

## Исследование способов построения систем нечеткого управления и алгоритмов их функционирования

**1. Цель работы:** исследовать способы построения систем нечеткой обработки данных, построенные на основе составных продукционных правил, при управлении процессами.

### 2. Теоретическое введение

#### 2.1. Применение нечётких множеств и составных нечётких продукционных правил в задачах управления системами

Модели статических и динамических систем, построение, использование и анализ которых базируется на положениях теории нечётких множеств и нечёткой логики, называют *нечёткими моделями*. Нечёткие продукционные модели являются наиболее общим видом нечётких моделей, используемых для описания, анализа и моделирования сложных слабо формализуемых систем и процессов.

*Системы нечеткого управления* – это системы, основанные на правилах логического вывода. Правила, называемые нечеткими правилами, определяют механизм управления процессом функционирования системы. На рисунке 1 изображена схема организации системы управления на нечеткой логике, который включает в себя четыре основных компонента: интерфейс фаззификации (введения нечеткости для используемых при управлении параметров), база знаний, содержащая продукционные правила (составные продукционные правила), механизм логического вывода и интерфейс дефаззификации (восстановления четкости– определения четких значений для управляемых параметров). Приведенная на Рис. 1 функциональная схема системы нечеткой обработки данных при реализации управления динамическими процессами, реализуется в составе контроллера управления на нечеткой логике.



Рисунок 1 –Функциональная схема системы нечеткого управления

Результат вычислений контроллера на нечеткой логике согласно рисунку 1 используется для настройки параметров системы (управления системой) в соответствии с некоторой встроенной программой, действия которой основаны на анализе ее состояния (анализе значений входных параметров). Данный механизм управления является адаптивным. Создание контроллера нечеткого управления обеспечивает замену опытного оператора нечеткой системой, основанной на продукционных правилах нечеткой логики.

Под *нечёткой продукционной моделью* понимается согласованное множество отдельных нечётких продукционных правил вида:

$$\text{ЕСЛИ } x=A \text{ И } y=B, \text{ ТО } z=C;$$

(где  $x=A$ ,  $y=B$  и  $z=C$  – предпосылки и заключение данного правила в виде нечётких высказываний,  $x$ ,  $y$  и  $z$ – лингвистические переменные,  $A$ ,  $B$  и  $C$ – соответствующие значения этих лингвистических переменных). Данные модели предназначены для определения степени истинности заключений нечётких продукционных правил на основе предпосылок с известной степенью истинности исходных правил. Результатом работы с продукционными моделями (нечёткими правилами) являются конкретные числовые значения управляющих воздействий.

Для построения системы нечеткого управления необходимо определить способы формирования составляющих ее компонент:

- процедуру введения нечёткости (фаззификация);
- базу нечётких продукционных правил;
- способ (схему) нечёткого вывода заключений;
- процедуру агрегирования степени истинности предпосылок по каждому из нечётких продукционных правил;
- процедуру активизации заключений каждого из нечётких продукционных правил (формирования нечеткого значения выходной переменной по каждому из нечетких правил);
- процедуру аккумуляирования активизированных заключений всех нечётких продукционных правил для каждой выходной переменной;

- процедуру приведения к чёткости для каждой аккумулярованной выходной переменной (дефазификация);

## 2.2. Процедура фазификации входных параметров системы (введение нечёткости для анализируемых системой параметров управляемых процессов)

При введении нечёткости в модель, использующую составные нечёткие продукционные правила, предполагается:

- 1) определение параметров, используемых при построении нечетких продукционных моделей управления процессами (параметров, которые являются входными в модель, значения которых анализируются, и параметров, являющихся выходными для модели (управляемых параметров), значения которых формируются), каждый из определенных таким образом параметров является лингвистической переменной, которой присваивается соответствующее имя;
- 2) для каждого из параметров (лингвистических переменных) определяются их значения–термы (т.е. для каждой лингвистической переменной формируется ее множество лингвистических значений–термов), эти значения–термы используются в составных правилах нечеткого вывода;
- 3) каждому значению лингвистической переменной, соответствующей входному либо выходному параметру системы, ставится в соответствие нечеткое множество  $A_{ij}$  ( $i$ -е значение  $j$ -й лингвистической переменной  $x_j$ )–значение нечеткой переменной, которое используется при реализации процедуры нечеткого вывода для построения результирующего нечеткого значения соответствующего выходного параметра (для построения заключения на основе совокупности составных продукционных правил нечеткого вывода).

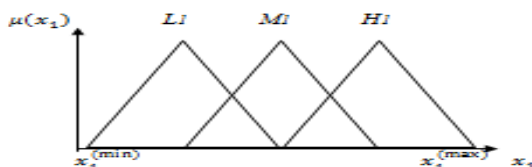
Таким образом, под процедурой фазификации параметров управляемого процесса (входных и выходных параметров управляемого процесса) понимается процедура сопоставления нечётких множеств  $A_{ij}$  (значений нечетких переменных) значениям-термам лингвистических переменных, соответствующих входным и выходным параметрам  $x_j$ , для всех предпосылок и заключений всех нечётких продукционных правил.

Этап фазификации заключается в разбиении интервалов значений входных и выходных переменных на пересекающиеся подинтервалы и сопоставление с этими подинтервалами нечетких множеств (соответствующих функций принадлежности, задаваемыми (L-R)-числами). Полученные значения (L-R)-чисел (нечеткие значения) соответствуют значениям лингвистических переменных. Пусть известны минимальные и максимальные значения каждой переменной:

$$x_1 \in [x_1^{(\min)}, x_1^{(\max)}], x_2 \in [x_2^{(\min)}, x_2^{(\max)}], x_3 \in [x_3^{(\min)}, x_3^{(\max)}], y \in [y^{(\min)}, y^{(\max)}].$$

Выполним разбиение областей определений этих переменных на пересекающиеся подинтервалы. Причём число этих подинтервалов, а так же длина для каждой переменной подбираются индивидуально. На рисунке 2 показан пример такого разбиения при условии, что число подинтервалов для  $x_1 \in [x_1^{(\min)}, x_1^{(\max)}]$ ,  $x_2 \in [x_2^{(\min)}, x_2^{(\max)}]$ ,  $x_3 \in [x_3^{(\min)}, x_3^{(\max)}]$  и  $y \in [y^{(\min)}, y^{(\max)}]$  равно трём. (таким образом, для каждого из параметров (управляющих и управляемого) должно быть задано по три значения соответствующих им лингвистических переменных). Для каждого подинтервала значений параметров (значения–терма лингвистической переменной) задана функция принадлежности, например треугольной формы с вершиной в его (отрезка) центре.

Для входных параметров  $x_1$ ,  $x_2$  и выходного параметра  $y$  определены соответствующие лингвистические переменные и терм множества их значений (низкое-Low, среднее-Middle, высокое-Hight), функция принадлежности соответствующих нечетких множеств подбирается таким образом, чтобы она перекрывалась на уровне от 0,1 до 0,5. Следует отметить, что как вид функции принадлежности, так и способ разбиения пространств входных и выходных переменных могут быть иными.



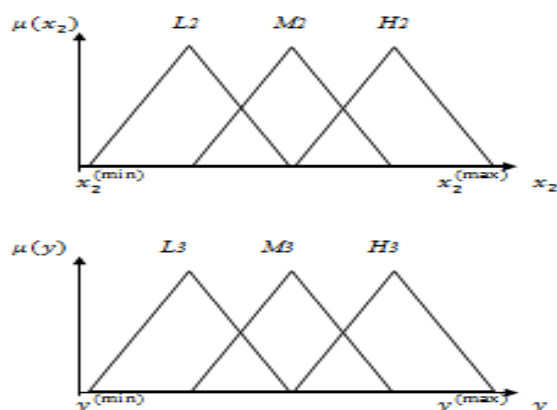


Рисунок 2 – Пример разделения пространств входных параметров  $x_1$ ,  $x_2$  и выходной переменной  $y$ .

Для задания форм треугольных (L-R)-чисел (видов функций принадлежности нечетких множеств), соответствующих лингвистическим значениям, используются следующие выражения:

- для треугольной формы:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c; \\ 0, & c \leq x; \end{cases}$$

где  $a$ – левая граница подинтервала значений переменной  $x$ ,  $b$ – середина подинтервала,  $c$ – правая граница подинтервала значений переменной  $x$ ;

- для трапецевидной формы:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b; \\ 1, & b < x \leq c; \\ \frac{c-x}{c-b}, & c < x < d; \\ 0, & d \leq x; \end{cases}$$

где  $a$ – левая граница рассматриваемого подинтервала,  $b$ – значение аргумента  $x$ , для которого функция принадлежности принимает единично значение,  $c$ – значение аргумента  $x$  – правая граница подинтервала, в котором функция принадлежности имеет единичное значение,  $d$ – правая граница всего подинтервала.

В рассматриваемых в лабораторных работах случаях используется треугольная, трапецевидная и колоколообразная формы представления нечетких значений, соответствующих значениям-термам лингвистических переменных.

### 2.3. Формирование базы составных нечётких продукционных правил

При формировании простых нечётких высказываний в предпосылках и заключениях нечётких продукционных правил должны быть заданы значения соответствующих лингвистических переменных.

При построении базы нечетких правил используется подход, предполагающий генерацию множества правил, исходя из возможных сочетаний нечётких высказываний в предпосылках и заключениях правил, в соответствии с которым максимальное их (правил) количество в базе определяется соотношением:

$$n = l_1 \times l_2 \dots l_m \times l_y,$$

где  $l_1, l_2, \dots, l_m$  – число значений лингвистических переменных  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ;  $l_y$  – количество значений выходной лингвистической переменной  $y$ . В этом случае

Общий вид правил:

$$\begin{aligned} P_1: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{12} \text{ ТО } y \text{ есть } B_1; \\ P_2: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{21} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{22} \text{ ТО } y \text{ есть } B_2; \\ & \dots \\ P_n: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{n1} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{n2} \text{ ТО } y \text{ есть } B_n; \end{aligned}$$

Например, для двух входных лингвистических переменных (у каждой из них по три значения) и для одной выходной лингвистической переменной (у которой также три значения) число правил в базе правил равно 18, а сама база правил имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} P_1: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть L И } x_2 \text{ есть L ТО } y \text{ есть L}; \\ P_2: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть L И } x_2 \text{ есть M ТО } y \text{ есть L}; \\ & \dots \\ P_{18}: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть H И } x_2 \text{ есть H ТО } y \text{ есть H}; \end{aligned}$$

Другой подход к формированию начальной базы правил основан на анализе статистических данных по реализации управляемого процесса. В этом случае каждому примеру из выборки ставится в соответствие отдельное правило. Для этого для каждого примера  $(x_1, x_2, y_k)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , определяются степени принадлежности заданных значений переменных к соответствующим нечётким множествам (см. рис. 2). После этого каждому примеру ставятся в соответствие те нечёткие множества, степени принадлежности к которым у соответствующих значений переменных из этого примера являются максимальными. В рассмотренном выше примере  $x_1$  ставится в соответствие нечёткое множество  $M_1$ ,  $x_2$  –  $M_2$ ,  $y$  –  $L_y$ .

Таким образом, примеру  $(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$  из обучающей выборки ставится в соответствие следующее правило:

$$\text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } M_1 \text{ И } \dots \text{ И } x_n \text{ есть } M_n, \text{ ТО } y \text{ есть } M_y.$$

Сформированное множество правил составляет начальную базу нечётких правил. Следует отметить, что использование первого подхода при формировании начальной базы правил целесообразно при небольшом числе переменных и функций принадлежности, используемых для задания этих переменных. Вторым подход необходимо использовать при сравнительно небольшом количестве примеров.

Как в предпосылках, так и в заключениях нечётких продукционных правил составные нечёткие высказывания образуются из простых, для комбинирования которых используются нечёткие логические операции конъюнкции «И» и дизъюнкции «ИЛИ».

При определении агрегированной степени истинности по всем предпосылкам каждого правила с использованием связок «И» и «ИЛИ» используют операции min-конъюнкции и max-дизъюнкции. Конъюнктивная форма предпосылки (с использованием только нечётких логических операций «И») является наиболее общим видом предпосылки.

Вид правил, в которых в качестве связки между предпосылками использована min-конъюнкция «И»:

$$\begin{aligned} P_1: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{12} \text{ ТО } y \text{ есть } B_1; \\ P_2: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{21} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{22} \text{ ТО } y \text{ есть } B_2; \\ & \dots \\ P_n: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{n1} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{n2} \text{ ТО } y \text{ есть } B_n; \end{aligned}$$

Если в качестве связки между предпосылками в составных правилах используется операция «ИЛИ» (операция max-дизъюнкции для связывания предпосылок), то вид правил следующий:

$$\begin{aligned} P_1: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ ИЛИ } x_2 \text{ есть } A_{12} \text{ ТО } y \text{ есть } B_1; \\ P_2: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{21} \text{ ИЛИ } x_2 \text{ есть } A_{22} \text{ ТО } y \text{ есть } B_2; \\ & \dots \\ P_n: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{n1} \text{ ИЛИ } x_2 \text{ есть } A_{n2} \text{ ТО } y \text{ есть } B_n; \end{aligned}$$

Полученный начальный вид базы нечетких правил может быть оптимизирован. Для этого необходимо оценить и обеспечить полноту использования нечетких правил для управления процессом, непротиворечивость нечетких правил, по возможности, устранить корреляции между отдельными нечёткими правилами в базе. В рамках лабораторной работы вопросы оптимизации базы нечетких правил не рассматриваются.

## 2.4. Процедура дефаззификации (приведение к чёткости)

Процедура заключается в преобразовании нечётких значений найденных выходных переменных в чёткие. При этом все методы получения чёткого значения выходной переменной можно разделить по две группы:

- методы дефазификации аккумулярованной на предыдущем этапе (из активизированных заключений всех правил базы) выходной переменной;
- методы дефазификации выходной переменной без предварительного аккумуляирования активизированных заключений отдельных правил.

Для первого из рассмотренных методов способом реализации дефазификации является метод «центра тяжести». Метод «*центра тяжести*» может быть использован для моделей, основанных на нечётких лингвистических продукционных правилах, в которых следствия являются нечёткими высказываниями. Чёткое значение  $y'$  выходной переменной рассчитывается как центр тяжести функции принадлежности  $\mu_{B'}(y_r)$  и вычисляется по формуле:

$$y_{\text{четк}} = \frac{\sum_{r=1}^m y_r \mu_{B'}(y_r)}{\sum_{r=1}^m \mu_{B'}(y_r)};$$

где  $r=1$ – индекс, соответствующий левой границе интервала изменения выходного параметра  $y$ ,  $r=m$  – соответствующий правой границе интервала изменения выходной переменной.

## 2.5. Механизмы нечёткого вывода

Совокупность отдельных реализаций описанных выше компонентов нечёткой продукционной модели определяет механизм нечёткого вывода. Далее рассматриваются методы нечеткого вывода Мамдани и Ларсена. Рассмотрим реализацию нечёткого вывода на основе алгоритма Мамдани для базы составных продукционных правил следующего вида:

$$\begin{aligned} \text{П}_1: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{12} \text{ ТО } y=B_1; \\ \text{П}_2: & \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{21} \text{ И } x_2 \text{ есть } A_{22} \text{ ТО } y=B_2; \end{aligned}$$

где  $x_1$  и  $x_2$  — имена входных лингвистических переменных(соответствующих входным параметрам),  $y$  — имя выходной лингвистической переменной (при дефазификации будет получено четкое значение соответствующего выходного параметра),  $A_{11}, A_{21}, A_{12}, A_{22}, B_1, B_2$  — заданные значения-термы лингвистических переменных (им соответствуют значения нечетких переменных – нечеткие множества с заданными функциями принадлежности). Для реализации принятия решения на основе приведенной базы правил задаваемыми являются четкие значения входных параметров  $x_{10}$  и  $x_{20}$ , необходимо определить четкое значение  $y_0$  выходного параметра  $y$ .

Нечеткий логический вывод включает следующие этапы:

1. **Введение нечеткости**– находятся степени истинности для предпосылок каждого правила: )  $A_{11}(x_{10}), A_{21}(x_{10}), A_{12}(x_{20}), A_{22}(x_{20})$ ;
2. **Логический вывод**– находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил (с использованием операции *min*):

$$\alpha_1 = \mu_{A_{11}}(x_{10}) \cap \mu_{A_{12}}(x_{20});$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_{21}}(x_{10}) \cap \mu_{A_{22}}(x_{20});$$

где через  $\cap$  обозначена операция логического *min*; реализация приведенных действий соответствуют операции агрегации степени истинности предпосылок правил, в результате данной процедуры определяются агрегированная степень истинности по всем предпосылкам каждого правила  $\alpha_i$  (при  $i=1,2$ , где  $i$  – число правил в их базе). Затем в ходе логического вывода определяются «усеченные» функции принадлежности для выходного параметра  $y$ :

$$B'_1 = (\alpha_1 \cap \mu_{B_1}(y)) = \min(\alpha_1, \mu_{B_1}(y));$$

$$B'_2 = (\alpha_2 \cap \mu_{B_2}(y)) = \min(\alpha_2, \mu_{B_2}(y)).$$

В результате будут получены виды функций принадлежности выходных значений для каждого из правил. Реализация приведенных действий соответствует операции активизации заключений правил.

3. **Композиция.** Производится объединение найденных «усеченных» функций с использованием операции *max* (обозначенная далее как  $\cup$ ), что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной выхода. Определение функции принадлежности выполняется в соответствии со следующим выражением:

$$\mu_{B'}(y) = B'_1(y) \cup B'_2(y) = (\alpha_1 \cap \mu_{B_1}(y)) \cup (\alpha_2 \cap \mu_{B_2}(y)).$$

4. **Приведение к четкости.** Проводится для нахождения четкого значения  $y_0$ , например, методом центра тяжести.

На рисунке 3 приведена графическая реализация выполнения алгоритма нечеткого вывода Мамдани:

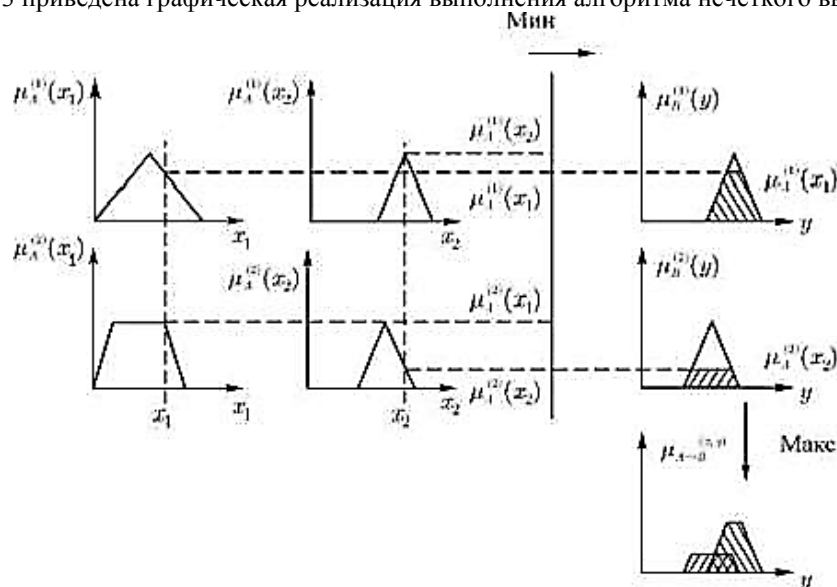


Рисунок 3 – Реализация алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

Для метода нечеткого вывода Ларсена характерна выполнение тех же самых этапов построения решения, что и для метода Мамдани, за исключением выполнения операции активизации заключений каждого из нечетких продукционных правил. Если в методе Мамдани используется *min*-активизация, то в методе Ларсена использована *prod*-активизация (активизация выполнением операции произведения). Таким образом, для двух правил нечеткого вывода выполнение операций активизации заключений может быть представлено в виде следующих выражений:

$$B'_1 = (\alpha_1 \cdot \mu_{B_1}(y));$$

$$B'_2 = (\alpha_2 \cdot \mu_{B_2}(y)).$$

Последующая композиция и дефазификация выполняются аналогично методу Мамдани.

## 2.6. Применение нечетких систем для управления сетевыми устройствами

Система управления на нечеткой логике может быть применена к сетевым устройствам. В зависимости от типов задач они могут формулироваться следующим образом.

**Задача 1.** Рассматривается система обработки данных (заявок) с параллельно работающими приборами (серверами). В систему поступают заявки с двух портов. В зависимости от интенсивностей входных потоков заявок на обслуживание с каждого из портов нечеткий контроллер определяет количество серверов, которое должно быть использовано для обеспечения требуемой скорости (требуемого качества) передачи. В соответствии с этим должны быть задействованы один, два, три и т.д. сервера.

Для примера рассмотрим систему состоящую из трех серверов (общая производительность системы при всех трех работающих серверах равна 1.0). В случае низкой интенсивности поступления заявок по каждому из портов используется один сервер. В этом случае использование производительности системы составляет от 0 до 0.33. При увеличении интенсивностей поступления заявок на каждый из портов системой

подключается второй сервер и использование ее производительности составит от 0.33 до 0.66. При максимальных интенсивностях поступления заявок по каждому порту будут задействованы все три сервера и использование производительности системы составит от 0.66 до 1.0.

Таким образом, нечеткий контроллер анализирует значения интенсивностей потоков заявок  $\alpha_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ) и формирует значение интенсивности обслуживания этих заявок приборами  $\mu$ . В зависимости от полученного значения  $\mu$  в работу по обслуживанию заявок включается один, два либо три сервера. В этом случае поступающие заявки распределяются между очередями соответствующих серверов.

Функциональная схема системы обработки заявок с нечетким управлением ее производительностью изображена на рисунке 4.

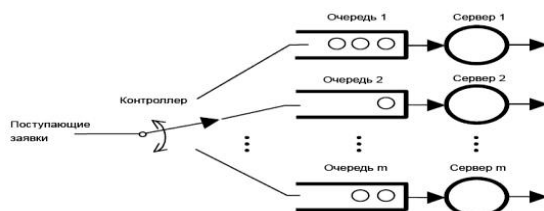


Рисунок 4– Функциональная схема многоканальной системы обслуживания заявок на нечетком управлении

Значение интенсивности поступления заявок на обслуживание также определяется как доля от максимально возможного значения. Если технология передачи данных поддерживает на порту скорость поступления сообщений (обслуживаемых заявок) в 100 мбит/с, что составляет 1.0 от максимально возможной скорости поступления, то реальная скорость поступления заявок на порт определяется как доля от этой максимально возможной. Например, при зафиксированной скорости поступления заявок в 10 мбит/с интенсивность поступления заявок составляет 0.1 от максимально возможной. Аналогичным образом определяется значение интенсивности обслуживания заявок как доля от максимально возможной интенсивности. В соответствии с формулировкой задачи должны быть определены три лингвистические переменные: интенсивность потока заявок на порту 1 –  $\alpha_1$ , интенсивность потока заявок на порту 2–  $\alpha_2$ , интенсивность обслуживания–  $\mu$ . Для всех трех лингвистических переменных заданы одинаковые множества их значений-термов. Значения этих лингвистических переменных следующие: Малая, Средняя, Большая. Для этих термов лингвистических переменных определены интервалы значений соответствующих переменных  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\mu$ : Малая–  $\{a_{1j}, b_{1j}\} = (0; 0.4)$ ; Средняя–  $\{a_{2j}, b_{2j}\} = (0.2; 0.7)$ ; Большая–  $\{a_{3j}, b_{3j}\} = (0.5; 1.0)$ , где  $j$ – индекс соответствующей переменной. При данных значениях входных параметров база правил примет следующий вид:

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\mu$
малая	малая	Малая
средняя	малая	Малая
большая	малая	Средняя
малая	высокая	Средняя
средняя	высокая	Средняя
высокая	высокая	Высокая
малая	средняя	Средняя
средняя	средняя	Средняя
высокая	средняя	Средняя

В графическом виде условия задачи представлены на рисунке 5.

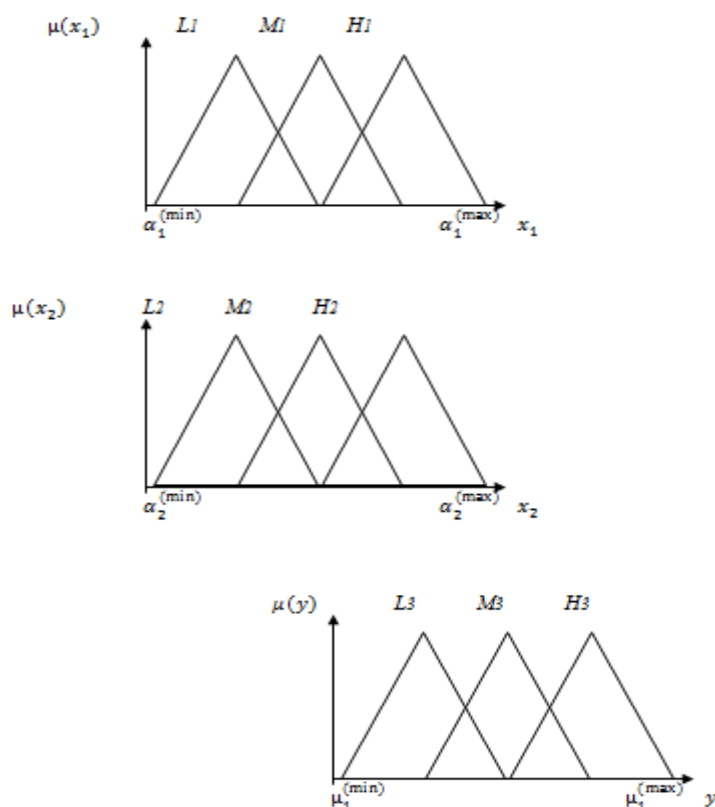


Рисунок 5 – Графическое представление нечетких переменных для соответствующих значений термов лингвистических переменных

**Задача 2.** Постановка задачи связана с определением размера буфера  $Q$  на обрабатывающем устройстве, предназначенного для накопления обрабатываемых заявок, в зависимости от интенсивности потока их поступления  $\alpha$  и интенсивности  $\mu$  их обслуживания на сервере. В силу того, что размер массивов данных, обрабатываемых на сервере, могут быть различными, различными является также и интенсивности обработки заявок. В этом случае данная задача является задачей управления обслуживанием заявок с динамическим буфером.

В соответствии с приведенной постановкой задачи в рассмотрение должны быть введены три лингвистические переменные: 1) интенсивность потока заявок, 2) интенсивность обслуживания, 3) размер буфера для хранения заявок. Для первой и второй переменных их значения-термы следующие: Низкая, Средняя, Высокая. Для интенсивностей поступления и обслуживания заявок интервалы значений переменных  $\alpha$  и  $\mu$  определены аналогично задаче 1: Низкая– $\{a_{1j}, b_{1j}\} = (0; 0.4)$ ; Средняя– $\{a_{2j}, b_{2j}\} = (0.2; 0.7)$ ; Высокая– $\{a_{3j}, b_{3j}\} = (0.5; 1.0)$ , где  $j$ –индекс соответствующей переменной. ( $j = 1, 2$ ). Для третьей лингвистической переменной (размер буфера для хранения заявок) значения определены следующим образом: Малый, Средний, Большой. Максимально возможный размер буфера, который выделяется для хранения заявок составляет 10000 байт. Тогда вид интервалов, соответствующих значениям-термам лингвистических переменных имеют вид: Малый–  $\{a_{13}, b_{13}\} = (0; 400)$ , Средний–  $\{a_{23}, b_{23}\} = (200; 700)$ , Большой–  $\{a_{33}, b_{33}\} = (500; 1000)$ . База правил при управлении размером буфера имеет следующий вид:

$\alpha$	$\mu$	$Q(\alpha, \mu)$
низкая	низкая	Малый
средняя	низкая	Средний
высокая	низкая	Большой
низкая	средняя	Средний
средняя	средняя	Средний
высокая	средняя	Большой
низкая	высокая	Малый
средняя	высокая	Малый
высокая	высокая	Средний



**Задача 3.** Определение необходимой скорости обработки заявок при учете интенсивности поступления заявок на вход сервера (обслуживающего прибора) и количества заявок, находящихся в буфере хранения заявок (при учете ограничений на размер буфера и реализации требования об обслуживании всех заявок, т.е. пришедшие заявки не могут быть отклонены). В случае, если заявка не может быть обслужена, она размещается в буфере, но при высокой интенсивности входящего потока заявок ограниченный объем буфера может быть переполнен и заявке отказано в обслуживании потока, что является нарушением введенного требования. Поэтому при росте интенсивности входного потока заявок и заполнении буфера должна также изменяться (увеличиваться) интенсивность обслуживания заявок  $\mu$ . Тогда в рассмотрение должны быть введены лингвистические переменные: интенсивность входного потока заявок, размер буфера, интенсивность обслуживания заявок. Для переменной «интенсивность входного потока заявок» заданы следующие значения-термы и соответствующие им интервалы значений переменной  $\alpha$ : Низкая— $\{a_{11}, b_{11}\}=(0;0.4)$ ; Средняя— $\{a_{21}, b_{21}\}=(0.2;0.7)$ ; Высокая— $\{a_{31}, b_{31}\}=(0.5;1,0)$ . Для переменной «объем буфера» введены значения-термы и соответствующие им интервалы: Малый— $\{a_{12}, b_{12}\}=(0;400)$ , Средний— $\{a_{22}, b_{22}\}=(200;700)$ , Большой— $\{a_{32}, b_{32}\}=(500;1000)$ . Для переменной «интенсивность обслуживания заявок» заданы следующие значения-термы и соответствующие им интервалы значений переменной  $\alpha$ : Низкая— $\{a_{13}, b_{13}\}=(0;0.4)$ ; Средняя— $\{a_{23}, b_{23}\}=(0.2;0.7)$ ; Высокая— $\{a_{33}, b_{33}\}=(0.5;1,0)$ . Вид базы правил следующий:

$\alpha$	$Q$	$\mu$
низкая	малый	Низкая
средняя	малый	Низкая
высокая	Малый	Средняя
низкая	Большой	Средняя
средняя	Большой	Высокая
высокая	Большой	высокая
низкая	Средний	средняя
средняя	Средний	средняя
высокая	средний	средняя

### 3. Программа выполнения работы

- 3.1. Изучить теоретические положения аппарата теории нечетких множеств и построения систем нечеткого вывода.
- 3.2. Определить способ представления значений нечетких переменных  $p_{1k}$ ,  $p_{2s}$  и  $p_{3l}$  ( $k = \overline{1,3}$ ;  $s = \overline{1,3}$ ;  $l = \overline{1,3}$ ), соответствующих значениям лингвистических переменных  $LP_1$ ,  $LP_2$  и  $LP_3$ , в соответствии с вариантом (при учете заданного вида универсальных множеств). Реализовать программно способ представления значений нечетких переменных  $p_{1k}$ ,  $p_{2s}$  и  $p_{3l}$  (разработать соответствующую процедуру).
- 3.3. Для заданного по варианту метода нечеткого вывода и соответствующей базы нечетких правил реализовать процедуру, выполняющую операцию агрегации степени истинности предпосылок правил. в результате данной процедуры определяются агрегированная степень истинности по всем предпосылкам каждого правила.
- 3.4. Для заданного по варианту метода нечеткого вывода реализовать процедуру активизации заключений правил;
- 3.5. Выполнить разработку процедуры дефазификации полученных нечетких значений выходных параметров.
- 3.6. Выполнить определение управляющих воздействий для задаваемых преподавателем исходных данных.
- 3.7. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

### 4. Методика выполнения работы

- 4.1. В среде программирования Visual Studio создать проект, в котором реализовать все определенные в пункте 3 настоящих методических указаний процедуры.
- 4.2. Реализовать выполнение программы, продемонстрировать результаты ее выполнения.
- 4.3. Полученные результаты выполнения программы включить в отчет
- 4.4. Оформить отчет, сделать выводы.

### 5. Варианты заданий

По последней цифре зачётной книжки (по списку журнала старосты) необходимо выбрать входные данные из таблицы 1.

<i>№</i>	<i>Тип задачи</i>	<i>Кол-во лингв. значений входных параметров</i>	<i>(L-R)-функция</i>	<i>Тип оптимизации</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	1	3	Треугольн.	М
1	2	3	Треугольн.	Л
2	3	3	Трапеция	М
3	1	3	Треугольн.	Л
4	2	3	Трапеция	М
5	3	3	Трапеция	Л
6	1	3	Треугольн.	М
7	2	3	Треугольн.	Л
8	3	3	Трапеция	М
9	1	3	Треугольн.	Л

В таблице вариантов М –метод Мамдани при реализации нечеткого вывода, Л– метод Ларсена при реализации нечеткого вывода.

## 6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что означает операция агрегирования нечетких правил и как она реализуется.
- 6.2. Что означает операция активизации заключений правил и как она реализуется.
- 6.3. В чем состоит отличие метода нечеткого вывода Мамдани от метода нечеткого вывода Ларсена.
- 6.4. Каким образом выполняется построение составных продукционных правил логического вывода.
- 6.5. В чем смысл выполнения дефазификации полученных нечетких выходных значений и как она выполняется.
- 6.6. Каковы возможные применения систем нечеткого логического вывода при управлении сетевыми устройствами.
7. Каким образом реализуется формирование базы нечетких правил?
8. Каким образом реализуется фазификация исходных параметров?
9. В каком виде формализуются процедуры нечеткого вывода Мамдани и Ларсена?

