Ё.А. Юсупов, Д.Б. Абдурасулова

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ НАСТРОЕК РЕГУЛЯТОРА РОБАСТНО-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

(Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологии)

В настоящее время к алгоритмам робастно-адаптивного управления предъявляется ряд требований при управлении технологическими процессами, в частности, при рассмотрении систем управления динамическими объектами [1-4]. К требованиям относят: возможность выполнять требуемые вычисления в такие промежутки времени, за которые выходное значение объекта не изменится заметным образом; требование увязки временных интервалов обработки программ различных уровней иерархии и, как правило, различных приоритетов обслуживания; требование к точности адаптации в установившемся и переходном режимах.

Математическую модель объекта можно записать следующим образом

$$x_{t+1} = F_1(x_t, u_t, r_t, \xi_t, \Theta), \tag{1}$$

$$y_t = F_2(x_t, \xi_t, \Theta), \tag{2}$$

где $F_1(\cdot), F_2(\cdot)$ – некоторые функции; $x_t \in R^n$ – вектор состояния объекта; $u_t \in R^m$ – вектор управляющих воздействий; $r_t \in R^p$ – вектор контролируемых возмущений; $\xi_t \in R^q$ – вектор неконтролируемых возмущений; $\Theta \in R^l$ – вектор неизвестных параметров объекта; $y_t \in R^d$ – вектор выходных переменных.

Алгоритм регулирования и адаптации будем также записывать в виде уравнений состояния

$$\begin{aligned} u_t &= U(u_{t-1}, x_t, r_t, g_t), \\ g_{t+1} &= \Psi(g_t, x_t, u_t, r_t), \end{aligned} \tag{3}$$

где g_t - вектор настраиваемых коэффициентов регулятора.

Динамика всей системы описывается уравнениями (1)-(3), в которых функции $F_1(\cdot), F_2(\cdot)$ заданы с точностью до неизвестных параметров Θ, а функции $U(\cdot), \Psi(\cdot)$ подлежат определению. Точная постановка задачи управления или стабилизации объекта зависит от имеющихся сведений о характере неизмеряемых помех ξ_t [2,3].

Будем считать, что помехи ξ_t в соотношениях (1), (2) случайные, центрированные $(M\xi_t = 0)$, с одинаковой дисперсией $M\xi_t^2 = \sigma^2 \langle \infty$ и независимы в различные моменты времени. При этом величины y_t, u_t также оказываются случайными. Поэтому показатель качества стабилизации естественно задать как среднее значение установившейся ошибки [3]:

$$J_1(\{u_t\}) = \overline{\lim_{t\to\infty}} M[Q(y_t, u_t)], \tag{4}$$

где $[Q(y_t, u_t)] \geq 0$ – квадратичная форма двух переменных.

Задача оптимального робастно-адаптивного управления динамическим объектом (1), (2) состоит в том, чтобы по доступным измерениям синтезировать последовательность допустимых управлений $\{u_t\}$ и выделить по возможности более широкий класс объектов так, чтобы для всех объектов из этого класса траектория y_t замкнутой системы в асимптотике приближалась в некотором смысле к траектории оптимальной системы y_t^0, а именно чтобы

$$J_0 = \lim_{t\to\infty}\{y_t - y_t^0\}^2 = 0\,. \tag{5}$$

Функционал (5) имеет смысл потерь на адаптацию, т.е. потерь, связанных с отсутствием априорных знаний о параметрах объекта (1), (2). В ряде работ [4-6] также приводятся алгоритмы синтеза адаптивных систем по так называемому усредненному критерию оптимальности ансамбля траекторий. Использование критерия (5) оказывается более предпочтительным для управления объектами в реальном масштабе времени, поскольку не предполагает многократного повторения процесса управления.

Для определения параметров настройки регуляторов весьма эффективным представляется подход [2], основанный на критериях адаптируемости по выходу для входов системы. При этом уравнение настройки регулятора имеет вид:

$$LG = N\,,$$

где L, N - матрицы адаптируемости системы, G - матрица настроек регулятора.

Оптимальные явные алгоритмы настройки управляющего устройства на основе аппарата псевдоинверсии [6] можно определить на основе соотношения:

$$G = L^+N + \left(I - L^+L\right)Z, \tag{6}$$

где $N \in (R_1 \to R_3), G \in (R_1 \to R_2), L \in (R_2 \to R_3), Z \in (R_1 \to R_2)$ – некоторый оператор.

Уравнение (6) равнозначно условию: $LGx=Nx$ при любом $x \in R_1$. Из этого следует, что для каждого $x \in R_1$ уравнение $LGx=Nx$ разрешимо относительно Gx тогда и только тогда, когда $LL^+Nx = Nx$ [6]. Если это условие выполнено для всякого $x \in R$, то оно принимает вид $LL^+N = N$. Всякое решение уравнения $LGx=Nx$ относительно Gx может быть записано в виде $Gx = L^+Nx + \left(I - L^+L\right)z,$ при некотором $z \in R_2$, или иначе

$$Gx = L^+Nx + \left(I - L^+L\right)Zx, \tag{7}$$

где $Z \in (R_1 \to R_2)$ - произвольный оператор.

Если данные неточно заданны, то необходимо использовать методы регуляризации для устойчивого отыскания приближенных решений [3,5]. Представим матрицы L, N и G следующим образом [2]:

$$L = \begin{bmatrix} \ldots L_1^T \ldots \\ \ldots\vdots\ldots \\ L_{m(2n+n_1)} \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} \ldots n_1^T \ldots \\ \ldots\vdots\ldots \\ n_{m(2n+n_1)}^T \end{bmatrix}, G = \left[g^1 \vdots \ldots \vdots g^m\right]. \quad (8)$$

Учитывая принятые обозначения, решение уравнения настройки адаптивного регулятора LG=N можно записать в виде следующего алгоритма рекуррентного оценивания:

$$g^i(t+1) = g^i(t) + P(t)l(t+1)\left[n^i(t+1) - l^T(t+1)g^i(t)\right]\left[\alpha I + l^T(t+1)P(t)l(t+1)\right]^{-1},$$
$$P(t+1) = P(t) - P(t)l(t+1)\left[\alpha I + l^T(t+1)P(t)l(t+1)\right]^{-1} l^T(t+1)P(t), \quad (9)$$
$$P(0) = \varphi I,\ \varphi >> 0,\ i = \overline{1,m},\quad \alpha > 0,\ t = 0,1,2,...,$$

Приведенные устойчивые рекуррентные вычислительные алгоритмы оценивания параметров стохастических объектов управления в условиях неполной априорной информации позволяют эффективно вычислять вектор параметров объекта и значения настроек адаптивного регулятора.

Литература

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.:Наука, 1987. – 721 с.
2. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсепян Т.А. Адаптивное управление непрерывными процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
3. Деревицкий Д.П., Фрадков А.А. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
4. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981. – 448 с.
5. Цыпкин Я.З., Кельманс Т.К. Дискретные адаптивные системы управления // Итоги науки и техники. Сер. Техн. Кибернетики – М.: ВИНИТИ – 1984. Т. 17. С. 3 – 73.
6. Кельманс Г.К. Непрямое адаптивное управление не минимально-фазовыми по помехе динамическими объектами // А и Т. – 1987. - №11. – с. 144-154.