



Лекция №5
**Основные алгоритмы нечеткого
вывода**

Алгоритмы нечеткого вывода



Рассмотренные ранее этапы нечеткого вывода могут быть реализованы неоднозначным образом, поскольку включают в себя отдельные параметры, которые должны быть фиксированы или специфицированы.

Тем самым выбор конкретных вариантов параметров каждого из этапов определяет некоторый алгоритм, который в полном объеме реализует нечеткий вывод в системах правил нечетких продукций.

К настоящему времени предложено несколько алгоритмов нечеткого вывода:

- ✓ **Алгоритм Мамдани (Mamdani)**
- ✓ **Алгоритм Цукамото (Tsukamoto)**
- ✓ **Алгоритм Ларсена (Larsen)**
- ✓ **Алгоритм Сугено (Sugeno)**

Алгоритм Мамдани (Mamdani)



Алгоритм Мамдани является одним из первых, который нашел применение в системах нечеткого вывода.

Он был предложен в 1975 г. английским математиком Е. Мамдани (Ebrahim Mamdani) в качестве метода для управления паровым двигателем.

По своей сути этот алгоритм порождает рассмотренные выше этапы, поскольку в наибольшей степени соответствует их параметрам.

Алгоритм Мамдани (Mamdani)



Формально алгоритм Мамдани может быть определен следующим образом:

- **Формирование базы правил системы нечеткого вывода.**
- **Фаззификация входных переменных.** Каждому значению отдельной входной переменной ставится в соответствие значение функции принадлежности соответствующего ей термина входной лингвистической переменной – $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$, ..., $\mu_n(x)$, где $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$, ..., $\mu_n(x)$ – функции принадлежности для переменной x ;
- **Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций.** Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов.

Алгоритм Мамдани (Mamdani)



- **Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций.** Для сокращения времени вывода учитываются только активные правила нечетких продукций. Текущее значение функции соответствия выходной переменной (правые части правил) не может превышать истинности предпосылки (свойство импликации). Это позволяет построить из каждого из нечётких множеств новые множества, отсекая «верхушек» уровнями истинности μ .
- **Аккумуляция заключений нечетких правил продукций.** Осуществляется по формуле для объединения нечетких множеств, соответствующих термам подзаключений, относящихся к одним и тем же выходным лингвистическим переменным.
- **Дефаззификация выходных переменных.** Традиционно используется метод центра тяжести или метод центра площади.

Алгоритм Цукамото (Tsukamoto)



Алгоритм Цукамото применяют только для монотонных функций принадлежности выходного параметра, поэтому этот алгоритм не универсален. Первые шаги аналогичны шагам в алгоритме Мамдани, однако алгоритм Цукамото не предполагает наличия термина «среднее» для выходного универсума из-за возникающей немонотонности.

Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. Осуществляется аналогично алгоритму Мамдани, после чего находятся четкие значения всех выходных лингвистических переменных в каждом из подзаключений активных правил нечетких продукций. В этом случае значение выходной лингвистической переменной w_j в каждом из подзаключений находится как решение уравнения:

$$c_i = \mu(w_j) (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}),$$

где q — общее количество подзаключений в базе правил.

Алгоритм Цукамото (Tsukamoto)



Аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Фактически отсутствует, поскольку расчеты осуществляются с обычными действительными числами w_j .

Дефаззификация выходных переменных. Используется модифицированный вариант в форме метода центра тяжести для одноточечных множеств:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i},$$

где n — общее количество активных правил нечетких продукций, в подзаключениях которых присутствует выходная лингвистическая переменная w_j .

Алгоритм Сугено (Sugeno)



Алгоритм Сугено, предложенный Сугено и Такаги, применяется, когда известна не форма функции принадлежности выходного параметра, а весовые коэффициенты, через которые входные параметры влияют на результат.

В отличие от алгоритма Мамдани в алгоритме Сугено не используются правила, содержащие дизъюнкции в левых частях правил (при агрегировании для нахождения степеней истинности используется операция *min*-конъюнкции).

Индивидуальные результаты выполнения правил определяются с учетом весовых коэффициентов.

Алгоритм Сугено (Sugeno)



Дефаззификация выполняется аналогично данному этапу в алгоритме Цукамото.

Если для алгоритма Сугено неизвестны весовые коэффициенты, тогда экспериментально изменяют каждый входной параметр по отдельности, зафиксировав остальные, и изучают как изменяется выходной параметр. Таким образом, определяется интервал, в котором изменение выходного параметра можно аппроксимировать линейной зависимостью от входного параметра в пределах приемлемой погрешности. Этот i -ый интервал образует одно из подмножеств A_i параметра a . И так далее для остальных параметров.

Алгоритм Ларсена (Larsen)



Алгоритм Ларсена применяется в тех же случаях, что и алгоритм Мамдани.

В алгоритме Ларсена нечеткая импликация моделируется с использованием оператора умножения.

В ряде случаев оказывается точнее алгоритма Мамдани (при немонотонных входных нечётких множествах), но требует больше операций умножения.

Фаззификация выполняется аналогично алгоритму Мамдани.

Алгебраическое понижение значности частных выходных нечётких множеств путём умножения каждого из них на уровни отсечения μ . В результате образуются уменьшенные копии частных выходных нечётких множеств.

Остальные этапы выполняются аналогично алгоритму Мамдани.