

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАНГА ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

М.И. Гвоздик, кандидат технических наук, профессор;

Ф.А. Абдулалиев, кандидат технических наук;

А.Г. Шилов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрен вопрос использования нечеткого вывода Мамдани для определения ранга, учитывающего многофакторный характер поступающих данных.

Ключевые слова: ранг пожара, нечеткий вывод Мамдани, тушение пожара, количество параметров, база правил

SOFTWARE SYSTEM TO DETERMINE THE GRADE OF THE FIRE USING FUZZY LOGIC

M.I. Gvozdik; F.A. Abdulaliev; A.G. Shilov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The paper discusses the use of fuzzy inference Mamdani to determine the grade, taking into account the multifactorial nature of the incoming data.

Keywords: grade of fire, fuzzy inference Mamdani, firefighting, number of parameters, the rule base

Важным этапом при реагировании на сообщение о пожаре является правильное определение ранга пожара, что позволяет установить необходимые силы и средства для ликвидации горения.

При определении ранга пожара учитывается множество факторов, характеризующих обстановку на объекте пожара [1].

Факторами, влияющими на определение ранга пожара, то есть количество сил и средств, привлекаемых к тушению пожара на данных объектах, являются:

- присутствие людей на объекте на момент пожара;
- класс функциональной пожарной опасности здания;
- степень огнестойкости здания;
- этажность здания (малоэтажные, многоэтажные, здания повышенной этажности и высотные);
- характеристики (предел огнестойкости) несущих конструкций;
- площадь проемов в ограждающих конструкциях помещений;
- внутренняя планировка здания (секционная или коридорная);
- характеристика отделочных материалов;
- вид систем вентиляции;
- наличие системы дымоудаления;
- этаж, на котором произошел пожар;
- площадь пожара;
- пожарная нагрузка.

Все перечисленные факторы: наличие людей, функциональная пожарная опасность, степень огнестойкости, этажность и другие являются оперативными тактическими характеристиками здания и влияют только на отдельные стороны развития и тушения пожаров. Задача же руководителя тушения пожара состоит в том, чтобы обобщить все полученные данные, выявить особенности развития пожара в здании и разработать наиболее эффективные способы и приемы тушения пожара. На основании данного заключения определить необходимое количество сил и средств и определить боевую задачу подразделениям.

Ранг пожара зависит от множества параметров Q:

$$R = F(Q), Q = \{E_p, Ch, So, Ez, Pl, Nb, Nd, Nm, Tr\}, \quad (1)$$

где E_p – этаж, на котором произошел пожар; Ch – наличие людей в помещении; So – степень огнестойкости здания (So от 1 до 5); Ez – количество этажей в здании (этажность объекта); Pl – планировка здания (секционная или коридорная); Nb – наличие систем вентиляции; Nd – наличие системы дымоудаления; Nm – наличие пожарной сигнализации, автоматики; Tr – тип перекрытий (деревянные или железобетонные).

Количество параметров в выражении (1) может меняться в зависимости от объекта (например, могут добавляться сведения о работе пожарной автоматики) и от мнения эксперта. Следовательно, выражение (1) будет иметь вид:

$$R = F(Q_1, Q_2, \dots, Q_m),$$

где Q_i – параметр, влияющий на определение ранга пожара; m – количество параметров, влияющих на определение ранга пожара.

Тогда количество и состав применяемых при тушении пожара сил и средств является функцией от ранга вида:

$$S = F(R),$$

где S – вектор со следующей структурой:

$$S = (S_{i1}, K_i, S_{i2}, K_{i2}, S_{in}, K_n),$$

в котором S_{i1} – определенный вид пожарной техники, средств тушения; K_i – количество специальной пожарной техники, n – число видов технических средств.

Для определения ранга пожара в жилых и административных зданиях использован математический аппарат системы нечеткого вывода Мамдани.

Построение модели включает следующие действия:

1. Задание совокупности значений ранга пожара:

$$R = \{R_1, \dots, R_j, \dots, R\},$$

где j – количество рангов пожара.

2. Определение совокупности параметров, влияющих на установление ранга пожара:

$$Q = \{Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_m\},$$

где m – число параметров.

3. Построение функции принадлежности ранга пожара R_{ij} для каждого из параметров, характеризующих ранг пожара, где i – номер рассматриваемого параметра, j – ранг пожара.

Наиболее удобной формой функции принадлежности для данной задачи является трапеция. Горизонтальная часть (верхнее основание) трапеции характеризует стопроцентную принадлежность рангу пожара по i параметру, а наклонные части (ребра) трапеции характеризуют степень принадлежности к двум смежным рангам пожара с различной возможностью.

4. Установление каждому параметру весового коэффициента α , пропорционального степени влияния данного параметра на ранг пожара.

5. Задание решающего правила классификации, позволяющего установить меру принадлежности рангу пожара.

В качестве решающего правила предложено использовать алгебраическую сумму функций принадлежности по всем параметрам. Для учета вклада каждого параметра функция μ умножается на вес α . Тогда правило классификации имеет вид:

$$\arg(R_j) = \sum_{i=1}^m \alpha_i * \mu_{ij} \quad (2)$$

6. Решение задачи определения ранга пожара.

Для каждого ранга, находятся значения функций принадлежности всех параметров.

С учетом линейности трапецевидной формы функция μ_{ij} определяется следующим образом:

$$\mu_{ij} = \frac{q - q_{in}}{q_{ik} - q_{in}} * (\mu_{ik} - \mu_{in}) + \mu_{in}$$

Здесь q_{in} , μ_{in} , q_{ik} – начальные и конечные значения параметра Q_i и функции μ_{ij} для j интервала. На границах интервала функция принимает значения «0» либо «1». Отсюда, разность $\mu_{ik} - \mu_{in}$ принимает следующие значения:

$$\mu_{ik} - \mu_{in} = \begin{cases} 0 & \text{— для горизонтальной части трапеции} \\ +1 & \text{— для левой части трапеции} \\ -1 & \text{— для правой части трапеции} \end{cases}$$

7. Вычисляются суммарные значения оценок всех параметров, для каждого ранга, согласно (2). После сравнения полученных значений $\arg(R_j)$ находится максимум:

$$\arg(R_j) \rightarrow \max$$

на основании чего делается вывод о принадлежности совокупности признаков к определенному рангу R_j .

8. На основании полученных результатов при необходимости производится соответствующая корректировка весовых коэффициентов и шкалы функций принадлежности с целью того, чтобы добиться наибольшего совпадения расчетных значений ранга пожара с реальными.

Далее в работе приводится пример расчета ранга пожара с использованием системы нечеткого вывода Мамдани.

На вход поступают количественные значения, на выходе они же. На промежуточных этапах используется аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. В этом и состоит элегантность использования нечетких систем. Можно манипулировать привычными числовыми данными, но при этом использовать гибкие возможности, которые предоставляют системы нечеткого вывода [2] (рис. 1).

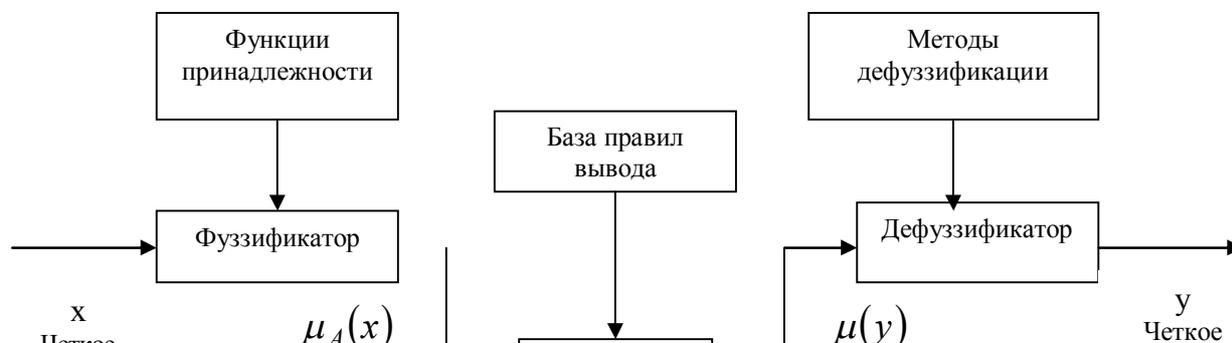


Рис. 1. Структура нечеткой системы

Алгоритм Мамдани включает в себя все этапы нечеткого вывода и использует базу правил в качестве входных данных. Также алгоритм предполагает использование «активизированных» нечетких множеств и их объединений. При этом каждый последующий этап получает на вход значения, полученные на предыдущем шаге. Таким образом, основными этапами нечеткого вывода являются:

1. Формирование базы правил системы нечеткого вывода.

База правил – это множество правил, где каждому подзаключению сопоставлен определенный весовой коэффициент [3, 4] (рис. 2).

База правил может иметь следующий вид:

Правило 1: ЕСЛИ «Условие 1» ТО «Закключение 1» (F_1);

Правило 2: ЕСЛИ «Условие 1» И «Условие 2» ТО «Закключение 2» (F_2);

...

Правило n : ЕСЛИ «Условие k » И «Условие $(k+1)$ » ТО «Закключение q » (F_q),

где F_i – весовые коэффициенты, означающие степень уверенности в истинности получаемого подзаклучения ($i=1...q$). Лингвистические переменные, присутствующие в условиях, называются входными, а в заключениях – выходными; n – число правил нечетких продукций; m – количество входных переменных; s – количество выходных переменных; k – общее число подусловий в базе правил; q – общее число подзаклучений в базе правил.

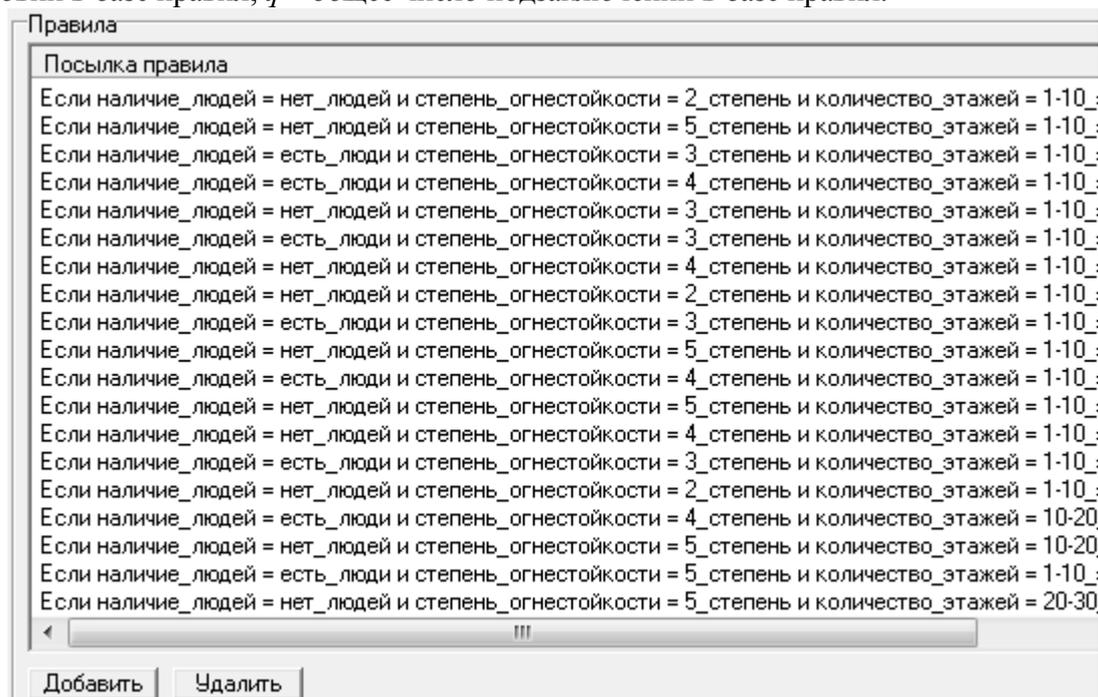


Рис. 2. Фрагмент базы правил

2. Фаззификация входных переменных (рис. 3).

Этот этап часто называют приведением к нечеткости [5]. На вход поступают сформированная база правил и массив входных данных $A=\{a_1, \dots, a_m\}$. В этом массиве содержатся значения всех входных переменных. Целью этого этапа является получение значений истинности для всех подусловий из базы правил. Это происходит так: для каждого из подусловий находится значение $b_i=\mu(a_i)$. Таким образом, получается множество значений $b_i (i = 1\dots k)$.

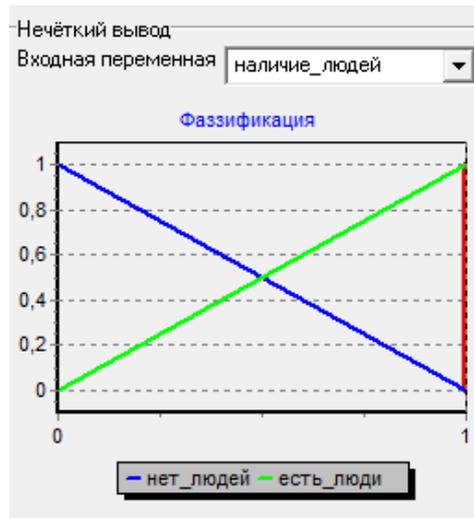


Рис. 3. Пример фаззификации

3. Агрегирование подусловий (рис. 4).

Как уже упоминалось выше, условие правила может быть составным, то есть включать подусловия, связанные между собой при помощи логической операции «И». Целью этого этапа является определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода. Упрощенно говоря, для каждого условия находим минимальное значение истинности всех его подусловий [5]. Формально это выглядит так:

$$c_j = \min\{b_i\},$$

где $j=1\dots n$; i – число из множества номеров подусловий, в которых участвует j входная переменная.

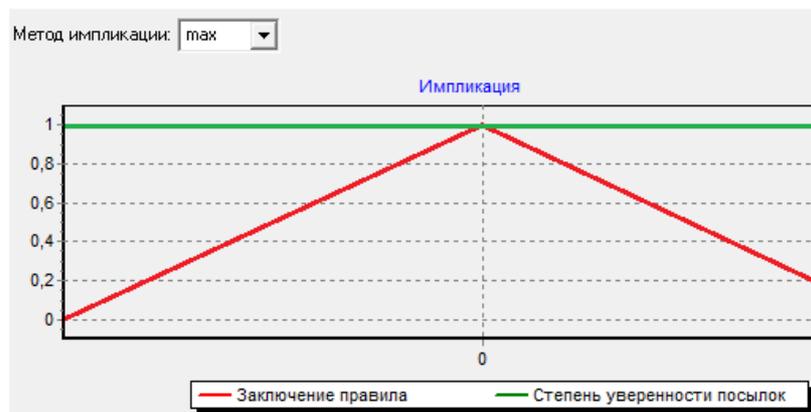


Рис. 4. Пример агрегирования

4. Активизация (аккумуляция) подзаключений (рис. 5).

На этом этапе происходит переход от условий к подзаключениям [3, 5]. Для каждого подзаключения находится степень истинности:

$$d_i = c_i * F_i,$$

где $i=1...q$.

Затем, для каждого i подзаключения сопоставляется множество D_i с новой функцией принадлежности. Ее значение определяется как минимум из d_i и значения функции принадлежности терма из подзаключения. Этот метод называется *min*-активизацией, который формально записывается следующим образом:

$$\mu'_i(x) = \min \{d_i, \mu_i(x)\},$$

где $\mu'_i(x)$ – «активизированная» функция принадлежности; $\mu_i(x)$ – функция принадлежности терма; d_i – степень истинности i подзаключения.

Цель активизации – получение совокупности «активизированных» нечетких множеств D_i для каждого из подзаключений в базе правил ($i=1...q$).

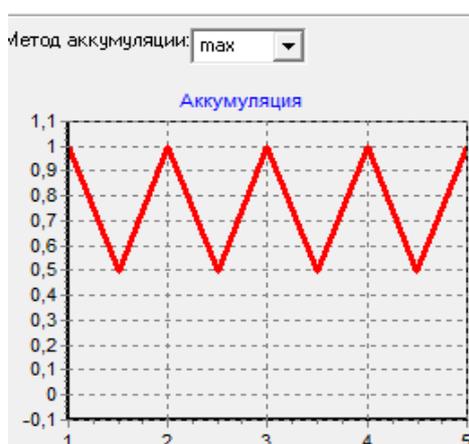


Рис. 5. Пример аккумуляции

5. Аккумуляция заключений (рис. 6).

Целью этого этапа является получение нечеткого множества (или их объединения) для каждой из выходных переменных [3], [5]. Выполняется он следующим образом: i выходной переменной сопоставляется объединение множеств $E_i = \cup D_j$, где j – номера подзаключений, в которых участвует i выходная переменная ($i=1...s$). Объединением двух нечетких множеств является третье нечеткое множество со следующей функцией принадлежности:

$$\mu'_i(x) = \max \{\mu_1(x), \mu_2(x)\},$$

где $\mu_1(x), \mu_2(x)$ – функции принадлежности объединяемых множеств.

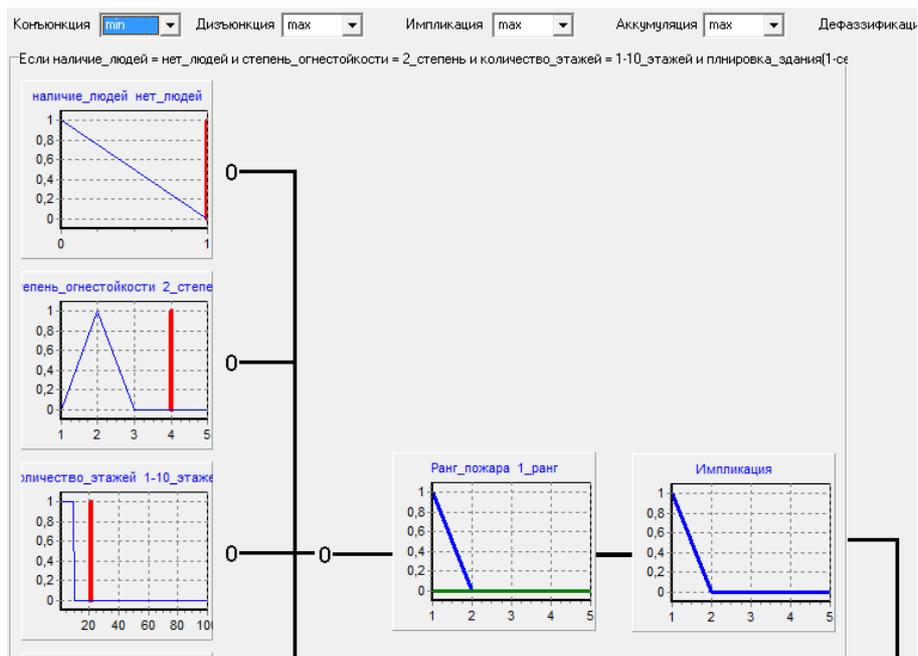


Рис. 6. Фрагмент вывода по Мамдани

6. Дефаззификация выходных переменных (рис. 7).

Цель дефаззификации – получить количественное (четкое) значение для каждой из выходных лингвистических переменных. Формально это происходит следующим образом: рассматривается i -я выходная переменная и относящееся к ней множество $E_i (i=1 \dots s)$, затем при помощи метода дефаззификации находится итоговое количественное значение выходной переменной. В данной реализации алгоритма используется метод центра тяжести, в котором значение i -ой выходной переменной рассчитывается по формуле:

$$y_i = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu_i(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu_i(x) dx},$$

где $\mu_i(x)$ – функция принадлежности соответствующего нечеткого множества E_i ; Min и Max – границы универсума нечетких переменных; y_i – результат дефаззификации.

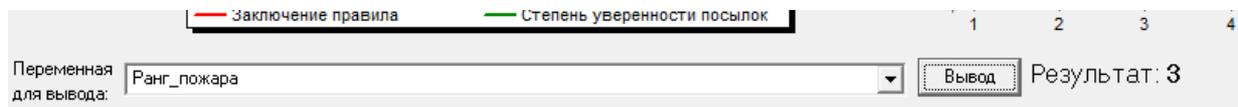


Рис. 7. Результат дефаззификации

На основе анализа можно сделать вывод, что для задачи определения ранга пожара целесообразно использовать аппарат нечетких множеств и нечеткого вывода по Мамдани.

В работе представлен рабочий алгоритм определения ранга пожара при помощи метода нечеткого вывода Мамдани.

Таким образом, исследование показало, что для решения задачи определения ранга пожара целесообразно использовать аппарат нечетких множеств и нечеткого вывода по Мамдани, что позволит руководителю тушения пожара с учетом полученных данных выявить особенности развития пожара в здании с последующей разработкой (выработкой) наиболее эффективных способов и приемов тушения пожара.

Литература

1. Тетерин И.М., Климовцов В.М., Прус Ю.В. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2008. № 5.
2. Харитонов Е.В. Графы и сети: учеб. пособие. Ульяновск: Ульяновск. гос. тех. ун-т, 2006. 92 с.
3. Снитюк В.Е., Джулай А.Н. Эволюционный метод определения кратчайшего пути проезда пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска // XII International Conference Knowledge-Dialogue-Solution, June 20–25, Varna (Bulgaria), 2006.
4. Требнев В.В. Справочник руководителя пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: ПожКнига, 2004. 256 с.
5. Рутиковская Д., Пилиньский М., Рутиковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая Линия–Телеком, 2006. 452 с.