

УДК 681.5

Д.А. Токарев, аспирант*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: Tdanis@yandex.ru***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМОЙ**

Рассмотрено усовершенствование формы записи гибридной системы, позволяющее в явном виде учитывать разрывы вектора состояния. Новая форма записи упрощает использование дискретной эталонной модели в гибридных системах.

Ключевые слова: гибридная система, эталонная модель, дискретизация, управление, разрывы.

В современной теории автоматического управления применяются гибридные модели при описании реальных физических объектов. Следует отметить, что авторы расшифровывают термин «гибридная система» по-разному, связывая его с компоновкой в единое целое двух систем различного математического описания. Наиболее часто встречаемой трактовкой гибридной системы можно считать объединение дискретного и непрерывного во времени объектов. В теории автоматического управления распространена следующая запись для гибридных систем [1]

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= A_1(t)x(t) + B_1(t) \cdot f_1(t), \quad t \notin \Theta, \\ x(t_k) &= A_2(t_k)x(t_k - 0) + B_2(t_k), \quad t_k \in \Theta,\end{aligned}\tag{1}$$

где Θ – точки скачков; A_1 – матрица непрерывной части системы; B_1 – матрица управления непрерывной части системы; f_1 – вектор управления; A_2 – матрица дискретной части системы; B_2 – матрица управления дискретной части системы; x – вектор состояния.

Решением системы (1) является кусочно-непрерывная функция, претерпевающая разрывы в моменты времени t_k . Общий вид (1) применяется для линейных систем с аддитивным управлением.

В первом уравнении системы (1) «скачки» не учитываются в явном виде, что несколько усложняет использование подобной модели на практике, а также при различных преобразованиях системы. Предлагается изменить запись гибридной системы следующим образом

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= A_1(t)(x(t) + \Delta x(t_k)) + B_1(t) \cdot f_1(t), \\ \Delta x(t_k) &= x(t_k - 0) - (A_2(t_k)x(t_k - 0) + B_2(t_k)), \quad t_k \in \Theta,\end{aligned}\tag{2}$$

где $\Delta x(t_k)$ – определено только в моменты времени $t_k \in \Theta$.

Модели (1) и (2) отличаются тем, что в (2) разрывы первого рода учитываются в виде приращения $\Delta x(t)$ к вектору состояния и в явном виде присутствуют в непрерывной части гибридной системы. Предполагается, что $\Delta x(t_k) = 0$ при $t \neq t_k$ и $\Delta x(t_k) \neq 0$ при $t = t_k$.

Целью данной статьи является демонстрация возможности применения дискретной эталонной модели с гибридной системой (2).

Для поиска решения системы (2) предлагается дискретизация первого уравнения системы (2) при этом шаг выбирается по возможности минимальным (наилучшие решения будут получены при подстановке $\Delta t \rightarrow 0$ вместо dt). При разработке методов поиска управления дискретно-непрерывными системами необходимо учитывать тот факт, что наиболее популярным способом решения дифференциальных уравнений на сегодняшний день являются численные методы. Данные алгоритмы выдают дискретное по времени решение системы с постоянным либо переменным шагом во времени. Таким образом, любые непрерывные системы дифференциальных уравнений при решении фактически сводятся к дискретизированным (явным способом либо завуалировано с применением дискретных численных алгоритмов решения систем дифференциальных уравнений). Учет неизбежной дискретизации позволяет создавать новые методики поиска управления в системах описываемых дифференциальными уравнениями.

При стабилизации выхода системы мы сравниваем текущий выход системы с некоторой эталонной системой. Наиболее удобной и востребованной на практике является экспоненциальная форма

выхода эталонной системы. Дискретная модель эталонной системы с одним выходом имеет следующий вид:

$$J_k = J_{k-1} + E \cdot (J^* - J_{k-1}),$$

$$E \in (0..1), k = 1, 2, \dots, \quad (3)$$

$$E = \frac{t_d}{T}.$$

Здесь: t_d – шаг дискретизации по времени; T – параметр, определяющий время переходного процесса критериальной функции.

Эталонную систему на несколько экспоненциальных выходов можно записать в виде модели пространства состояния. Преобразуем (3) в следующий вид:

$$J_k = J_{k-1} - EJ_{k-1} + EJ^*,$$

$$J_k = (1 - E)J_{k-1} + EJ^*. \quad (4)$$

По аналогии с (4) запишем эталонную модель в виде

$$J_k = A^3 J_{(k-1)} + B^3 u^3, \quad (5)$$

где A^3 – диагональная матрица размерности $(n \times n)$, на главной диагонали которой расположены элементы $1 - E_i$; B^3 – вектор столбец размерности $(1 \times n)$, состоящий из элементов E_i ; u – вектор-строка значений, к которым стремятся выходы эталонной системы (J_i^*).

$$A^3 = \begin{pmatrix} 1-E_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ 0 & & 1-E_i & & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1-E_n \end{pmatrix}, \quad B^3 = \begin{pmatrix} E_1 \\ \vdots \\ E_i \\ \vdots \\ E_n \end{pmatrix}, \quad E_i = \frac{h}{T_i},$$

где n – порядок системы; i – порядковый номер уравнения в системе; T_i – параметр, отвечающий за скорость переходного процесса i -го выхода эталонной системы; h – шаг дискретизации эталонной системы.

Полученная эталонная модель желаемого поведения выхода системы (5), сравнивается с выходом гибридной системы (2). Сопоставление дискретной системы (5) с непрерывной частью системы (2) осуществляется с учетом шага дискретизации эталонной системы h . Обязательным условием является совпадение шага дискретизации эталонной системы и шага дискретизации гибридной модели объекта, возникающего при численном решении дифференциальных уравнений модели.

Задачей дальнейших исследований является использование приведенного выше описания эталонной и гибридной систем в одном из этапов разработки метода стабилизирующего управления гибридной системой. Начало разработки положено в [2, 3]. Также приоритетной задачей является исследование неизученных ранее свойств линеаризационного метода А. Исидори [2, 3], проявляющихся в гибридных системах (2).

Бібліографічний список

1. Барабанов А.Т. Линейные модели и оптимизация непрерывно-дискретных динамических систем / А.Т. Барабанов, Г.А. Агранович // Динамические системы: сб. науч. тр. — Симферополь, 1983. — № 2. — С. 17 – 24.
2. Шушляпин Е.А. Сравнительная характеристика двух методов управления нелинейными системами / Е.А. Шушляпин // Вестник СевГТУ: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — № 83. — С. 27 – 33.
3. Шушляпин Е.А. Управляемый разгон двигателя постоянного тока дискретным линеаризационным методом / Е.А. Шушляпин, Д.А. Токарев // Автоматика–2008: докл. XV междунар. конф. по автомат. управлению, г. Одесса, 23 – 26 сентября 2008 г. — Одесса, 2008. — С. 671 – 674.

Поступила в редакцию 25.03.2010 г.