N}\,,\ \text{где}\ \omega_n[0]=0\,. \qquad (6)$$

Полученные реализации $\{(\omega_{n,i},t_i),\ n=\overline{1,N},\ i=\overline{1,s}\}$ используются для построения «обратного» оператора системы, оценка которого приведена ниже:

$$u_{n,s}(t) = \frac{1}{sC_s}\sum_{i=1}^{s}\int_0^t \omega_{n,i} H'\left(\frac{t-\tau-t_i}{C_s}\right) x_n^{*}(\tau)\, d\tau\,, \qquad (7)$$

где $u_{n,s}$ – оценка «обратного» оператора соответствующего звена, $\omega_{n,i}$ – реализации «обратных» переходных функций соответствующего звена объекта, $x^*_n(t)$ – задающее воздействие для отдельных звеньев объекта, функция $H(\cdot)$ и параметр размытости C_s удовлетворяют тем же условиям сходимости [3].

На рис. 2 приводится схема управления объектом с векторным входом с учетом вышеописанного алгоритма. При применении алгоритма (7) вытекает еще одна задача – это задача неоднозначности в управлении, которое имеет место на рис. 2, то есть необходимо выбрать для каждого звена системы соответствующее задание для расчета вектора управляющего воздействия $u_{n,s}$.

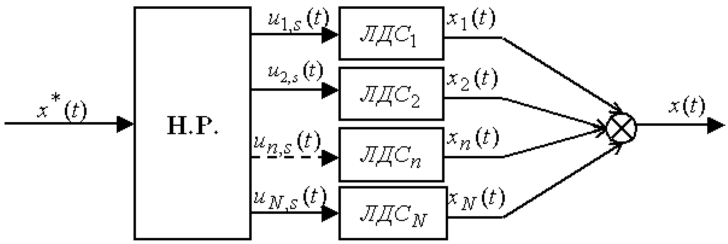

Рис. 2. Разомкнутая схема управления многомерным объектом,
где Н.Р. – непараметрический регулятор

Ниже предложен следующий алгоритм для решения этой задачи. Задание для отдельного звена $x^*_n(t)$ рассчитывается по алгоритму

$$x^*_{n,i}(t) = \left(\frac{k_{n,\text{уст}}}{\kappa_{\text{уст}}}\right) x_i^*(t),\ \ n = \overline{1,N},\ \ i = \overline{1,s}\,, \qquad (8)$$

где $k_{\text{уст}}$ – установившееся значение переходной характеристики системы, $k_{n,\text{уст}}$ – установившееся значение переходной характеристики n-го звена системы, то есть первый член в произведении определяет вес n-го звена в системе. И далее по алгоритму (7) находим управляющее воздействие для n-го звена системы. Данная идея схематично представлена на рис. 3.

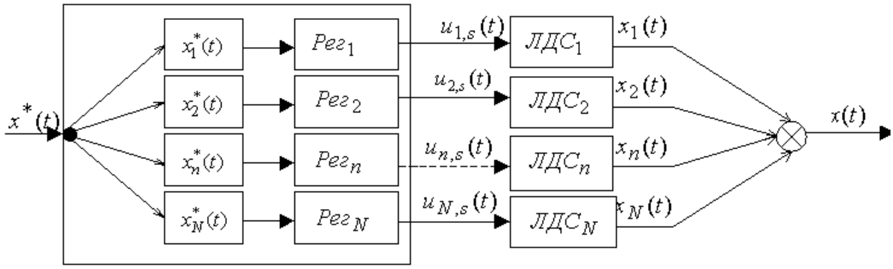

Рис. 3. Декомпозиция системы управления с учетом приведенного алгоритма,
где $Рег_n$ есть не что иное, как блоки, реализующие алгоритм (7)

2. Численные исследования

Ниже приводятся результаты экспериментов для системы с размерностью вектора входных параметров равной двум. Так как эксперименты не проводились на реальном объекте, то в качестве его математического аналога была взята система дифференциальных уравнений второго и третьего порядков:

$$\begin{cases} 3,0\dfrac{d^2x}{dt^2}+1,0\dfrac{dx}{dt}+1,0x=7,0u_1 \\ 1,0\dfrac{d^3x}{dt^3}+1,5\dfrac{d^2x}{dt^2}+1,0\dfrac{dx}{dt}+1,0x=3,0u_2 \end{cases} \tag{9}$$

Первым этапом построения многоканального регулятора является построение его модели (4). Для этого с каждого звена системы «снимается» переходная характеристика при подаче поочередно на каждый вход системы единичного ступенчатого воздействия $1(t)$. Далее по полученным переходным характеристикам строится оценка весовых функций (3) каждого звена и далее строится модель системы в целом (4).

Вторым этапом построения непараметрического регулятора является оценка переходных характеристик (6). По полученным реализациям «обратных» характеристик звеньев $\omega_n[t]$ строится оценка обратного оператора системы (7), который и является непараметрическим регулятором. При выборе задания для каждого звена используется преложенный алгоритм (8), если нет определенных ограничений по каждому входу звеньев системы.

Для демонстрации работоспособности алгоритмов построения многоканального непараметрического регулятора возьмем в качестве задания системы ступенчатую функцию. На рис. 4 показана работа многоканального непараметрического регулятора.

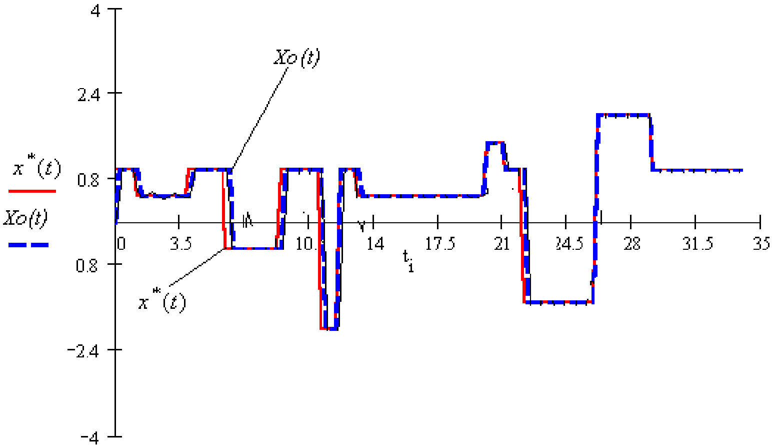

Рис. 4. Процесс двухканального управления многомерным объектом

Из рисунка видно, что процесс управления многомерным объектом протекает достаточно эффективно, среднеквадратичная ошибка регулирования составила $W = 0{,}01739$.

Заключение

В статье предлагается решение задачи синтеза непараметрического многоканального регулятора линейных динамических систем. В основе предложенного алгоритма лежит непараметрическая модель динамики. Предложен подход к решению проблемы неоднозначности в выборе задающего воздействия для каждого звена системы. Были проведены численные исследования, которые показали достаточно высокое качество работы многоканального непараметрического регулятора многомерных ЛДС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пупков А.Н.* Синтез и исследование многоканального непараметрического регулятора линейных динамических систем: дис. канд. техн. наук. Красноярск: КГТУ, 2003. 137 с.
2. *Medvedev A.V.* Identification and control for linear dynamic systems of unknown order // Optimization Techniques IFIP Technical Conference. Berlin – Heidelderg – New York: Springer Verlag, 1975. P. 48–55.
3. *Медведев А.В.* Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983. 174 с.
4. *Медведева Н.А.* Непараметрические модели и регуляторы // Изв. вузов. Физика. 1995. № 9. С. 124–129.
5. *Кузнецова О.В. Медведева Н.А. Пупков А.Н.* Об исследовании непараметрического регулятора // Перспективные материалы, технологии, конструкции: сб. науч. тр. / под ред. проф. В.В. Стацуры. Вып. 4. Красноярск: САА, 1998. С. 346–351.
6. *Pupkov A.N.* On Nonparametric Identification of Linear Dynamic Systems / A.N. Pupkov, N.A. Sergeeva, O.V. Shesterneva // Proc. IASTED International Conference in Cooperation with the Russian Academy of Sciences – Siberian Branch Automation, Control, and Information Technology. Novosibirsk, Russia: ACTA Press. P. 282–288.

Пупков Александр Николаевич
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)
E-mail: Pupkov_a@rambler.ru
Поступила в редакцию 3 мая 2012 г.

Pupkov Aleksandr N (Siberian Federal University). **To the synthesis of multi-channel nonparametric regulator of multidimensional linear dynamic systems**.

Keywords: nonparametric regulator, the multivariate model, linear dynamic system, identification and management of multiple systems.

The problem of multi-dimensional dynamical systems control by means of non-parametrical data estimation procedure is considered. To control the linear dynamical process the estimation of inverted dynamical operator is introduced. Calculation procedures and algorithms for abovementioned problem are suggested. Some results of numerical experiments with constructed algorithm are given.