

*Д.Ю. Муромцев*

## **КОНЦЕПЦИЯ ВИРТУАЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ И СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Эффективность функционирования систем оптимального управления (СОУ) в значительной степени зависит от достоверности исходной информации, точности используемых моделей динамики и быстродействия алгоритмов синтеза управляющих воздействий. Для расширения возможностей измерительных устройств, обеспечивающих системы управления необходимыми данными об объекте и внешней среде, в последние годы широкое применение находит концепция виртуальных, гибких или интеллектуальных датчиков [1, 2]. Виртуальные датчики (ВД) наряду с сенсорными операциями, для которых используются физические датчики, выполняют вычислительные процедуры, в том числе с применением методов искусственного интеллекта. Это позволяет получать необходимые сведения в тех ситуациях, когда важные измерения невозможно осуществить.

Применительно к СОУ наибольший интерес представляют два типа ВД. К первому типу относятся ВД, осуществляющие регистрацию изменения состояния функционирования СОУ [3]. Иногда датчики этого типа называют "инспекторами". Их основная задача обработать данные от физических датчиков, например, регистрирующих значения управляющих воздействий и выходных переменных, или других виртуальных датчиков, и выдать сигнал об изменении модели задачи оптимального управления (ЗОУ) или компонентов массива исходных данных.

Ко второму типу относятся ВД, которые выполняют функцию понижения размерности или "свертки" массива исходных данных, необходимого для решения ЗОУ. Эти датчики называют "обобщающими преобразователями", их выходом являются значения виртуальных переменных, применение которых позволяет существенно упростить вычислительные операции при решении задач анализа и синтеза оптимального управления.

Рассмотрим использование виртуальных датчиков на примере системы энергосберегающего управления (СЭУ) динамическим объектом. Математическая постановка ЗОУ имеет вид

$$\begin{aligned}
M: \quad & \dot{z} = Az(t) + Bu(t - \tau), \quad y(t) = Cz(t); \\
\Phi: \quad & J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(u(t)) dt \rightarrow \min_u; \\
C: \quad & u^*(\cdot) = (u^*(t), t \in [t_0, t_k]) \quad \text{или} \quad u^*(t) = s(z(t), t_k - t); \\
O: \quad & \forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in [u_n, u_b], \quad z(t_0) = z^0 \rightarrow z(t_k) = z^k;
\end{aligned} \tag{1}$$

или сокращенно обозначается кортежем

$$K = \langle M, \Phi, C, O \rangle, \tag{2}$$

здесь  $z, u, y$  – переменные состояния, управления и выхода объекта соответственно;  $A, B, C, \tau$  – матрицы параметров и время запаздывания;  $J$  – минимизируемый функционал;  $u^*(t)$  – оптимальная программа;  $s$  – синтезирующая функция;  $u_n, u_b$  – границы изменения управления;  $t_0, t_k$  – начальный и конечный моменты времени;  $M, \Phi, C, O$  – соответственно модель динамики объекта, функционал, стратегия управления и ограничения.

Для численного решения ЗОУ (1) задается массив исходных данных

$$R = (A, B, C, \tau, u_n, u_b, z^0, z^k, t_0, t_k). \tag{3}$$

Виртуальный датчик "Инспектор" обрабатывает измеряемые значения  $u(t), y(t), u_n, u_b$ , а также получаемую информацию о виде функционала  $J$ , стратегии управления  $C$  и ограничений  $(z^k, t_k)$ , и выдает сигнал о смене ситуации, определяемой моделью (2) и массивом (3). Таким образом, выходом датчика первого типа является двойка  $(K, R)$ .

Виртуальный датчик "Обобщающий преобразователь" сворачивает информацию, содержащуюся в массиве (3) в вектор синтезирующих или виртуальных переменных, размерность которого на порядок меньше размерности  $R$ , но при этом они однозначно определяют вид и параметры  $u^*(t)$ . Например, для модели  $\langle ДИ, Э, Пр, О \rangle$ , (модель – двойной интегратор, функционал – затраты энергии, стратегия – программная, ограничения – концы траектории  $z(\cdot)$  закреплены и временной интервал фиксирован) значения двух виртуальных переменных рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned}
L_1 &= \frac{4(z_2^k - z_2^0)}{b(u_b - u_n)(t_k - t_0)^2} - 2 \frac{u_b + u_n}{u_b - u_n}; \\
L_2 &= \frac{8(z_1^0 - z_1^k)}{ab(u_b - u_n)(t_k - t_0)^2} + \frac{8z_2^k}{b(u_b - u_n)(t_k - t_0)} - 2 \frac{u_b + u_n}{u_b - u_n}.
\end{aligned}$$

### **В СЛУЧАЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЗИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ПРОИЗВОДИТСЯ ДАЛЬНЕЙШЕЕ "СВЕРТЫВАНИЕ" ИНФОРМАЦИИ В ОДНУ ПЕРЕМЕННУЮ, ВХОДЯЩУЮ В СИНТЕЗИРУЮЩУЮ ФУНКЦИЮ.**

Развитие концепции ВД в направлении его интеллектуализации позволяет передать датчику часть функций, которые до настоящего времени выполняло управляющее устройство. К этим функциям можно отнести выработку сигналов о существовании ЗОУ, в виде зависимости  $u^*(t)$ , рекомендуемом значении времени  $t_k$  и др. Это позволит разгрузить управляющее устройство СЭУ для решения более сложных задач, например, определении наиболее целесообразной стратегии управления, учета в ЗОУ дополнительных ограничений, например, на лимит энергии, скорости изменения фазовых координат и др. В конечном счете, переход к новой структуре СЭУ увеличивает ее возможности в снижении энергозатрат и повышении качества выполнения целевых функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гудвин Г.К., Гребне С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 911 с.

2 Косов М.Г., Брюханов В.Н., Кузнецов А.С. Концепция виртуальной технологии в машиностроении // 4-й Междунар. конгр. "Конструк.-информат. 2000". М., 2000: КТН-2000: Тр. конгр. М., 2000. Т. 1. С. 298 – 299.

3 Муромцев Д.Ю., Кабанов А.А., Козлов А.И. Информационные технологии обновления процессов на предприятии // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2002. Т. 8. № 4. С. 583 – 591.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных

*и микропроцессорных систем"*