

Алгоритм Сугэно

Алгоритм Сугэно (или Сугено) относится к числу методов, на основе которых можно построить системы интеллектуального управления, основанные на нечёткой логике. Он разработан совместно японскими учёными Сугэно и Такаги. Поэтому он носит также название алгоритма Такаги-Сугэно.

Отличие такого алгоритма от рассмотренного выше подхода, предложенного Мамдани, состоит в том, что *выходные величины определяются непосредственно через входные воздействия без использования функций принадлежности выходных величин.*

Зависимости выходных переменных от входных воздействий отражены в *локальных линейных моделях*, совокупность которых образует математическую модель нечёткого регулятора системы управления.

Особенность состоит в том, что полная нечёткая модель регулятора системы образуется в результате нечёткого объединения этих локальных линейных моделей.

Поэтому *база знаний* (база правил нечёткого вывода) в модели Сугэно является *гибридной*. Она содержит набор продукционных правил в следующей форме:

Правило 1: Если «Посылка 1-1» **и** «Посылка 1-2», то «Заключение 1»,

Правило 2: Если «Посылка 2-1» **и** «Посылка 2-2», то «Заключение 2»,

.....

Правило N: Если «Посылка N-1» **и** «Посылка N-2», то «Заключение N».

Общим в моделях Сугэно и Мамдани является то, что *посылки сформулированы с применением нечётких множеств*. Процедуры фаззификации входных переменных в алгоритмах Сугэно и Мамдани совпадают.

Но в алгоритме Сугэно в отличие от алгоритма Мамдани *не используются правила, содержащие в левых частях операции ИЛИ*.

При формировании базы знаний пространство входных переменных, влияющих на выходные величины, разделяется на несколько нечётких областей. В каждой из них заключения, определяющие выходные переменные, описывают с применением *линейных функций*, представляющих собой *линейные комбинации входных величин, умноженных на весовые коэффициенты*. Поэтому выходные переменные, формируемые с применением алгоритма Сугэно, являются не лингвистическими переменными, а *действительными числами*.

Границы областей являются размытыми. Поэтому одному и тому же набору значений входных переменных может соответствовать несколько функций, определяющих выходные переменные. Результат их совместного влияния на выходную переменную *зависит от степени активации правил*, и определяется функциями принадлежности термов лингвистических переменных, используемых в этих правилах.

Рассмотрим *пример 1*. Пусть в системе нечёткого управления выходная переменная z определяется двумя входными переменными x_1 и x_2 . В базе правил используются два терма A_1 , A_2 , лингвистической переменной x_1 и два терма B_1 , B_2 лингвистической переменной x_2 . База правил имеет вид

Правило 1:

ЕСЛИ « $x_1 = A_1$ » И « $x_2 = B_1$ », ТО $z_1 = b_{01} + b_{11}x_1 + b_{21}x_2$,

Правило 2:

ЕСЛИ « $x_1 = A_2$ » И « $x_2 = B_2$ », ТО $z_2 = b_{02} + b_{12}x_1 + b_{22}x_2$,

где $b_{01}, b_{11}, b_{21}, b_{02}, b_{12}, b_{22}$ – заданные экспертом коэффициенты многочленов.

Степени активации заключений (*степень истинности*) в нечётких правилах определяются функциями принадлежности $\mu_{A1}(x_1)$, $\mu_{A2}(x_1)$, $\mu_{B1}(x_2)$, $\mu_{B2}(x_2)$ входных переменных x_1 и x_2 . При этом в процедуре **активации** используется операция **MIN**. Таким образом, степень активации первого правила

$$a_1 = \text{MIN}[\mu_{A1}(x_1), \mu_{B1}(x_2)],$$

а степень активации второго правила

$$a_2 = \text{MIN}[\mu_{A2}(x_1), \mu_{B2}(x_2)].$$

Значение выходной переменной z может определяться в результате дефаззификации по методу взвешенного среднего. В этом случае используется формула

$$z = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2}{a_1 + a_2}.$$

В общем случае, когда для определения выходной переменной z используется n степеней активации a_1, a_2, \dots, a_n применяется формула

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i}.$$

Пример 2. Нечёткий регулятор системы управления формирует одну выходную переменную z на основании входной переменной x . Возможные значения величины x лежат в диапазоне $[0,1]$. Экспертом задана следующая нечёткая база знаний:

Правило 1: Если « $x = A$ », то $z_1 = 3x$;

Правило 2: Если « $x = B$ », то $z_2 = 3 - x$,

где A и B – термы лингвистической переменной, функции принадлежности которых описываются выражениями

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{0,18}\right),$$

$$\mu_B(x) = \exp\left(-\frac{(x-1)^2}{0,18}\right).$$

Выполним нечёткий логический вывод по методу Сугэно при значении входной переменной $x = 0,4$. Для этого значения имеем $z_1 = 3 \cdot 0,4 = 1,2$; $z_2 = 3 - 0,4 = 2,6$;

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{(0,4)^2}{0,18}\right) = 0,4111;$$

$$\mu_B(x) = \exp\left(-\frac{(0,4-1)^2}{0,18}\right) = 0,1353.$$

Степени активизации первого и второго правил:

$$a_1 = \mu_A(x) = 0,4111; \quad a_2 = \mu_B(x) = 0,1353.$$

Значение выходной переменной определяется в результате дефаззификации по методу взвешенного среднего по формуле

$$z = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2}{a_1 + a_2}.$$

$$z = \frac{0,4111 \cdot 1,2 + 0,1353 \cdot 2,6}{0,4111 + 0,1353} \approx 1,55.$$

Таким образом, входному воздействию $x = 0,4$ соответствует значение выходной переменной $z = 1,55$.

Одно из *преимуществ* метода Сугэно состоит в возможности получения *в явном виде зависимости «вход-выход»*, связывающей выходную переменную с входной для нечёткого регулятора. Для этого необходимо вычислить значения выходной переменной для различных значений входной величины и путём аппроксимации выявить и аналитически описать зависимость, связывающую выходную переменную с входной величиной. Как правило, такая зависимость будет нелинейной. В некоторых случаях знание такой зависимости, выявленной в ходе исследований с применением нечёткой логики, позволяет в дальнейшем упростить реализацию системы компьютерного управления уже без использования нечёткого регулятора, но с сохранением присущих ему свойств.