



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

Исследование применения миварных технологий
для планирования маршрутов робототехнических
комплексов в трехмерном логическом
пространстве

Студент ИУ5-32М
(Группа)

А.А. Коценко
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель

Ю.Е. Гапанюк
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИУ5
(Индекс)
В.И. Терехов
(И.О.Фамилия)
« 04 » сентября 2023 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение научно-исследовательской работы

по теме Исследование применения миварных технологий для планирования маршрутов
робототехнических комплексов в трехмерном логическом пространстве

Студент группы ИУ5-32М

Коценко Антон Александрович

(Фамилия, имя, отчество)

Направленность НИР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) КАФЕДРА

График выполнения НИР: 25% к 3 нед., 50% к 9 нед., 75% к 12 нед., 100% к 15 нед.

Техническое задание Исследовать применение миварных технологий для планирования
маршрутов робототехнических комплексов в трехмерном логическом пространстве посредством
анализа двудольных миварных сетей «если-то» и многодольных миварных сетей «если-то-иначе»

Оформление научно-исследовательской работы:

Расчетно-пояснительная записка на 22 листах формата А4.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

Дата выдачи задания « 04 » сентября 2023 г.

Руководитель НИР

(Подпись, дата)

Ю.Е. Гапанюк

(И.О.Фамилия)

Студент

(Подпись, дата)

А.А. Коценко

(И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

Оглавление

Введение	4
Основная часть	6
Заключение	19
Список использованных источников	20

Введение

Исследование проводится по теме «Исследование применения миварных технологий для планирования маршрутов робототехнических комплексов в трехмерном логическом пространстве» в рамках научно-исследовательской работы. В данной работе требуется выполнить анализ двудольных миварных сетей «если-то» и многодольных миварных сетей «если-то-иначе».

Создание интеллектуальных систем продолжает быть актуальной и практически значимой проблемой [1]. Одним из основных препятствий была высокая вычислительная сложность логического вывода по традиционным методам. Однако сейчас это ограничение устранено. Разработка нового поколения экспертных систем [2] позволит автоматизировать разнообразные сложные интеллектуальные задачи и увеличит конкурентоспособность среди своих пользователей.

В сферах автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) отдается приоритет внедрению достижений информатики, кибернетики и искусственного интеллекта.

Это выражает необходимость ускорения и автоматизации выполнения сложных задач в системах обработки информации и управления технологическими процессами [3]. Важно отметить, что в последние тридцать лет развития информатики многие задачи автоматизации вычислительной обработки информации и управления технологическими процессами теоретически хорошо описаны. Системные операторы применяют заранее разработанные меры и алгоритмы, основанные на причинно-следственных связях, для принятия решений [4]. Не все задачи в автоматизированных системах управления могут быть описаны в такой форме, но для тех, которые могут, важно логическое соответствие в процессе решения.

Текущий анализ технических возможностей миварного подхода и продукционных правил показал, что их использование в современных

информационных системах ограничено определенными факторами. Например, в миварных логических сетях существует проблема, связанная с использованием правил выбора в случае, когда значения получают лишь часть выходных переменных [5]. Формально это выглядит так: «если..., то..., иначе...». Хотя в традиционном формате правил «если..., то...» можно создать описание предметной области, но это будет более трудоемким процессом и потребует большего количества «элементарных правил».

Миварные технологии [6] логического искусственного интеллекта (ЛИИ) позволяют находить решение с линейной [7] вычислительной сложностью [8] логического вывода [9] для задач в форматах продукционных сетей «если-то» или «вход; выход; действие» [10]. В настоящее время, миварные технологии ЛИИ применяют в различных областях, включая: гетерогенные мультиагентные системы [11] и группы роботов [12], для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами [13], для интеллектуального распознавания образов [14], для поиска траекторий роботов [15] и планирования их действий [16], для обучения людей [17], а также в медицине для диагностики сахарного диабета [18], автоматизации психодиагностики [19], определения безопасности применения компонентов крови [20] и для других областей [21].

Таким образом, развитие миварного подхода и продукций является важной и актуальной задачей, имеющей практическую значимость.

Основная часть

Представление сетей продукций в виде двудольных графов. Перейдем к структурированной концепции продукций и сетей, которые могут быть сформированы из них. В предыдущих исследованиях [1-21] предложен метод объединения сетей правил и графов. Более того, выявлено, что некоторые задачи логического вывода могут быть решены с использованием подходов теории графов. Эффективным способом представления сетей правил и процедур является их представление в виде двудольных графов, то есть создаются конструкции аналогичные сетям Петри, но с соответствующим развитием до миварных логических сетей [1-21].

Вспомним определения двудольных графов, которые необходимы для продолжения анализа. Одно из определений гласит: «Граф $G=(V, E)$ называется двудольным, если существует разбиение $V=\{V_1, V_2\}$ такое, что никакие две вершины из V_1 или из V_2 не являются смежными» [2]. Еще одно определение уточняет: «Двудольным графом $G=(X, Y, E)$ называется неориентированный граф, вершины которого можно разбить на два класса X и Y так, что концы каждого ребра принадлежат разным классам» [2]. Стоит отметить важное замечание: «введенные понятия допускают естественное обобщение. Неориентированный граф называется k -дольным, если его вершины можно разбить на k классов так, что концы каждого ребра принадлежат разным классам» [2]. Таким образом, для разных областей знаний можно использовать двудольные, трехдольные и многодольные (k -дольные) графы. В данный момент разрабатывается новый подход к единому представлению знаний и данных, который получил название «миварный» [1]. Миварный подход представляет собой обобщение и развитие продукционного подхода, сетей Петри и других формализмов, применяемых в логической обработке данных.

Миварные сети могут быть представлены в виде двудольного графа, разделенного на объекты-переменные и правила-процедуры. Сначала создаются два списка, которые формируют две части графа, не пересекающиеся друг с

другом: список объектов и список правил. Каждое правило в миварной сети представляет собой развитие продукций или вычислительных процедур. В контексте их последующей обработки, все эти формализмы равнозначны и являются вершинами двудольного графа, как показано на рисунке 1, где объекты обозначены кругами, а правила – прямоугольниками.

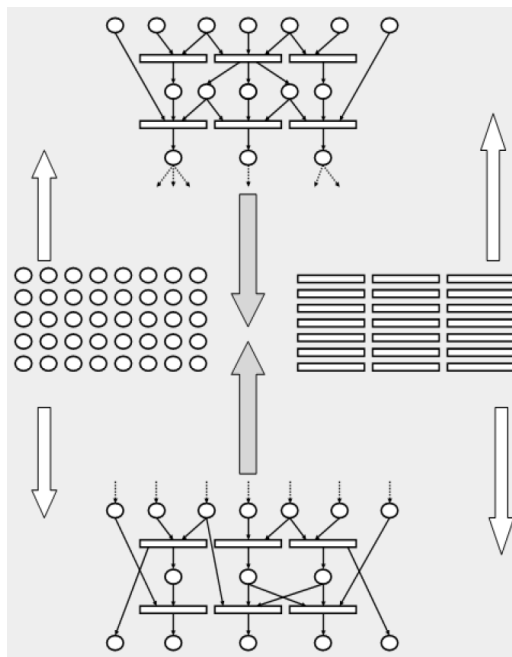


Рис. 1. Представление миварной сети в виде двудольного графа

Миварный метод логико-вычислительной обработки данных. Предусмотрены определенные шаги для реализации метода обработки данных, сначала требуется создать формальное описание предметной области. С использованием миварного подхода определяются основные объекты-переменные и правила-процедуры, после чего составляются списки «объектов» и «правил». Теоретические основы миварного метода обработки данных были впервые представлены в 2002 году [1], а в статье [2] описаны теоретические основы линейно-матричного метода для определения маршрута логического вывода в адаптивной сети правил. Процесс обработки миварной информации включает три основных этапа: формирование миварной матрицы описания предметной области, работу с матрицей и создание алгоритма для решения задачи. Полученный алгоритм используется для проведения всех необходимых расчетов и получения ответа.

Первый этап представляет собой синтез и формализацию концептуальной модели предметной области в виде продукционных правил, которые в дальнейшем переходят к миварным правилам (таблица 1). В настоящее время этот этап считается наиболее сложным и требует вмешательства опытного специалиста (эксперта) для разработки миварной модели предметной области. Для данного примера матрица была сформирована по заданному алгоритму [15]. На втором этапе происходит автоматическое создание алгоритма решения или логического вывода (таблицы 2-7). В качестве исходных данных используются миварная матрица описания предметной области, а также заданные входные («Дано») и искомые («Найти») объекты-переменные. На третьем этапе осуществляется решение согласно полученному алгоритму.

Таблица 1. Шаг 1 активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	
(0,0)→(0,1)	X	Y								
(0,0)→(1,0)	X			Y						
(0,0)→(1,1)	X				Y					
(0,1)→(0,0)	Y	X								
(0,1)→(0,2)		X	Y							
(0,1)→(1,0)		X		Y						
(0,1)→(1,1)		X			Y					
(0,1)→(1,2)		X				Y				
...										...
(1,1)→(0,0)	Y				X					
(1,1)→(0,1)		Y			X					
(1,1)→(0,2)			Y		X					
(1,1)→(1,0)				Y	X					
(1,1)→(1,2)					X	Y				
(1,1)→(2,0)					X		Y			
(1,1)→(2,1)					X			Y		
(1,1)→(2,2)					X				Y	
...										...
(2,1)→(1,0)				Y				X		
(2,1)→(1,1)					Y			X		
(2,1)→(1,2)						Y		X		
(2,1)→(2,0)							Y	X		
(2,1)→(2,2)								X	Y	
(2,2)→(1,1)					Y				X	
(2,2)→(1,2)						Y			X	
(2,2)→(2,1)								Y	X	
	Z								W	IIIar 1

Таблица 4. Шаг 8 активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	
(0,0)→(0,1)	X	Y								2
(0,0)→(1,0)	X			Y						2
(0,0)→(1,1)	X				Y					2
(0,1)→(0,0)	Y	X								
(0,1)→(0,2)		X	Y							1
(0,1)→(1,0)		X		Y						
(0,1)→(1,1)		X			Y					
(0,1)→(1,2)		X				Y				
...					Y					...
(1,0)→(1,1)				X	Y					
(1,0)→(2,0)				X			Y			
(1,0)→(2,1)				X				Y		
(1,1)→(0,0)	Y				X					
...										...
(1,1)→(2,1)					X			Y		
(1,1)→(2,2)					X				Y	
(1,2)→(0,1)		Y				X				
...										...
(2,2)→(2,1)								Y	X	
	Z	Z		Z	Z				W	Шаг 8

Таблица 5. Шаг 12 активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	
(0,0)→(0,1)	X	Y								2
(0,0)→(1,0)	X			Y						2
(0,0)→(1,1)	X				Y					2
(0,1)→(0,0)	Y	X								
(0,1)→(0,2)		X	Y							2
(0,1)→(1,0)		X		Y						
(0,1)→(1,1)		X			Y					
(0,1)→(1,2)		X				Y				2
...										...
(1,0)→(1,1)				X	Y					
(1,0)→(2,0)				X			Y			1
(1,0)→(2,1)				X				Y		
(1,1)→(0,0)	Y				X					
...										...
(1,1)→(2,1)					X			Y		
(1,1)→(2,2)					X				Y	
(1,2)→(0,1)		Y				X				
...										...
(2,2)→(2,1)								Y	X	
	Z	Z	Z	Z	Z	Z			W	Шаг 12

Таблица 6. Шаг 16 активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	
(0,0)→(0,1)	X	Y								2
(0,0)→(1,0)	X			Y						2
(0,0)→(1,1)	X				Y					2
(0,1)→(0,0)	Y	X								
(0,1)→(0,2)		X	Y							2
(0,1)→(1,0)		X		Y						
(0,1)→(1,1)		X			Y					
(0,1)→(1,2)		X				Y				2
...										...
(1,0)→(1,1)				X	Y					
(1,0)→(2,0)				X			Y			2
(1,0)→(2,1)				X				Y		2
(1,1)→(0,0)	Y				X					
...										...
(1,1)→(2,1)					X			Y		
(1,1)→(2,2)					X				Y	1
(1,2)→(0,1)		Y				X				
...										...
(2,2)→(2,1)								Y	X	
	Z	Z	Z	Z	Z	Z			W	Шаг 16

Таблица 7. Шаг 17 активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	
(0,0)→(0,1)	X	Y								2
(0,0)→(1,0)	X			Y						2
(0,0)→(1,1)	X				Y					2
(0,1)→(0,0)	Y	X								
(0,1)→(0,2)		X	Y							2
(0,1)→(1,0)		X		Y						
(0,1)→(1,1)		X			Y					
(0,1)→(1,2)		X				Y				2
...										...
(1,0)→(1,1)				X	Y					
(1,0)→(2,0)				X			Y			2
(1,0)→(2,1)				X				Y		2
(1,1)→(0,0)	Y				X					
...										...
(1,1)→(2,1)					X			Y		
(1,1)→(2,2)					X				Y	2
(1,2)→(0,1)		Y				X				
...										...
(2,2)→(2,1)								Y	X	
	Z	Z	Z	Z	Z	Z			Z(W)	Шаг 17

Анализ особенностей АСУТП в рамках миварного подхода. В сфере автоматизированного управления технологическими процессами (АСУТП) в настоящее время активно применяются интернет-технологии в производственных целях. Возникают комплексные системы управления, которые объединяют все уровни контроля над производством. Под управляющими системами подразумевается набор взаимосвязанных объектов, взаимодействующих для выполнения задач и упрощения действий, направленных на достижение определенных результатов. В работе [3], чтобы создать прототип АСУТП, использовалось описание технологических процессов в нефтепереработке и нефтехимии в концепции миварных сетей.

Проект системы управления основан на логическом выводе в миварных сетях. Задачи с высокой размерностью, такие как задача «треугольники» с 237 правилами, обрабатывались в реальном времени. В этой задаче учитывались множество зависимостей между различными характеристиками треугольника: связи через теоремы синусов, косинусов, Пифагора и формулы для определения периметра, площади и других параметров. Геометрия представляет множество разнообразных задач: от определения площадей до нахождения сторон по углам. Однако в этих задачах значения либо присутствуют, либо отсутствуют, и в зависимости от этого применялись соответствующие правила. Это приемлемо для универсального логического решателя задач, но оказалось менее подходящим для области АСУТП [3]. Основное ограничение заключалось в различии использования аналоговых датчиков в АСУТП и дискретных логических систем в миварном подходе: в первом случае сигнал может иметь непрерывные значения, во втором – либо сигнал есть, либо его нет.

Одной из особенностей предметной области АСУТП является использование диапазонов значений. Например, в технологических процессах необходимо поддерживать температуру в определенных пределах: не ниже определенного минимума и не выше определенного максимума. Если температура опускается ниже минимума, необходимы корректирующие действия. Если температура приближается к определенному максимуму,

выполняются другие меры. При нахождении температуры в указанных пределах, никаких дополнительных действий не требуется. С точки зрения формализации, все возможные значения разделяются на три категории: «ниже заданного», «нормальный диапазон» и «выше заданного».

В системах автоматизированного управления выбор действия зависит от заданного диапазона значений. Для решения этой проблемы было решено создать отдельные переменные для каждого диапазона. Вместо единой переменной, такой как температура, было создано три отдельные переменные: «температура в пределах диапазона», «температура ниже диапазона» и «температура выше диапазона». Этот подход позволял использовать миварные сети в автоматизированных системах управления технологическими процессами, однако он имел свои недостатки [3]: ограниченную универсальность, увеличение числа переменных и правил, возможность возникновения противоречивых значений при присвоении различных значений трем переменным для одной и той же температуры и другие.

Также стоит учесть, что имеются процессы, в которых количество диапазонов для одной переменной достаточно велико. Некоторые управляющие действия зависят от нескольких переменных, таких как давление, влажность и температура. В таких случаях подход «один диапазон для каждой переменной» становится излишним и затрудняет решение задачи. Кроме того, решение в системах управления технологическими процессами зависело от величины шага дискретизации. При большом шаге терялась точность решения, а при маленьком создавалось большое количество переменных. Это усложняло использование метода в задачах с мелким шагом дискретизации. Для преодоления этой проблемы предложено объединять взаимосвязанные правила в отношения [3].

В задачах, связанных с треугольниками, это выражается следующим образом: в геометрии для работы с треугольниками используются разнообразные формулы, описывающие зависимости между конкретными характеристиками. Например, формула, утверждающая, что сумма углов в треугольнике равна 180 градусам, связывает три переменные – углы внутри треугольника. Ранее каждое

из этих значений имело собственное правило в миварной сети, и формула была представлена в виде трех отдельных правил. Теперь все три этих правила можно объединить в одно отношение, что позволяет представить отношение в миварной сети. В этом случае создаются все необходимые правила для данного отношения: отношение «сумма углов» и три правила, определяющие величину каждого угла в треугольнике.

Это превращает миварную матрицу в «двухуровневую», где первый уровень содержит только отношения, что значительно сокращает размер матрицы. На втором уровне каждое отношение имеет свой набор правил. При построении алгоритма в начале используются только отношения, и при выборе конкретного отношения для алгоритма из него выбирается одно из правил на втором уровне. Это позволяет алгоритму работать преимущественно на уровне отношений, что сокращает размерность миварной матрицы и ускоряет получение решения. Введение «уровней миварной матрицы» является развитием теории миварных сетей. Хотя для автоматизированных систем управления технологическими процессами можно использовать два уровня матричного представления – «отношения» и «правила», в других предметных областях теоретически количество уровней может быть любым, в зависимости от потребностей.

Таким образом было уменьшено количество переменных, что в результате сократило время выполнения программы. Новый подход также избавляет от противоречивых ситуаций, где несколькими переменным, связанным с одним процессом, присваиваются различные значения. Практически получается, что возникает возможность расширять или создавать новые наборы объектов, связей и правил, используя для этого изменение или создание «входного» XML-файла [3]. Пример графа решения с многоуровневой логикой внутри одного правила миварной сети приведен на рисунке 2.

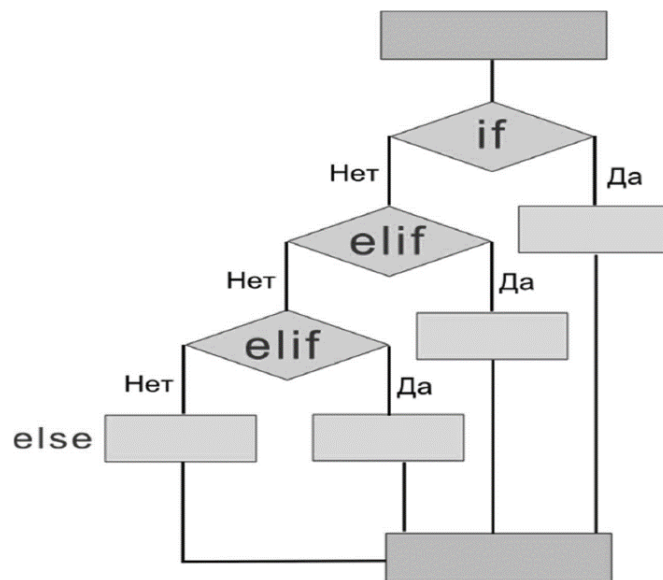


Рис. 2. Пример многоуровневой логики внутри одного правила

Многодольные графы миварных логико-вычислительных сетей. В работе [5] демонстрируется метод обеспечения того, что не все переменные-объекты получают значения после «выполнения» правила. Предыдущие правила, которые приводят к присвоению значений всем выходным переменным, определены как «процедуры». Использование многодольных графов может улучшить адекватность моделирования для различных задач и областей. Для реализации выбора значений вводится новый тип правил: «выбор». Например, если есть два варианта: «да» или «нет». В контексте многодольных графов это представляет собой добавление третьего типа объектов графа: переменные; процедуры без выбора; и правила «выбор», при которых некоторые переменные получают значения, а другие – нет.

На рисунке 3 разные типы объектов графа обозначены разными фигурами: первый тип представлен кругами, второй – прямоугольниками, третий – треугольниками, имеющими два вида выходных стрелок: сплошные линии обозначают «да», а пунктирные – «нет». Однако можно выполнить более сложный выбор: из нескольких выходных переменных выбрать часть переменных «да», а оставшиеся переменные этих же правил будут «нет», – и создать для них отдельную матрицу. Основываясь на тех же принципах, можно реализовать не только выбор «да/нет», но и более сложные правила выбора из

множества альтернатив: от двух и более, например: 3, 4..., 10 и так далее. Аналогично, можно переходить к многодольным графам.

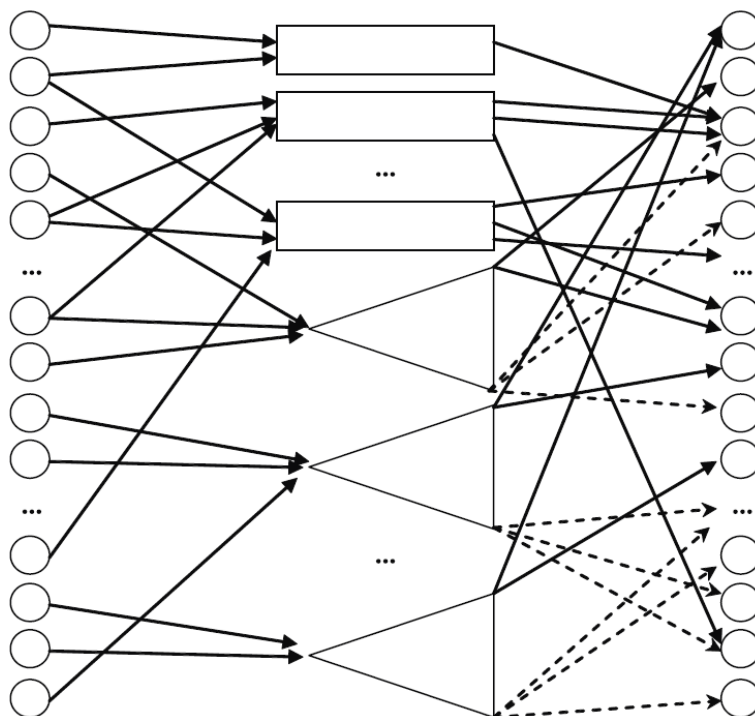


Рис. 3. Пример трехдольного графа миварной сети

В статье [5] предложен способ представления многодольных графов в миварных сетях. Предположим, что в графе всего $(K+1)$ типов вершин, образуется $(K+1)$ -дольный граф. Рекомендуются начинать нумерацию долей такого графа с нулевого раздела и изображать его на рисунках в виде кругов или овалов. Все остальные вершины оставшихся частей графа следует обозначать номерами от единицы до K и представлять их на рисунке в виде прямоугольников. Пример представления $(K+1)$ -дольного графа показан на рисунке 4. В каждом овале и прямоугольнике содержится описание узла графа, которое выглядит следующим образом: буква P обозначает объекты, а буква R – правила, после чего в скобках указан номер типа узла (доли) графа, и дальнейшая последовательность символов (букв и цифр) указывает на номер узла в каждом типе многодольного графа. Например, запись $P(0, n-2)$ обозначает «узел нулевого типа (объект) с номером $(n-2)$ ». Запись $R(i, j)$ представляет «узел правила типа i с номером j ». Например, запись $R(K, mK-1)$ – это «узел правила типа K , пронумерованный в этом типе правил $(mK-1)$ ».

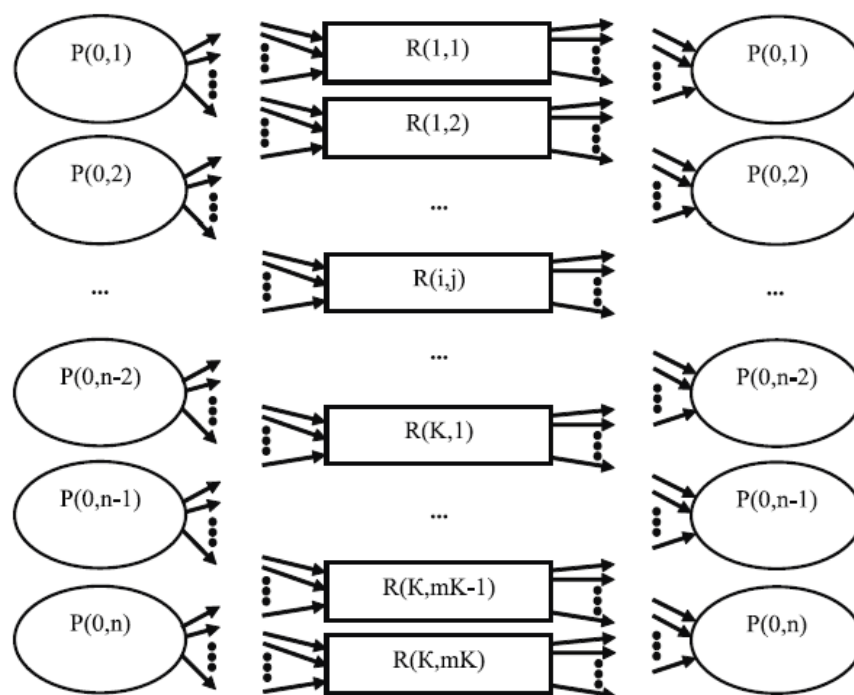


Рис. 4. Пример $(K+1)$ -дольного графа миварной сети

Сначала необходимо рассмотреть выбор между двумя вариантами. Для таких правил выбора определены входные переменные, и после их активации одна или несколько переменных одного типа из набора выходных переменных этого правила получают значения в соответствии с самим правилом. Определенная часть переменных зависит от устройства каждого конкретного правила. Затем некоторые переменные получают значение «да» и удаляются из списка, а остальные, обозначенные как «нет», получают специальное отрицательное значение и также исключаются из общей матрицы для этого правила выбора.

Этот подход требует расширения миварных сетей в следующем направлении [5]. Требуется ввести дополнительное специальное значение. Ранее использовались два состояния: известно и неизвестно, но теперь предлагается добавить третье значение к правилам выбора: отсутствие значений, что представляет собой ложную ветвь поиска. Предлагается следующий метод реализации этой концепции: в трехмерном пространстве описываются конкретные предметные области в двумерных плоскостях, а третье измерение

представлено новыми двумерными плоскостями. Для описания каждой предметной области будут использованы плоскости или двумерные матрицы: плоскость входных значений правил «процедур» с бинарными значениями «да/неизвестно», плоскость выходных значений правил «процедур» с бинарными значениями «да/неизвестно», плоскость входных значений правил «выбора» с бинарными значениями «да/неизвестно», а также набор выходных значений правил «выбора» с тремя значениями: «да/неизвестно/нет значения».

В ходе дальнейших исследований по развитию миварного подхода планируется провести эксперименты с различными способами реализации хранения трех и более значений для правил выбора. Кроме того, необходимо добавить специальные переменные для правил выбора в основной список переменных. Этот список должен также содержать три значения: «да», «неизвестно», «не будут иметь», что требует дополнительных исследований. В результате этих изменений возникает новое ограничение, так как правила «выбор» могут быть запущены только после вычисления всех конкретных переменных, чтобы определить «ветвь вычислений». Однако если есть достаточно вычислительных ресурсов, то можно просчитывать несколько ветвей алгоритма в один момент времени, а конкретные значения подставить позднее. Это напоминает подход «недоопределенных переменных», где во время вычислений такие переменные рассматриваются как константы, и их значения подставляются в конце, когда все остальные переменные определены.

Следствием исследований над миварными сетями в работе [5] является преодоление еще одного ограничения, что позволяет теперь решать проблемы выбора, когда только определенная часть переменных получает значения после выполнения правила подобно выбору между «да» и «нет». Различные предметные области или их фрагменты могут быть представлены в трехмерной матрице, что позволяет сделать более подробное описание частей этих областей или новых сегментов предметной области в итоговой базе знаний.

Заключение

Исследование проводилось по теме «Исследование применения миварных технологий для планирования маршрутов робототехнических комплексов в трехмерном логическом пространстве» в рамках научно-исследовательской работы. Приведен пример активации параметров и правил при решении задачи планирования маршрута в двумерном логическом пространстве в формализме матриц. Данный пример иллюстрирует линейную вычислительную сложность логического вывода и автоматического построения алгоритмов на основе переменных-объектов и правил-процедур миварных сетей. В качестве миварных правил могут использоваться сервисы и вычислительные процедуры. Миварный подход позволяет на практике создавать эволюционные системы [11-21].

Рассмотрена идея развития миварной теории в области создания логического искусственного интеллекта путем перехода от формализма «правила-переменные», к формализму «отношения-правила-переменные» в миварных сетях. Также отмечена возможность многоуровневого представления правил. Обоснована применимость миварного подхода для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами. В перспективе данный подход может практически полностью заменить роль человека-оператора в автоматизированных системах обработки информации и управления и АСУТП на производстве.

Предложены новые направления развития миварных сетей, основанные на трехдольных и многодольных графах для реализации правил выбора «если..., то..., иначе...». Данный подход дает большие преимущества в планировании маршрутов с использованием миварных технологий, поскольку он активирует параметры только при выполнении определенных условий. В отличие от классического миварного подхода этот подход позволяет активировать лишь часть выходных параметров. Данная работа оказывает существенное влияние на развитие современного машиностроительного искусственного интеллекта с использованием миварных систем принятия решений.

Список использованных источников

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство // Москва: Научно-техническое издательство "Радио и связь", 2002, 286 с. ISBN 5-256-01650-4. EDN RWTCOP.
2. Варламов О.О. Практическая реализация линейной вычислительной сложности логического вывода на правилах "ЕСЛИ-ТО" в миварных сетях и обработка более трех миллионов правил // Автоматизация и управление в технических системах, 2013, № 1(3), С. 60-97. EDN RDDKQF.
3. Чибирова М.О., Сергушин Г.С., Елисеев Д.В., Варламов О.О. "Облачная" реализация миварного универсального решателя задач на основе адаптивного активного логического вывода с линейной сложностью относительно правил "Если-То-Иначе" // Автоматизация и управление в технических системах, 2013, № 2(4), С. 22-38. EDN RDWXTZ.
4. Варламов О.О., Хадиев А.М., Чибирова М.О. и др. Патент № 2607995 С РФ, МПК G06F 17/20. Автоматизированное построение маршрута логического вывода в миварной базе знаний: № 2015104624: заявл. 11.02.2015: опубл. 11.01.2017 // заявитель ООО "МИВАР". EDN XHUERC.
5. Владимиров А.Н. Развитие на основе многодольных графов миварных логико-вычислительных сетей для реализации правил выбора "если..., то..., иначе..." // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. № 3. С. 35-44. EDN MVTBQZ.
6. Варламов О.О., Чувилов Д.А. Миварные технологии как средство создания систем автоматизации разумной деятельности человека // Автоматизация и управление в технических системах. 2016. № 1 (18). С. 13. EDN: ZXUHAT.
7. Варламов О.О., Чибирова М.О., Сергушин Г.С., Елисеев Д.В. Практическая реализация универсального решателя задач "УДАВ" с линейной сложностью логического вывода на основе миварного подхода и "облачных"

технологий // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 11. С. 45-55. EDN: SQKNXZ.

8. Носов А.В., Владимиров А.Н., Потапова Т.С. и др. Программа "УДАВ": реализация линейной вычислительной сложности матричного метода поиска маршрута логического вывода на основе миварной сети правил // Искусственный интеллект. 2009. № 3. С. 443-448. EDN TIFIGD.

9. Варламов О.О. Разработка квадратичной сложности методов поиска минимального разреза двухполюсных и многополюсных сетей // Искусственный интеллект. 2002. № 3. С. 371-375. EDN: TXHSIJ.

10. Варламов О.О., Антонов П.Д., Чибирова М.О. и др. МИВАР: машино-реализуемый способ автоматизированного построения маршрута логического вывода в базе знаний // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 28-43. EDN: UQEPGD.

11. Белоусова А.И. Использование миваров и многоуровневой модели гетерогенной мультиагентной системы на практике // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 1-1 (39). С. 39-45. EDN: NECGGX.

12. Васюгова С.А. О возможностях использования миварных технологий представления знаний и обработки данных для групп роботов и гетерогенных мультиагентных систем и сред // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 1-1 (39). С. 65-70. EDN: NECGIL.

13. Сергушин Г.С., Чибирова М.О., Елисеев Д.В. и др. Информационное моделирование сложных автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе миварных технологий // Искусственный интеллект. 2013. № 3. С. 126-138. EDN: TZBWRP.

14. Синцов М.Ю., Озерин А.Ю., Кузин А.А. и др. О развитии миварного подхода к интеллектуальному распознаванию образов для работы с трехмерными объектами // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 172-183. EDN: UQEP0Z.

15. Коценко А.А., Герасименко А.В., Калашникова А.В. и др. Методика применения миварной экспертной системы для автоматизированного поиска

нескольких траекторий робота // Естественные и технические науки. 2022. № 5 (168). С. 209-221. EDN: XSXYXM.

16. Осипов В. Г., Чувилов Д. А., Кривошеев О. В. и др. Планирование действий по обработке и сборке изделий в машиностроительном ИИ // Мивар'22. Москва: Издательский Дом "Инфра-М", 2022. С. 420-427. EDN LAJOSM.

17. Блохина С.В., Адамова Л.Е., Колупаева Е.Г. и др. Разработка учебных программ с элементами искусственного интеллекта для обучения в области информационной безопасности и защиты персональных данных // Искусственный интеллект. 2009. № 3. С. 328-335. EDN: TIFIGN.

18. Белоусов Е.А., Попов И.А., Евдокимов А.А. и др. Рекомендательная система диагностики сахарного диабета на основе механизма миварного вывода // Естественные и технические науки. 2021. № 7 (158). С. 169-174. EDN: JSFUSI.

19. Калашникова А.В., Коценко А.А., Сергеев И.В. и др. Миварная экспертная система "Психодиагностика" // Естественные и технические науки. 2022. № 6 (169). С. 282-290. EDN: WPNWXF.

20. Варламов О.О., Чувилов Д.А., Лемонджава В.Н. и др. Программный комплекс с поддержкой принятия решений о безопасности применения термолабильных компонентов крови // Медицинская техника. 2021. № 5 (329). С. 40-43. EDN: YZHHNV.

21. Мивар'22. Москва: Издательский Дом "Инфра-М", 2022. 440 с. EDN RQIFBK.