

АДАПТИВНО-ИНТЕРВАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Турсинбоева З.У.¹, Халилов Ш.Ф.²

¹Турсинбоева Зебо Уринбоевна – преподаватель;

²Халилов Шахобиддин Файзиевич – ассистент,

кафедра высшей математики и информационных технологий,
Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Республика Узбекистан

Аннотация: в статье рассматривается разработка адаптивно-интервальных алгоритмов синтеза систем управления технологическими объектами.

Ключевые слова: интервальный анализ, идентификация, адаптивно-интервальная система управления, адаптивно-интервальный алгоритм, вектор управления.

Интервальный анализ и возникшая практически одновременно с ним теория нечётких множеств явились ответом на вызов бурно развивающейся практики, которая требовала развития аппарата для учёта неопределённостей нестатистической (или, в общем случае, неизвестной) природы. При этом интервальный анализ оказался способным исследовать содержательные модели, которые основываются на наиболее скудных априорных допущениях о характере неопределённости, когда относительно рассматриваемых величин ничего не известно, кроме их свойства принимать значения из некоторых ограниченных множеств [1].

Во многих работах, касающихся синтеза алгоритмов идентификации объекта и настройки управляющего устройства, является предположение о том, что оценки параметров объекта совпадают с их истинными значениями. С практической точки зрения такое предположение является чрезмерно ограничительным. Вместе с тем для многих практических ситуаций вполне достаточным оказывается предположение о принадлежности оценок некоторым фиксированным числовым интервалам, что делает вполне оправданным подход к решению задачи синтеза алгоритмов настройки регулятора с помощью аппарата интервального анализа [2, 3].

Данная работа посвящена разработке адаптивно-интервальных алгоритмов синтеза систем управления технологическими объектами. Сформулируем постановку задачи синтеза адаптивно-интервальных систем управления технологическими объектами в терминах интервального анализа. Пусть задан полностью управляемый и идентифицируемый объект управления вида

$$\begin{cases} Z(k+1) = \bar{A}^* Z(k) + G_1^* g(k+1) + \bar{G}_2^* g(k) + F_1^* f(k+1) + \bar{F}_2^* f(k); \\ y(k) = C^* Z(k) + f(k); \end{cases} \quad (1)$$

где:

$$\bar{A}^* = \begin{bmatrix} A - BG_0C & BK_{-1} & -BG_{-1} & BK_1 & -BG_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C(A - BG_0C) & CBK_{-1} & 1 - CBG_{-1} & CBK_1 & -CBG_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C(A - 1 - BG_0C) & CBK_{-1} & -CBG_{-1} & CBK_1 & -CBG_1 \end{bmatrix}$$

$$G_1^* = \text{col}[0 : 1 : 0 : 1 : 0];$$

$$\bar{G}_2^* = \text{col}[BK_0 : 0 : CBK_0 : -1 : CBK_0];$$

$$F_1^* = \text{col}[0 : 0 : 1 : 0 : 1];$$

$$\bar{F}_2^* = \text{col}[-BG_0 : 0 : -CBG_0 : 0 : -(1 + CBG_0)];$$

где $Z(k)$ -вектор состояния, $y(k)$ – вектор управления, A, B, C – матрицы параметров объекта управления, $K_r, G_r (r = \overline{-1, 1})$ – матрицы входов прямой и обратной связи, определяющие параметры дискретного адаптивного регулятора, $g(k)$ – вектор уставок регулятора, $f(k)$ – векторный случайный процесс типа белого шума. Примем, что эталонная модель задается уравнениями вида (1), в которых вместо матриц $\bar{A}^*, G_1^*, \bar{G}_2^*, F_1^*, \bar{F}_2^*, C^*$ представлены их значения на номинальном режиме, а все переменные, кроме входных воздействий g, f отмечены индексом «м».

Сформулируем постановку задачи синтеза адаптивно-интервальных систем управления технологическими объектами в терминах интервального анализа. Пусть задан полностью управляемый и идентифицируемый объект управления вида (1). Естественно, что коэффициенты реального управляемого объекта будут отличаться от расчетных (идентифицированных) в силу неизбежной погрешности измерений, неточности вычислений, изменения параметров с течением времени и ряда других факторов. Поэтому более реальным будет предположение, что при синтезе адаптивных регуляторов мы имеем дело с интервальной неопределённостью параметров объектов управления.

Будем полагать, что параметры объекта управления принадлежат некоторому априори заданному

числовому диапазону:

$$\begin{aligned} \bar{a}_{ij} \in \bar{a}_{ij} = [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}], \quad \bar{b}_{ik} \in \bar{b}_{ik} = [\underline{b}_{ik}, \bar{b}_{ik}], \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n} \\ \bar{c}_{pi} \in \bar{c}_{pi} = [\underline{c}_{pi}, \bar{c}_{pi}], \quad k = \overline{1, m}, \quad p = \overline{1, l} \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{a}_{ij}, \bar{b}_{ik}, \bar{c}_{pi}$ являются, соответственно, элементами матриц многосвязного объекта управления.

Цель адаптивно-интервального управления формулируется в терминах подцелей управления следующим образом:

$$y(k) \equiv y_{ij}(k), \quad u(k) \equiv u_{ij}(k). \quad (3)$$

$$\bar{A}^* \equiv \bar{A}_{ij}^*, \quad G_i^* \equiv G_{3/1}^*, \quad \bar{G}_2^* \equiv \bar{G}_{3/2}^* \quad (4)$$

и (или)

$$\bar{A}^* \equiv \bar{A}_M^*, \quad F_1^* \equiv F_{3/1}^*, \quad \bar{F}_2^* \equiv \bar{F}_{3/2}^* \quad (5)$$

при $y(k) \in \mathbf{y}(k), y_M(k) \in \mathbf{y}_M(k), u(k) \in \mathbf{u}(k), u_M(k) \in \mathbf{u}_M(k), \bar{A}^*(k) \in \bar{\mathbf{A}}^*(k), \bar{A}_M^*(k) \in \bar{\mathbf{A}}_M^*(k), \bar{G}_i^*(k) \in \bar{\mathbf{G}}_i^*(k), \bar{G}_{\Delta h}^*(k) \in \bar{\mathbf{G}}_{\Delta h}^*(k), \bar{F}_i^*(k) \in \bar{\mathbf{F}}_i^*(k), \bar{F}_{\Delta h}^*(k) \in \bar{\mathbf{F}}_{\Delta h}^*(k), i = 1, 2$

Если выходным вектором является y , а входными $\mathbf{q}$ и $\mathbf{f}$, то цели интервально-адаптивного управления в z - плоскости определяются интервальными тождествами:

$$y(z) \equiv y_M(z) \quad (6)$$

$$W(z) \equiv W_M(z), K_r(z) \equiv G_r(z) \quad (7)$$

В терминах интервального анализа определены понятия полной, слабой и частичной адаптируемости основного контура адаптивной системы управления. На основе цели адаптивно-интервального управления предлагаются интервальные статические адаптивные алгоритмы настройки регуляторов.

Введены интервальные матрицы адаптируемости $\bar{L}_{ij}, \bar{L}_{M(ij)}$:

$$L_{ij} = \bar{L}_{(ij)\mu\eta} = \sum_{p=0}^{\bar{m}+\bar{n}} \tilde{a}_{M(i)p} \tilde{B}_{(ij)l-p+\mu-\eta}^*, \quad L_{M(\eta)} = \bar{L}_{M(\eta)\mu\eta} = \sum_{p=0}^{\bar{m}+\bar{n}} \tilde{D}_{(i)p}^* \varphi_{M(ij)l-p+\mu-q}$$

где: $\tilde{B}_{(ij)x}^* = \sum_{a=1}^{k^*} [\underline{b}_{(ij\eta-x+1)x}, \bar{b}_{(ij\eta-x+1)x}], \quad \tilde{D}_{(i)\eta}^* = [\mathbf{1}, \mathbf{l}], \quad D_{(i)p}^* = \sum_{a=1}^{k^*} [\underline{a}_{(i\bar{m}-r)x}, \bar{a}_{(i\bar{m}-r)x}],$
 $k^* \in (\mathbf{1}, 2, \dots), \quad \chi = \mathbf{1} - \rho + \mu - \eta$

Зададим интервальные вектора $\tilde{n}_{(k)}, \tilde{P}_{(k)}$ в виде:

$$\tilde{n}_{(r)} = \sum_{j=1}^m L_{M(ij)} G_{M(jc)r}, \quad P_{(k)} = \sum_{j=1}^m L_{(ij)} G_{(jc)r}$$

где:

$$G_{(jc)r} = [\underline{G}_{(jc)r}, \bar{G}_{(jc)r}], \quad \forall r = \overline{1, 3}, \quad c \in (\overline{1, p})$$

Показано, что искомые интервальные параметры адаптивного регулятора определяются как решение матричного интервального линейного алгебраического уравнения:

$$\mathbf{L} \mathbf{G} = \mathbf{n} \quad (8)$$

где есть, в общем случае, прямоугольная интервальная матрица, блочными элементами которой являются интервальные матрицы адаптируемости $\mathbf{L}$.

Далее, выше предложенный подход распространен на синтез адаптивных структурно-оптимизируемых регуляторов (на примере адаптивного аperiodического регулятора) в случае, когда вместо канонического представления многомерных систем в пространстве состояний используется запись многомерной системы в пространстве передаточных функций. Рассмотрена возможность применения аperiodическую регулятора при интервальной неопределенности параметров для адаптивных систем управления с неявной эталонной моделью.

Для этого целесообразно рассматривать уравнение вида:

$$\hat{\mathbf{L}}_{Ap} \hat{\mathbf{G}}_{Ap} = \hat{\mathbf{n}}_{Ap}, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{L}}_{Ap} = [\hat{\mathbf{L}}_q : \hat{\mathbf{L}}_p], \quad \hat{\mathbf{G}}_{Ap}^T = [\hat{\mathbf{G}}_q^T : \hat{\mathbf{G}}_p^T], \quad \hat{\mathbf{n}}_{Ap} = [\hat{\mathbf{B}}_M^T : \hat{\mathbf{A}}_M^T - \hat{\mathbf{B}}_M^T], \\ \tilde{\mathbf{G}}_q^T = [\mathbf{q}_0, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_m], \quad \tilde{\mathbf{G}}_p^T = [\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n], \end{aligned}$$

$$\hat{\mathbf{L}}_q = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{b}}_1 & \dots & & \\ \hat{\mathbf{b}}_2 & \hat{\mathbf{b}}_1 & \dots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\mathbf{b}}_n & \hat{\mathbf{b}}_{n-1} & \dots & \dots \\ \vdots & \hat{\mathbf{b}}_n & \hat{\mathbf{b}}_{n-1} & \dots \hat{\mathbf{b}}_1 \\ & \vdots & \hat{\mathbf{b}}_n & \dots \vdots \\ \mathbf{O} & & \vdots & \vdots \\ & & & \vdots \hat{\mathbf{b}}_n \end{bmatrix}, \quad \hat{\mathbf{L}}_p = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{a}}_0 & \dots & & \\ \hat{\mathbf{a}}_1 & \hat{\mathbf{a}}_0 & \dots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\mathbf{a}}_m & \hat{\mathbf{a}}_{m-1} & \dots & \dots \\ \vdots & \hat{\mathbf{a}}_m & \hat{\mathbf{a}}_{m-1} & \dots \hat{\mathbf{a}}_0 \\ & \vdots & \hat{\mathbf{a}}_m & \dots \vdots \\ \mathbf{O} & & \vdots & \vdots \\ & & & \vdots \hat{\mathbf{a}}_m \end{bmatrix}.$$

Искомые алгоритмы настройки параметров аperiodического регулятора будут вычисляться с помощью уравнения:

$$\hat{\mathbf{G}}_{Ap} = (\hat{\mathbf{L}}_{Ap})^+ \mathbf{n}_{Ap}.$$

Для алгебраического интервального уравнения вида

$$\mathbf{L}^* \cdot \mathbf{G}^* = \mathbf{n}^*, \quad (10)$$

интервальный вектор параметров адаптивного регулятора, например, для одномерного объекта управления будет определяться выражением:

$$\mathbf{G} := \left\{ (L^*)^+ \tilde{n}^*; \forall \underline{L}^* \leq L^* \leq \bar{L}^*, \underline{n}^* \leq \tilde{n}^* \leq \bar{n}^* \right\} \subset \mathbf{G}^*,$$

где $\mathbf{L}^*$ - интервальная матрица адаптируемости размерности $(\tilde{m} \times \tilde{n})$, $\mathbf{G}^*$ - искомый интервальный вектор настроек параметров адаптивного регулятора, $\mathbf{n}^*$ - интервальный вектор размерности $(\tilde{m} \times 1)$.

Задача отыскания точных граничных значений интервального вектора $\mathbf{G}^*$ в случае несовместной или переопределенной системы интервальных алгебраических уравнений (10) представляет собой отдельную сложную теоретическую задачу интервального анализа.

Список литературы

1. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. /Новосибирск: Изд.: «XYZ» /СО РАН, 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://interval.ict.nsc.ru/Library/InteBooks/SharyBook.pdf> /(дата обращения: 24.09.2020)
2. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. М.: Мир, 1987. 262 с.
3. Ядыкин И.Б. Оптимальная настройка линейных регуляторов // Докл. АН СССР, 1985. 285. № 3. С. 574-577.