



Талыбов Н. Г.

Talibov N. G.

*кандидат технических наук, доцент,
проректор по организации учебного процесса
и технологии обучения,*

*Сумгаитский государственный университет,
г. Сумгаит, Азербайджанская Республика*

УДК 621.38

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ЗАХВАТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Разработана компьютерная система выбора основных компонентов для проектирования захватывающих устройств промышленных роботов. Показано, что отсутствует единый подход к классификации и систематизации активных элементов захватов роботов и их основных параметров для принятия решения о соответствии выбранного захвата робота конкретным целям. В этой связи проведена систематизация основных параметров механических, пневматических, гидравлических, электромагнитных и комбинированных захватов роботов, на базе которой можно осуществить поиск нужного элемента с помощью разработанной компьютерной системы. Существующие системы, в основу которых положено математическое моделирование процесса проектирования, не на должном уровне учитывают интуитивный аспект человеческого интеллекта. В результате создается система автоматизированного проектирования узкой направленности с низким уровнем работы, который намного отличается от уровня работы опытного проектировщика. В связи с этим решаются вопросы, связанные с методами представления и использования знаний опытных конструкторов, что является важным направлением в создании компьютерной системы выбора и проектирования захватывающих устройств промышленных роботов.

Построена база правил нечетких продукций для выбора основных компонентов захватывающих устройств роботов. Определены входные и выходные лингвистические переменные базы правил нечетких продукций. Для определения числовых значений использована треугольная функция принадлежности. Реализованы процедуры фаззификации и агрегирования всех входных лингвистических переменных, и определена степень истинности всех условий. Методом min-активизации и центра тяжести одноточечных множеств осуществлен процесс аккумуляции и определены количественные значения выходных лингвистических переменных.

Ключевые слова: захват, робот, база правил, функция принадлежности, фаззификация.

CREATION OF BASIS OF RULES OF FUZZY PRODUCTION FOR CHOOSING KEY COMPONENTS OF GRASPING DEVICES

Computer system for selecting main components is developed for the design of the grasping device of industrial robots. It is shown that there is no single approach to classification and systematization for selecting from set of active elements of grasping robots and their key parameters in order to decide the appropriate selection of the grasping robot for specific application. In this regard, main parameters of mechanical, pneumatic, hydraulic, electromagnetic and combined grasping robots are structured on such a basis which it is possible to realize the search of necessary element in the base of developed computer system. Developed systems which are based on mathematical modeling of design process, do not consider intuitive aspect of human intellect in an appropriate level. As a result, automated design system of narrow focus, low level of work which is much different from work level of experienced designer is set up. Thereby, problems are solved related to methods of presentation and use of experienced constructors' knowledge which is important direction in establishment of computer system of selection and design of grasping devices and industrial robots.

Basis of rules of fuzzy production for choosing key components of grasping devices is built. Fuzzification and aggregation of all input linguistic variables have been conducted and the degree of validity of conditions identified. Accumulation process has been fulfilled via min-activation method and the center of gravity of single-point sets, and quantitative meaning of output linguistic variables identified.

Key words: grasp, robot, set of rules, belonging function, fuzzification.

Введение

Захватывающие устройства являются неотъемлемой частью робототехнологических комплексов, и эффективность их проектирования во многом зависит от выбора основных компонентов. Стоимость захвата в зависимости от конкретного производства составляет от 20 % до 30 % от всей стоимости применяемого робота. Это связано с тем, что в составе робота захват является единственным узлом, который не поддается унификации, и требуется его проектирование при каждом конкретном применении [1]. Кроме того, из-за отсутствия четких информации, для расчета и проектирования захватов (или группы захватов) каждый конструктор решал данный вопрос по своему усмотрению и степени профессиональной способности. Следовательно, наряду с эффективными конструкциями, разработанными опытными специалистами, также создавались неперспективные проекты захватов начинающими конструкторами. Специфические особенности манипулируемого объекта предъявляют дополнительные требования к проектированию захватов роботов, так как они должны манипулировать неудачными деталями больших размеров, которые меняют свои конфигурации и размеры после соответствующих технологических операций [2, 3]. В этой связи разработка компьютерной системы расчёта выбора основных компонентов для проектирования захватов роботов на основе современных методов искусственного интеллекта является актуальной научно-технической задачей.

Построение базы правил продукции для выбора элементов захватывающих устройств

В результате проведенного опроса опытных конструкторов определено, что для выбора из множества активных элементов захватов роботов требуемого им достаточно проверить от 7-ми до 9-ти основных параме-

тров, чтобы принять решение о соответствии выбранного захвата робота для конкретного применения, причем они не смогли обосновать, почему именно доминирующими должны быть те параметры, которые определяют тип захватов роботов. Необходимо также отметить, что выбранные захваты роботов по данной методике различными экспертами оправдывают себя при их эксплуатации в промышленных условиях. В этой связи структурированы основные параметры механических захватов роботов, с помощью которых можно осуществить поиск нужного захвата в базе разработанной компьютерной системы (таблица 1).

Структура правила продукции для выбора элементов захватывающих устройств в нечетком представлении знаний записываются в виде [4–6]:

ПРАВИЛО<#>: ЕСЛИ β_1 есть α_1 И β_2 есть α_2 И...И β_{n-1} есть α_{n-1} , ТО β_n есть α_n ; где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — названия лингвистических переменных;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{n-1}, \dots, \alpha_n$ — их значения, каждому из которых соответствует отдельный лингвистический терм из базового термножества отдельных лингвистических переменных.

Для формирования базы правил систем нечетких продукций определяются входные и выходные лингвистические переменные. В качестве входной лингвистической переменной следует формально использовать следующие:

β_1 — «вес манипулируемого объекта»;

β_2 — «усилие зажима захватывающего устройства»;

β_3 — «грузоподъемность захватывающего устройства».

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать «привод захватывающего устройства».

Таблица 1. Основные параметры механических захватов роботов

№	Тип ЗУ	Способ захвата и удержания	Масса объекта	Геометрическая форма объекта	Усилие зажима	Вес ЗУ	Грузоподъемность ЗУ	Характер крепления роботов	Привод
1	Механические	За счет силы трения	до 5 кг	Прямоугольный	до 5 кН	до 5 кг	до 5 кг	несменяемые	пневматический
2	Вакуумные	Эффекта присасывания	от 5 до 20 кг	Плоский	от 5 до 20 кН	от 5 до 20 кг	от 5 до 20 кг	сменные	гидравлический
3	С эластичными камерами	Аэродинамического эффекта	от 20 до 50 кг	Фланцы	от 20 до 50 кН	свыше 20 кг	от 20 до 50 кг	быстросменяемые	электромагнитный
4	Магнитные	Электромагнитного поля	свыше 50 кг	Валы	от 50 до 90 кН		от 50 до 90 кг	автоматической смены	комбинированный
5	Струйные	Обжатием упругой оболочкой		Деталь коробчатой формы	свыше 90 кН		свыше 90 кг		
6		Силой атмосферного давления							

База нечетких продукций выбора элементов захватывающего устройств состоит из следующих правил:

Правило 1: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройство ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 2: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 3: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 4: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта максимально ниже среднего

И усилие зажима захватывающего устройства максимально ниже среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства максимально ниже среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 5: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта минимальный

И усилие зажима захватывающего устройства минимальный

И грузоподъемность захватывающего устройства минимальна,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 6: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть ниже минимального

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже минимального

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже минимального

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 7: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно ниже минимального

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже минимального

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже минимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства пневматический;

Правило 8: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта средний

И усилие зажима захватывающего устройство средний

И грузоподъемность захватывающего устройства средняя,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 9: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства чуть выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства гидравлический;

Правило 10: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта выше среднего и усилие зажима захватывающего устройства выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 11: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства существенно выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 12: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта максимально выше среднего

И усилие зажима захватывающего устройства максимально выше среднего

И грузоподъемность захватывающего устройства максимально выше среднего,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства электромагнитный;

Правило 13: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта чуть ниже максимального

И усилие зажима захватывающего устройства чуть ниже максимального

И грузоподъемность захватывающего устройства чуть ниже максимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный;

Правило 14: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта существенно ниже максимального

И усилие зажима захватывающего устройства существенно ниже максимального

И грузоподъемность захватывающего устройства существенно ниже максимального,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный;

Правило 15: **ЕСЛИ** вес манипулируемого объекта максимальный

И усилие зажима захватывающего устройства максимально

И грузоподъемность захватывающего устройства максимальна,

ТО привод выбираемого захватывающего устройства комбинированный.

Фаззификация входных переменных базы нечетких продукций выбора элементов захватывающих устройств

Для фаззификации входных переменных «вес манипулируемого объекта», «усилие зажима захватывающего устройства» и «грузоподъемность захватывающего устройства» использована треугольная функция принадлежности, которая задается следующим выражением:

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

где $a \leq b \leq c$.

В результате определяются все значения $b'_i = \mu(a_i)$ для каждого подусловия всех правил, входящих в создаваемую базу продукционных правил (таблицы 2–4, рисунки 1–3).

Таблица 2. Результат фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	3,00	8,00	10,00	9,00	0,500
Чуть ниже минимального	5,00	10,00	15,00	12,00	0,600
Минимальный	10,00	15,00	20,00	17,00	0,600
Максимально ниже среднего	15,00	20,00	25,00	23,00	0,400
Существенно ниже среднего	20,00	30,00	35,00	33,00	0,400
Ниже среднего	25,00	35,00	45,00	38,00	0,700
Чуть ниже среднего	30,00	40,00	55,00	45,00	0,667
Средний	40,00	50,00	65,00	55,00	0,667
Чуть выше среднего	45,00	55,00	70,00	65,00	0,333
Выше среднего	50,00	60,00	75,00	71,00	0,267
Существенно выше среднего	55,00	65,00	80,00	74,00	0,400
Максимально выше среднего	60,00	70,00	85,00	83,00	0,133
Существенно ниже максимального	65,00	75,00	90,00	84,00	0,400
Чуть ниже максимального	70,00	80,00	95,00	88,00	0,467
Максимальный	80,00	90,00	100	95,00	0,500

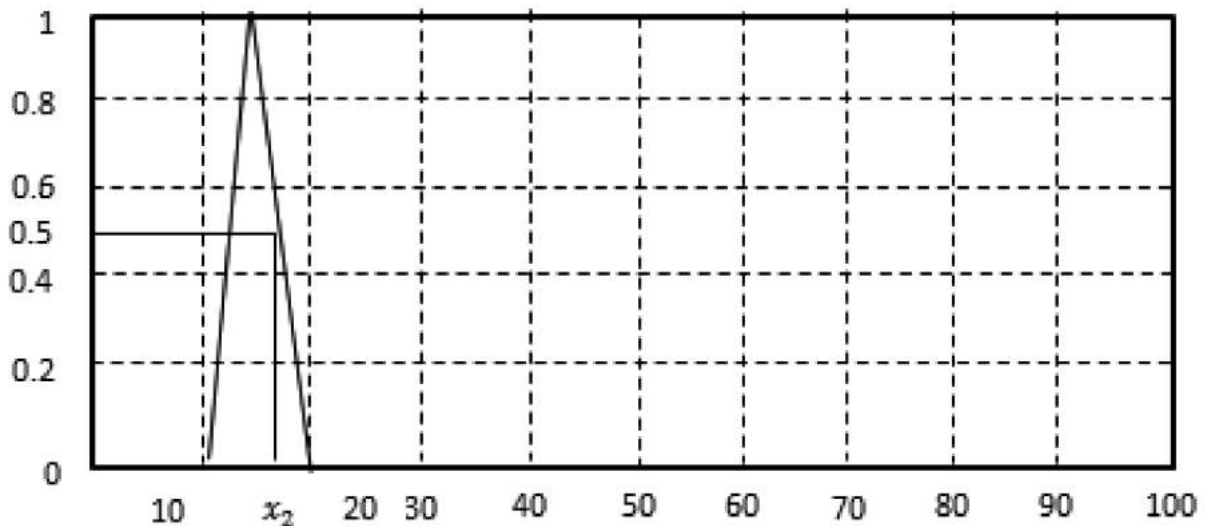


Рисунок 1. Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> минимальный ($a = 10,00$; $b = 15,00$; $c = 20,00$; $x_2 = 17,00$)

Таблица 3. Результат фаззификации входной лингвистической переменной <усилие зажима захватывающего устройства>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	1,40	1,45	2,90	1,55	0,931
Чуть ниже минимального	3,50	3,80	4,90	3,70	0,923
Минимальный	3,70	3,75	4,00	3,80	0,800
Максимально ниже среднего	11,00	11,70	13,00	12,00	0,769
Существенно ниже среднего	12,00	14,00	19,00	18,00	0,200
Ниже среднего	18,90	19,00	20,30	19,20	0,846
Чуть ниже среднего	21,00	23,00	25,00	24,00	0,500
Средний	22,00	25,00	28,00	26,00	0,667
Чуть выше среднего	30,00	30,20	31,00	30,40	0,750
Выше среднего	30,00	30,80	35,00	31,20	0,905
Существенно выше среднего	37,40	37,90	40,00	36,50	0,952
Максимально выше среднего	42,00	43,00	46,00	43,80	0,733
Существенно ниже максимального	44,00	45,00	48,00	45,30	0,900
Чуть ниже максимального	46,00	47,00	50,00	48,70	0,433
Максимальный	47,00	48,00	50,00	49,40	0,300

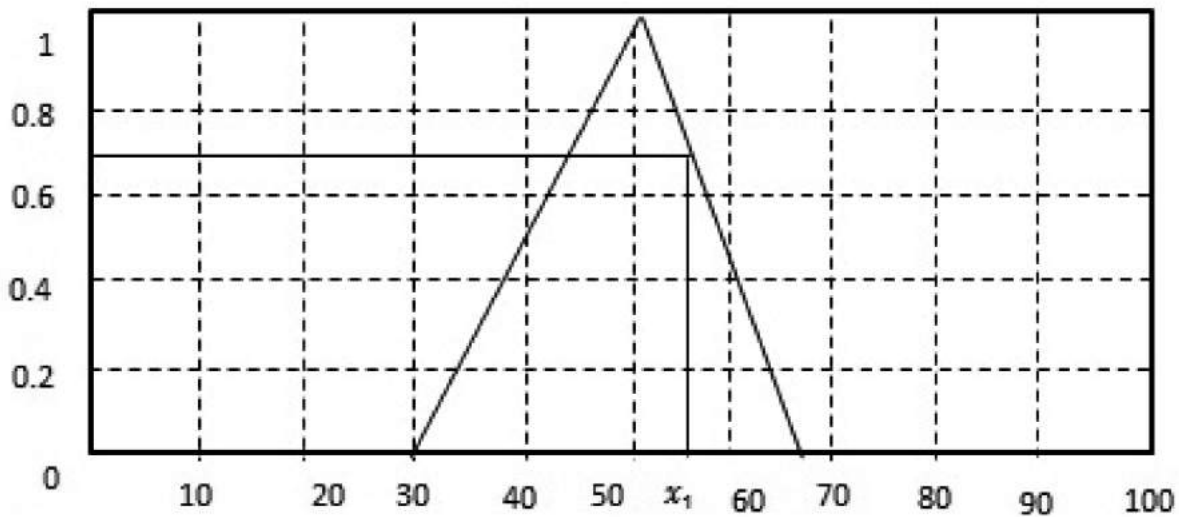


Рисунок 2. Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> средней (a = 40,00; b = 50,00; c = 65,00; $x_1 = 55,00$)

Таблица 4. Результат фаззификации входной лингвистической переменной <грузоподъемность захватывающего устройства>

Название термина	a	b	c	x_i	$\mu(x_i)$
Существенно ниже минимального	5,00	9,00	14,00	12,00	0,400
Чуть ниже минимального	10,00	19,00	25,00	23,00	0,333
Минимальный	20,00	30,00	33,00	31,00	0,667
Максимально ниже среднего	30,00	40,00	45,00	43,00	0,400
Существенно ниже среднего	35,00	45,00	55,00	50,00	0,500
Ниже среднего	40,00	50,00	60,00	55,00	0,500
Чуть ниже среднего	45,00	55,00	65,00	60,00	0,500
Средний	50,00	60,00	75,00	65,00	0,667
Чуть выше среднего	55,00	65,00	80,00	75,00	0,333
Выше среднего	60,00	70,00	90,00	85,00	0,250
Существенно выше среднего	65,00	75,00	95,00	90,00	0,250
Максимально выше среднего	70,00	80,00	100,00	95,00	0,250
Существенно ниже максимального	80,00	90,00	105,00	100,00	0,333
Чуть ниже максимального	90,00	100,00	110,00	105,00	0,500
Максимальный	100,00	110,00	120,00	115,00	0,500

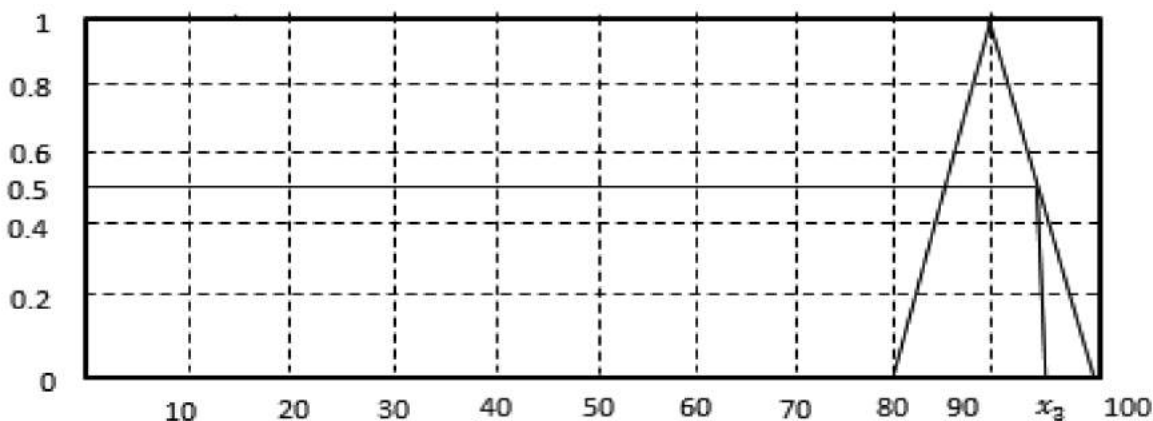


Рисунок 3. Пример фаззификации входной лингвистической переменной <вес манипулируемого объекта> максимальный (a = 80,00; b = 90,00; c = 100,00; x₃ = 95,00)

Агрегирование входных переменных выбора элементов захватывающих устройств

Процесс агрегирования представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода. Процедура агрегирования выполняется следующим образом. До начала этого процесса должны быть известны значения истинности всех подусловий системы нечеткого вывода [5]. Если условие состоит из нескольких подусловий вида <<β_i есть α_i>>, лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий. При этом для определения результата нечеткой конъюнкции или связки «И» можно использовать следующие формулы [7]:

$$T((A^B) = \min\{T(A), T(B)\},$$

где T:A → [0,1] и T:B → [0,1] — значения степени истинности нечеткого высказывания A и B (таблица 5, рисунок 4).

Активизация представляет собой процесс нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций [5].

До начала процесса активизации должны быть известными значения истинности всех условий системы нечеткого вывода и значения весовых коэффициентов F_i для каждого правила (если весовой коэффициент не задан, то его значение равно 1). Далее рассматривается каждое из заключений правил системы нечеткого вывода. Если заключение правил представляет собой нечеткое высказывание вида «β есть α», то степень его истинности равна алгебраическому произве-

Таблица 5. Результат агрегирования степени истинности условий в правилах нечеткой продукции

Степень истинности под условия <вес манипулируемого объекта>	Степень истинности под условия <усилие зажима захватывающего устройства>	Степень истинности под условия <грузоподъемность захватывающего устройства>	Степень истинности условий
0,500	0,931	0,400	0,400
0,600	0,923	0,333	0,333
0,600	0,800	0,667	0,600
0,400	0,769	0,400	0,400
0,400	0,200	0,500	0,200
0,700	0,846	0,500	0,500
0,667	0,500	0,500	0,500
0,667	0,500	0,500	0,500
0,667	0,667	0,667	0,667
0,333	0,750	0,333	0,333
0,267	0,905	0,250	0,250
0,133	0,733	0,250	0,133
0,400	0,900	0,333	0,333
0,467	0,433	0,500	0,433
0,500	0,300	0,500	0,300

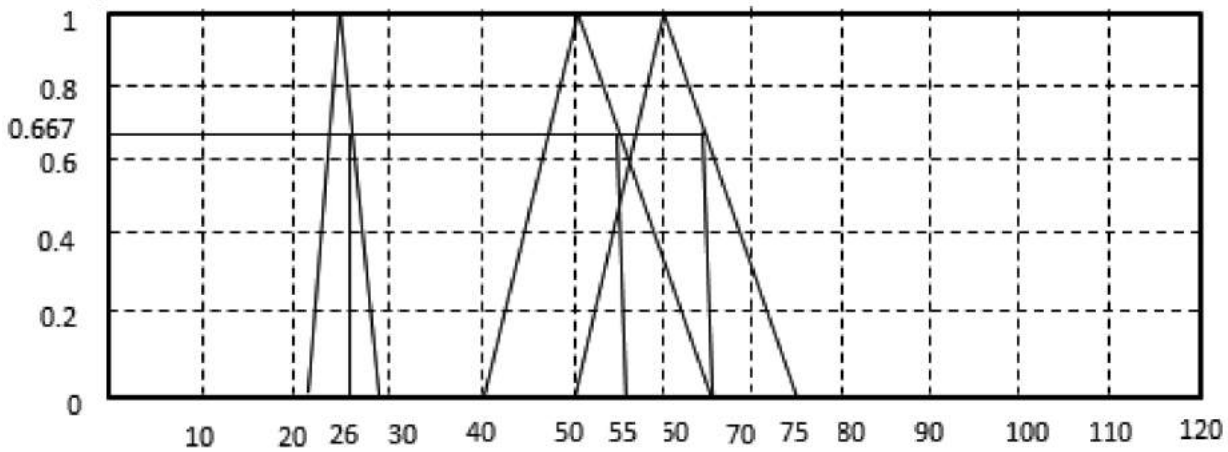


Рисунок 4. Пример агрегирования подусловий для трех высказываний: «вес манипулируемого объекта» и «усилие зажима захватывающего устройства» и «грузоподъёмность захватывающего устройства»

дению соответствующего значения на весовой коэффициент. После этого определяются функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных.

Для этой цели можно использовать метод min-активизации нечеткой композиции [7]:

$$\mu(y) = \min(c_i, \mu(y)),$$

где $\mu(y)$ — функция принадлежности терма, который является значением некоторой

выходной переменной, заданной на универсуме Y (таблица 6).

Результат аккумуляции для выходной лингвистической переменной определяется как объединение нечетких множеств.

Результат дефаззификации для выходной лингвистической переменной определен в виде количественного значения на основе метода центра тяжести для одноточечных множеств.

Таблица 6. Результат активизации заключений в правилах нечеткой продукции

Степень истинности условий	Значение функции принадлежности подзаключений	Значение функции принадлежности выходных переменных
0,400	0,333	0,333
0,333	0,600	0,333
0,600	0,400	0,400
0,400	0,333	0,333
0,200	0,333	0,200
0,500	0,400	0,400
0,500	0,433	0,433
0,500	0,667	0,500
0,667	0,600	0,600
0,333	0,667	0,333
0,250	0,333	0,250
0,133	0,500	0,133
0,333	0,250	0,250
0,433	0,333	0,333
0,300	0,431	0,300

Выводы

Создана база правил нечетких продукционных систем для выбора основных элементов захватывающих устройств промышленных роботов. Реализована процедура фаззификации всех подусловий входных лингвистических переменных.

Определены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Найдены все значения степеней истинности подзаключений для каждого правила.

Результат дефаззификации определен в виде количественного значения выходных лингвистических переменных.

Список литературы

1. Гусейнов А.Г., Халилов С.А., Талыбов Н.Г. и др. Наука и техника. Автоматизированное проектирование нестандартных механических модулей с применением интеллектуальных средств. Научно-информационный центр. Красноярск, 2011. 179 с.
2. Максимов А.А., Чжинин Г. Управление робототехническими комплексами на основе конечных автоматов с переменной структурой // Вестник МГТУ, Сер. Приборостроение. 2001. № 1. С. 112–126.
3. Щербатов И.А. Интеллектуальное управление робототехническими системами в условиях неопределенности // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 1. С. 74–77.
4. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с англ. М.: 1986. 293 с.
5. Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 725 с.
6. Мустафаев В.А. Анализ нечетких производственных моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5 (95). С.25–30.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 717 с.

References

1. Gusejnov A.G., Halilov S.A., Talybov N.G. i dr. Nauka i tehnika. Avtomatizirovannoe proektirovanie nestandardnyh mehanicheskikh modulej s primeneniem intellektual'nyh sredstv. Nauchno-informacionnyj centr. Krasnojarsk, 2011. 179 s.
2. Maksimov A.A., Chzhinin G. Upravlenie robototekhnicheskimi kompleksami na osnove konechnyh avtomatov s peremennoj strukturoj // Vestnik MGTU, Ser. Priborostroenie. 2001. №1. S.112–126.
3. Shherbatov I.A. Intellektual'noe upravlenie robototekhnicheskimi sistemami v uslovijah neopredelennosti // Vestnik AGTU. ser. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. 2010. № 1. S. 74–77.
4. Osuga S. Obrabotka znaniy: Per. s angl. M.: 1986. 293 s.
5. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov F.S. Nechetkie modeli i seti. M.: Telekom, 2012. 725 s.
6. Mustafaev V.A. Analiz nechetkih produkcionnyh modelej dinamicheskikh vzaimodejstvujushhih processov // Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. 2012. № 5 (95). S. 25–30
7. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB u fuzzy TECH. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 717 s.