

М. Ю. Подобед, Д. С. Карпович,
(УО «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Беларусь)

А. Рассылкин
(Таллинский технический университет (TalTU),
г. Таллин, Эстония)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

При решении задач управления рассматривать объект в виде системы с сосредоточенными параметрами не всегда корректно. Параметры объекта (температура, влажность, концентрация и др.) под влиянием как внешних, так и внутренних факторов характеризуются пространственной протяжённостью как по площади, так и по высоте помещения, а управляемая величина зависит не только от времени, но и от распределённости по пространственной области.

Рассмотрим задачу автоматического управления температурой в химическом аппарате. Пространственное и временное распределение температурного поля $\theta(x,t)$, которое зависит от времени t и вектора пространственных координат x . В силу простоты реализации и большой распространённости рассмотрим вариант сосредоточенного управления путем граничного управления плотностью внешнего теплового потока.

Целью системы автоматического управления является получение с определенной точностью в некоторый конечный момент времени t заданное распределение температурного поля $\theta(x,t)$ в контрольных точках пространства помещения после воздействия внешнего возмущения или смены температурного режима.

Интеграция информации с n точек измерения в систему каскадного сосредоточенного управления. В теории управления распределёнными системами для этих целей предлагают использовать переходные ξ -блоки, преобразующие значения функции $\theta(x,t)$ в одной или n фиксированных точках и формирующие соответствующий сосредоточенный сигнал обратной связи. При нескольких точках измерения в качестве сосредоточенного выхода могут рассматриваться интегральные оценки функции состояния распределенной системы, например, среднее ее значение или соотношения, характеризующие реальный результат измерения функции состояния в окрестности точки расположения соответствующих датчиков.

На данный момент в системах управления применяется метод обработки сигналов обратных связей по нескольким каналам путем

усреднения значений. Системы с усреднением температуры имеют следующие преимущества по отношению к САУ с контролем температуры в одной точке аппарата (представление аппарата в качестве объекта со средоточенными параметрами):

1) Способны контролировать локальные изменения температур на конкретных точках;

2) Уменьшено влияние на показания температуры в аппарате от различных видов нагрузки (в сравнении с системами контроля температуры по вытяжному воздуху);

3) Частичная компенсация влияния запаздывания для аппаратов больших размеров;

Недостатками подобных систем являются:

1) Возможны такие режимы работы, при которых на части рабочих мест в аппарате возможен локальный недогрев, а на другой части – перегрев, в то время как усреднённое значение температуры останется в допустимом диапазоне;

2) При большом количестве установленных в аппарате датчиков температуры воздуха, чувствительность системы управления снижается.

Критический анализ систем управления с усреднением значений температур по нескольким каналам показал, что, несмотря на простоту, данный метод не всегда может адекватно оценивать распределённое температурное поле. Поэтому целесообразно предусмотреть селекцию сигналов обратных связей, которая могла бы решить следующий ряд задач:

1) Обеспечение непрерывного мониторинга температурного поля в аппарате;

2) Осуществление управления с учетом не только усреднённого значения температуры в аппарате, но и с учетом значений отклонений температур от среднего;

3) Реализация гибких правил усреднения в зависимости от параметров объекта;

4) Улучшение динамических характеристик системы;

5) Практическая реализация и простота.

Рассмотрим аппарат с четырьмя распределёнными по площади точками. На каждом рабочем месте установлено по одному датчику измерения температуры, которые формируют четыре выходных значения (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4).

В связи с большим количеством каналов измерения температуры и неопределенности правил селекции результирующего сигнала обратной связи, целесообразным видится возможность синтеза блока селекции функционирующего по гибким правилам нечеткой логики.

Реализация блока нечеткой селекции (БНС). В контур системы автоматического управления температурой встраивается блок нечеткой селекции (БНС), на вход которого подаются сигналы от датчиков температур на рабочих местах в помещении. Обработывая входные сигналы по нечеткому алгоритму, БНС формирует эквивалентный выходной сигнал обратной связи, который подается на вход регулятора температуры. БНС состоит из следующих основных элементов: блоки вычисления сигналов рассогласований по каждому каналу обратной связи, блока фазификации, блока агрегатирования, блока активации, блока аккумуляции, блока дефазификации.

В БНС вычисляются сигналы рассогласований ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$) между заданными (задание 1, задание 2, ... задание n) и действительными значениями температур (T_1, T_2, \dots, T_n) в точках для каждого канала обратной связи.

Вычисленные сигналы рассогласования для всех каналов обратных связей подвергаются фазификации (вычислению соответствия между численными значениями сигналов рассогласования и значением функций принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной). Далее, по заранее определенным правилам нечеткого вывода в БНС происходит процедура определения истинности каждого из правил нечеткого вывода (агрегатирование), и нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечеткого вывода (активация). На стадии аккумуляции происходит нахождение функции принадлежности для выходной лингвистической переменной “эквивалентный сигнал рассогласования”, которое преобразуется в четкий выходной сигнал (дефазификация) ($\varepsilon_{ЭКВ}$).

При первом приближении передаточную функцию в рассматриваемом помещении по каналу “температура агента – температура в аппарате” можно аппроксимировать в виде апериодического звена первого порядка с запаздыванием. Для системы управления с усреднением значения температуры общий выходной сигнал запишется:

$$Y = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4}$$

или в общем виде

$$Y = \frac{1}{n} \sum_1^n Y_n$$

Эквивалентная передаточная функция для системы с усреднением в общем виде запишется:

$$W_{ЭКВ} = \frac{1}{n} \sum_1^n W_n$$

Для системы управления с боком нечеткой селекции выходной сигнал в общем виде запишется:

$$Y = \frac{h_1 \cdot Y_1 + h_2 \cdot Y_2 + h_3 \cdot Y_3 + h_4 \cdot Y_4}{4}$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – весовые коэффициенты, формируемые БНС индивидуально для каждого сигнала обратной связи.

Эквивалентная передаточная функция для системы с БНС в общем виде запишется:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{n} \sum_1^n h_n W_n$$

В последней формуле весовой коэффициент h_n представляет собой числовой коэффициент, отображающий важность (значимость) n сигнала обратной связи в формировании эквивалентного сигнала $\varepsilon_{\text{ЭКВ}}$.

Выходной сигнал БНС является обобщенной характеристикой, усреднением значений температуры по рабочим местам в помещении.

При значениях входных сигналов рассогласований в БНС, для которых функция принадлежности $\mu=1$, значение эквивалентного сигнала рассогласования можно описать при помощи традиционной математики. После расчёта всех возможных комбинаций входных значений сигналов рассогласований в БНС можно сформировать перечень возможных значений эквивалентного сигнала рассогласования и соответствующих им термов. При наличии четырех значений входных в БНС сигналов рассогласования по каналам обратных связей, описываемых тремя термами “отрицательный”, “нормальный”, “положительный”, необходимо девять термов, чтобы описать всевозможные значения эквивалентного выходного сигнала рассогласования. По аналогии с входными сигналами рассогласований, целесообразно применить термы треугольной формы и аналогичные области изменения.

Самым простым принципом формирования правил нечеткого вывода эквивалентного рассогласования на основании “усреднения значений сигналов рассогласований в точках с $\mu=1$ ”. Такие системы автоматического управления позволяют существенно ускорить процесс перехода при смене температурных режимов в помещении с прекомфортный / нормальный, в сравнении с классическими системами с усреднением температуры.

Проанализируем поведение температур в точках измерения при смене режимов работы прекомфортный/нормальный. При смене режима начинают экспоненциально увеличиваться температуры во всех точках

помещения, спустя какое-то время в одной или нескольких точках значение функции принадлежности сигнала рассогласования к терму “нормальный” будет близко к 1. Для того, чтобы избавиться от колебаний температуры в данный момент, необходимо искусственно увеличить инерционность системы, путем смещения эквивалентного сигнала рассогласования до ближайшего меньшего терма. Для этого необходимо модифицировать правила нечеткого вывода, в которых один из сигналов рассогласования достигает “нормального” значения, а все остальные еще “отрицательный” или “положительный”. Система автоматического управления с БНС (без колебаний) позволяет снизить уровень перерегулирования практически до 0, сохранив при этом время переходного процесса на среднем уровне между системы с усреднением и системы с БНС ($\mu = 1$).

При приближении значения функции принадлежности одного сигнала рассогласования к терму “отрицательный” или “положительный”, в то время как значения функций принадлежности других сигналов рассогласований советуют терму “нормальный”, целесообразно сместить эквивалентный сигнал рассогласования до ближайшего большего или соответственно меньшего терма.

Так же применение БНС позволяет при помощи весовых коэффициентов увеличить или уменьшить значимость значений сигналов обратных связей от некоторых обратных связей.

Путем вариаций правил нечеткого вывода и изменений весовых коэффициентов для значений температуры в каждой точке помещения можно уменьшить, присущие системе с усреднением недостатки, и расширить функциональные возможности системе управления с большим количеством датчиков в канале обратной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеври Ф. Нечеткая логика / Ф. Шеври, Ф. Гели. – [б. м. : б. и.], 2009. – 32 с. – (Серия “Техническая коллекция Schneider Electric”; вып. 31).