

УДК 004.82+007.52

Д. В. Аладин ^{1,2}

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
105005, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1, Москва, Россия

²АО НИИ Вычислительных комплексов им. М.А. Карцева
117437, ул. Профсоюзная, д. 108, Москва, Россия

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ МИВАРНЫХ БАЗ ЗНАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

D. V. Aladin ^{1,2}

¹Bauman Moscow State Technical University
105005, 2-ya Baumanskaya st., bld. 5, structure 1, Moscow, Russia

²JSC M.A. Kartsev Research Institute of Computing Systems
117437, Profsoyuznaya st., bld. 108, Moscow, Russia

MIVAR KNOWLEDGE BASE AUTOMATIC GENERATION METHOD FOR SOLVING MANAGEMENT TASKS IN STATE SPACE

Работа посвящена разработке метода автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний. Метод применяется для обработки информации с целью подготовки модели принятия решений (миварной базы знаний) для систем с искусственным интеллектом. Метод предлагает подход к подготовке исходных данных и знаний для генерации и модель автоматического генератора баз знаний, основанная на метаграфовом подходе описания гибридных интеллектуальных информационных систем.

Ключевые слова: миварный подход, метаграфовый подход, миварная база знаний, миварная сеть, метаграф, экспертная система, интеллектуальная система управления, планирование действий, пространство состояний

The paper is devoted to the development of a method for the automatic generation of mivar knowledge bases for solving management tasks in the State Space. The method is used to process information in order to prepare a decision-making model (mivar knowledge base) for systems with Artificial Intelligence. The method offers an approach to preparing source data and knowledge for generation and a model of an automatic knowledge base generator based on the Metagraph approach to describing hybrid intelligent information systems.

Keywords: mivar approach, metagraph approach, mivar knowledge base, mivar network, metagraph, expert system, intelligent control system, action planning, state space

Введение

С развитием технологий автоматизации и роботизации всё чаще можно наблюдать использование интеллектуальных систем управления в различных сферах [1]. Особенно актуальным становится создание систем, способных функционировать в условиях динамично изменяющейся среды. Циклические управленческие задачи представляют особый класс задач, требующих непрерывного мониторинга состояния предметной области и оперативного принятия решений. Такие задачи характерны для систем управления производственными процессами [2], роботизированными комплексами [3], сельскохозяйственными объектами [4], а также для систем поддержки принятия решений [5]. Данные задачи могут использовать различные способы решения. Например, для их решения может быть применён метод разбиения на подзадачи [6]. Данный метод основывается на понятиях состояния предметной области (ПрО), пространство состояний и действия в предметной области, которые формируют концептуальную модель предметной области (КМПрО).

Миварный подход к созданию интеллектуальных систем [7] может служить основой для решения управленческих задач в пространстве состояний. Он опирается на продукционные правила и линейно-вычислительную логику, обеспечивая гибкость, масштабируемость и линейную вычислительную сложность. Примеры прикладных решений приведены в [8] и [9].

Для работы миварных экспертных систем (МЭС) необходимы формализованные базы знаний, которые традиционно подготавливаются когнитологами на основе анализа ПрО. При решении задач МЭС строит логический вывод по таким базам, формируя решения для дальнейших действий или анализа. Подготовка и обработка баз знаний в миварном подходе реализуется через две технологии [7]: накопления и обработки информации. Дополнительно разработаны методики подготовки баз знаний [7].

Миварные базы знаний могут создаваться автоматически с помощью программных или интеллектуальных методов. Разнообразие этих методов обуславливает необходимость обобщённого подхода к проектированию и анализу взаимодействий между компонентами МЭС и генератором баз знаний. В качестве основы можно использовать концепцию гибридных интеллектуальных информационных систем (ГИИС), рассматривающая взаимодействие различных интеллектуальных методов в многоагентных системах. Для описания их структуры применяют метаграфовый подход [10].

Миварный и метаграфовый подходы предлагают свои собственные пространства для работы с КМПрО. Эти пространства позволяют преобразовывать данные между собой, что было показано в работах [11] и [12]. Благодаря этому можно использовать преимущества обоих подходов при проектировании и создании сложных и разнородных систем, таких, как ГИИС.

Цель данной работы заключается в совершенствовании процесса проектирования и анализа систем, использующих автоматическую генерацию миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний. Для достижения этой цели предлагается применять метаграфовый подход к описанию сложных информационных систем. Метаграфовый подход позволяет структурировать элементы системы и выявить взаимосвязи между ними, что способствует улучшению качества проектирования и анализа МЭС, ускорению процессов разработки и упрощению эксплуатации. Используя опыт разработки МЭС и исследования метаграфов, можно обобщить процесс создания баз знаний, определить этапы подготовки исходных данных для генерации и разработать модель генератора в виде подсистемы ГИИС. Таким образом, можно создать основу для метода автоматической генерации миварных баз знаний, предназначенного для решения управленческих задач в пространстве состояний.

Материалы и методы

Миварные сети для решения циклических управленческих задач в пространстве состояний. Миварный подход к созданию интеллектуальных систем для КМПрО предполагает использование миварного пространства [13] — многомерного дискретного пространства, описывающего ПрО через три компонента: вещь, свойство и отношение. Для работы применяется миварная сеть — плоский граф, формируемый из двудольных ориентированных графов. Его вершины — параметры (измеримые свойства) и правила (способы получения одних значений параметров при известных других). Рёбра указывают принадлежность параметров входному или выходному множеству правила. Формализация знаний в виде миварных сетей образует миварную базу знаний ПрО.

Каждый параметр и правило имеет уникальное имя. Значения параметров задаются при формализации базы, постановке задачи ПрО или в процессе логического вывода. Правило активируется при известности всех входных параметров и задаёт значения выходных. Все правила имеют продукционную форму «если..., то...» [7]. Логический вывод заключается в определении значений заданных параметров на основе исходных.

На рисунке 1 представлена миварная сеть правил в виде плоского графа. Параметры отображены в виде кругов с именем, правила — в виде прямоугольников с именем. Миварная сеть представлена тремя правилами R_1, R_2 и R_3 , а также семью параметрами $P_1, P_2, \dots, P_6$ и P_7 . Множества $IN_1 = \{P_1, P_2\}$, $IN_2 = \{P_4\}$ и $IN_3 = \{P_3, P_5\}$ являются входными множествами по отношению к правилам R_1, R_2 и R_3 соответственно, а множества $OUT_1 = \{P_3\}$, $OUT_2 = \{P_5, P_6\}$ и $OUT_3 = \{P_7\}$ — выходными множествами к тем же самым правилам. Задача построения логического вывода по миварной сети может звучать следующим образом: при известных значениях параметров P_1, P_2 и P_4 получить значения параметров P_6 и P_7 . Логический вывод будет представлен последовательностью правил R_1, R_2 и R_3 , действия которых вычисляют искомые параметры.

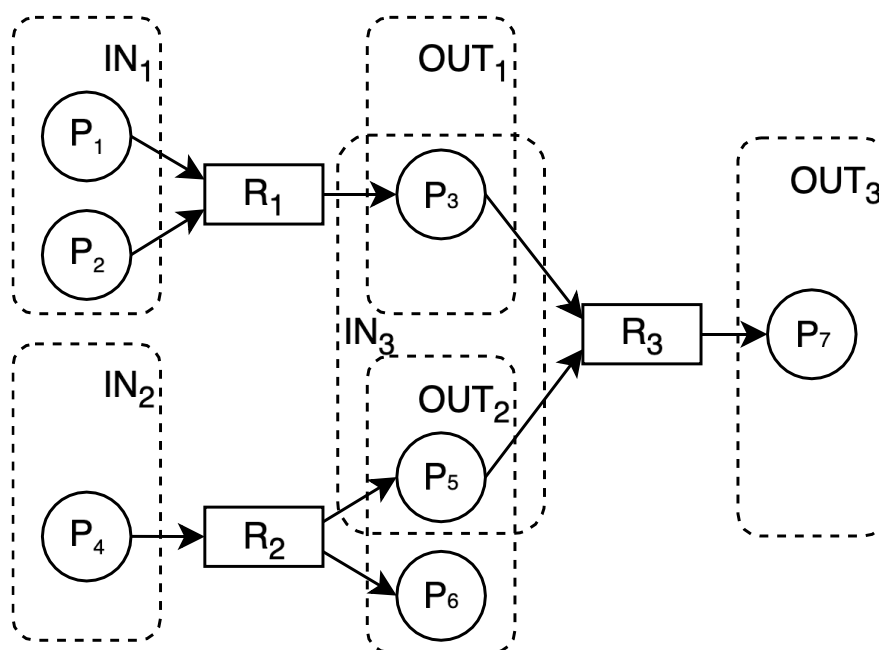


Рисунок 1 – Пример миварной сети правил и параметров

Миварный подход к созданию интеллектуальных систем может использоваться совместно с различными методами решения задач. Одним из таких методов является метод разбиения задачи на подзадачи [6], который включает: определение множества начальных состояний ПрО S_n ; совокупность операторов для перевода ПрО из одного состояния в другое G ; множество целевых состояний ПрО $S_{ц}$. Суть метода заключается в том, чтобы разбить задачу $T = \langle S_n, G, S_{ц} \rangle$ на такие подзадачи, которые можно решить с помощью одного из оператора множества G .

Примером системы, основанной на миварном подходе и методе разбиения задачи на подзадачи, является логическая интеллектуальная система обеспечения ухода за растениями (ЛИС ОУР) [4]. Она контролирует и корректирует микроклимат теплицы, анализируя данные с датчиков. База знаний формируется на основе технологических карт роста и учитывает техническое оснащение. Каждая подзадача представлена подграфом миварной сети и отвечает за управление конкретным оборудованием.

ЛИС ОУР относится к циклическим управленческим системам. Её цикл определяется технологическими картами, фазами дня и ночи, а также этапами роста растений. В общем виде цикл взаимодействия с внутренней средой теплицы выглядит так [4]: получение и анализ данных с датчиков, подготовка управленческого решения на основе решения подзадач, формирование и отправка управляющих сигналов на исполнительные устройства. Цикл может повторяться с заданной периодичностью, при изменении данных от систем мониторинга или запускаться таймером по технологической карте роста растения. ЛИС ОУР использует статические базы знаний, полностью разработанные когнитологами, однако в циклических системах возможно применение автоматизированной и автоматической генерации. Автоматическая генерация используется в миварной интеллектуальной системе планирования действий роботов (МИПРА) [14].

В МИПРА автоматическая генерация масштабирует базы знаний в зависимости от текущей задачи и состояния ПрО. Структура базы адаптируется к числу управляемых объектов по алгоритму, формализованному когнитологом. Для проектирования и исследования таких генераторов миварных баз знаний в циклических управленческих задачах можно применить метаграфовый подход [15].

Метаграфовый подход к представлению сложных информационных систем. В исследованиях [15] и [16] рассматривается метаграфовая модель ГИИС и её связь с мультиагентными системами. Метаграфовый подход позволяет представить компоненты ГИИС в виде агентов, каждый из которых описывается сложным графом.

В труде [16] подробно описан подход к формированию метаграфового пространства. Исследования [11] и [12] показывают, что при определённых условиях метаграфовое пространство может преобразовываться в миварное и обратно, что позволяет отображать миварную сеть в виде метаграфа для проектирования и исследования МЭС как части ГИИС [17]. Отображение метаграфа в миварную сеть для МЭС с автоматической генерацией баз знаний даёт возможность рассматривать генератор как подсистему ГИИС. Следовательно, для разработки модели генератора миварных сетей, решающего управленческие задачи в пространстве состояний, применимы метаграфовый подход и модель метаграфового агента.

Метаграф можно формализовать в виде кортежа $MG = \langle V, MV, E, ME \rangle$, где V — множество вершин, MV — множество метавершин, E — множество рёбер, ME — множество метарёбер. Каждая вершина (метавершина) и рёбро (метарёбро) характеризуется некоторым множеством атрибутов. Фрагмент метаграфа в общем виде можно представить как множество элементов, включающее произвольные вершины (мета-

вершины) и рёбра (метарёбра). Метавершина включает фрагмент метаграфа, у которого рёбра и метарёбра могут быть только ненаправленными. Метаребро включает фрагмент метаграфа, у которого рёбра и метарёбра могут быть только направленными. Детальное рассмотрение компонентов метаграфа представлено в труде [16].

Множество агентов ГИИС при использовании метаграфового подхода определяют следующим образом:

$$AG = \{ag_i\},$$

где ag_i — агент.

В рамках метаграфового подхода различают агент-функцию, метаграфовый агент, контейнерный агент и динамический агент. Данные виды агентов позволяют отобразить статическую и динамическую структуру ГИИС. Для разработки модели генератора миварной базы знаний интерес представляют агент-функция и метарафовый агент.

Агент-функция — это кортеж, который включает в себя входной метаграф MG_{IN} , выходной метаграф MG_{OUT} и абстрактное синтаксическое дерево AST :

$$ag^F = \langle MG_{IN}, MG_{OUT}, AST \rangle.$$

Метаграфовый агент можно представить в виде кортежа:

$$ag^M = \langle MG_D, \{r_i\}, AG^{ST} \rangle,$$

который состоит из метаграфа данных и знаний MG_D , на основе которого выполняются выполняются правила из множества r_i . Также в кортеж входит стартовое условие выполнения агента AG^{ST} , которое может быть представлено в виде фрагмента метаграфа.

Правило метаграфового агента r_i состоит из двух частей: антецедента MG_j (фрагмент метаграфа, на основе которого выполняется правило) и консеквента OP^{MG} (множество операций, которые выполняются над метаграфом). Формализованное представление правила метаграфового агента представляется в виде $MG_j \rightarrow OP^{MG}$.

Метаграфовые агенты способны работать с двумя видами правил: разомкнутыми и замкнутыми. Разомкнутые правила дают возможность агенту создавать новый метаграф на основе существующего, а замкнутые правила позволяют модифицировать уже имеющийся метаграф. Благодаря данной способности, а также возможности преобразования метаграфа в миварную сеть [12], можно представить генератор миварных баз знаний в виде метаграфового агента.

В основе метода автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний лежат результаты создания МИПРА [14]. Этот метод описывает процесс создания баз знаний, подготовку необходимых исходных данных и модель генератора баз знаний, которая используется при проектировании и разработке МЭС. Далее эти аспекты будут рассмотрены более подробно.

Метод автоматической генерации миварных баз знаний

Обобщённый процесс автоматической генерации миварных баз знаний. На рис. 2 представлена схема процесса автоматической генерации баз знаний, который реализуется в МИПРА.

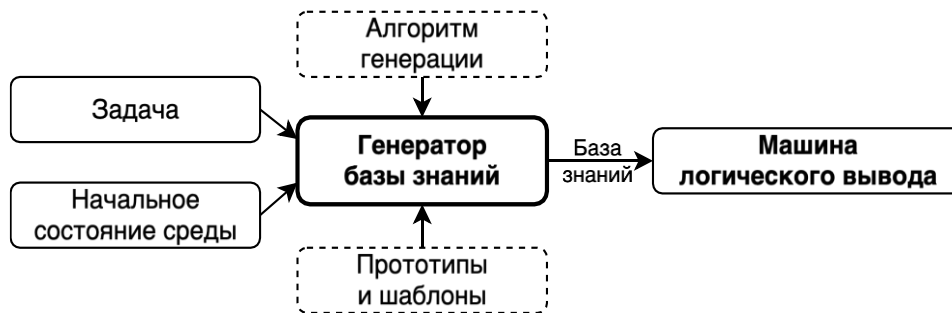


Рисунок 2 – Обобщённый процесс автоматической генерации базы знаний для решения задачи в пространстве состояний

В общем виде задача МИПРА формулируется как подготовка плана действий робота по переводу среды ПрО из текущего состояния в целевое с учётом её ограничений и возможностей робота. Для этого используется миварная база знаний, структура которой строится по методу разбиения задач на подзадачи: подграфы миварной сети отвечают за планирование действий над каждым объектом. Так как число объектов управления в среде может изменяться, применяется автоматическая генерация баз знаний. Она формирует миварную сеть, охватывающую все подзадачи и обеспечивающую решение текущей задачи планирования. В результате база знаний строится с учётом состояния среды ПрО и конкретной задачи.

Когнитолог, проведя системный анализ ПрО, разрабатывает обобщённый алгоритм для решения задач планирования. Для этого он заранее формализует и готовит фрагменты знаний. На основе этих фрагментов и алгоритма генерации, который подготавливает также когнитолог, генерируется миварная база знаний.

Фрагменты знаний включают в себя прототипы параметров и правил, а также шаблоны параметров и правил. Прототип параметра — параметр с заранее заданным значением, имя которого формируется при генерации. Используется для описания характеристик объектов управления, известных до постановки задачи планирования. Прототип правила — правило с фиксированным действием, имя и связи с параметрами которого задаются при генерации. Применяется для создания правил анализа состояния управляемых объектов. Шаблон параметра — параметр, имя и значение которого определяются при генерации. На его основе формируются параметры текущего состояния объектов управления. Шаблон правила — правило, действие, имя и связи с параметрами которого формируются при генерации. Используется для создания правил, задающих порядок выполнения подзадач.

Подготовка знаний для автоматической генерации миварных баз знаний. В работе [18] представлена методика подготовки баз знаний для роботов и робототехнических комплексов. Её можно использовать при автоматической генерации баз знаний для управленческих задач в пространстве состояний методом разбиения на подзадачи. Однако для её успешного применения когнитологу необходимо определить требования к исходным данным с учётом специфики задач. Например, для МИПРА можно сформулировать следующие требования [14]:

1. Алгоритм решения задачи с миварной базой знаний должен быть обобщаемым и масштабируемым, что обеспечивает адаптацию к числу объектов и создание прототипов и шаблонов параметров и правил для генерации базы знаний под конкретную задачу и состояние ПрО.

2. Решаемая задача должна быть декомпозируемой по объектам: каждая подзадача в МИПРА планирует действия над конкретным объектом.
3. ПрО должна включать множество однотипных объектов с одинаковыми способами взаимодействия и описания состояния. Прототипы и шаблоны обеспечивают добавление правил и параметров для анализа состояния объекта и определения следующего действия с учётом среды.

Для применения автоматической генерации миварных баз знаний в МЭС с целью решения управленческих задач в пространстве состояний, необходимо осуществить следующие действия:

1. Системный анализ ПрО: определить тип задач, которые будут решаться с помощью автоматически генерируемой базы знаний; разработать общий алгоритм для решения задач, для которых будет использоваться автоматическая генерация баз знаний; выявить и описать объекты управления, участвующие в процессе решения задач; сформулировать способ разбиения задач на подзадачи.
2. Подготовка основы для генерации базы знаний: формализовать знания, которые остаются постоянными при изменениях в ПрО; создать прототипы и шаблоны правил и параметров, которые будут реализовывать способ разбиения задач на подзадачи.
3. Разработка генератора базы знаний: описать алгоритм генерации базы знаний, с учётом типа решаемых задач и полученной основы базы знаний; создать инструмент, который будет автоматически генерировать базы знаний с учётом конкретной задачи и текущего состояния ПрО.

Модель автоматического генератора миварных баз знаний. Для обработки баз знаний в МЭС применяется машина логического вывода (МЛВ). Один из её представителей реализован в программном продукте КЭСМИ Wi!Mi «Разуматор» [7], где базы знаний хранятся в формате XML, а взаимодействие с другими программами осуществляется через программный интерфейс. МИПРА может использовать данную МЛВ для обработки автоматически создаваемых баз знаний. Поскольку загрузка осуществляется в формате XML, был разработан генератор баз знаний в виде программы-шаблонизатора.

Генератор может реализовываться и другими способами в зависимости от ограничений ПрО, специфики задач, опыта разработчиков и др. Для включения генератора в состав общей системы требуется его обобщённая модель. Предлагается рассматривать генератор как метаграфового агента и анализировать его в рамках ГИИС [15]. Модель такого агента приведена на рисунке 3 и основана на методе представления метаграфовых агентов [16].

Метаграфовый агент генератора базы знаний представляется как вершина метаграфа [16], внутри которой содержатся метавершины метаграфовых правил. Для примера рассматривается одно правило. Каждая метавершина правила включает вершины антецедента и консеквента, где условия и действия задаются атрибутами. С агентом связан метаграф MG_1 , определяющий выполнение его правил (связь через ребро e_4). В MG_1 выделяются фрагменты mv_1 , mv_2 и mv_3 . Стартовое условие работы агента описывается фрагментом mv_1 , который связывается через ребро e_1 с атрибутом $start=true$. Первое правило к выполнению также помечается атрибутом $start=true$. Фрагмент mv_2 соединён ребром e_2 с антецедентом метаграфового правила 1, а mv_3 — ребром e_3 с его консеквентом.

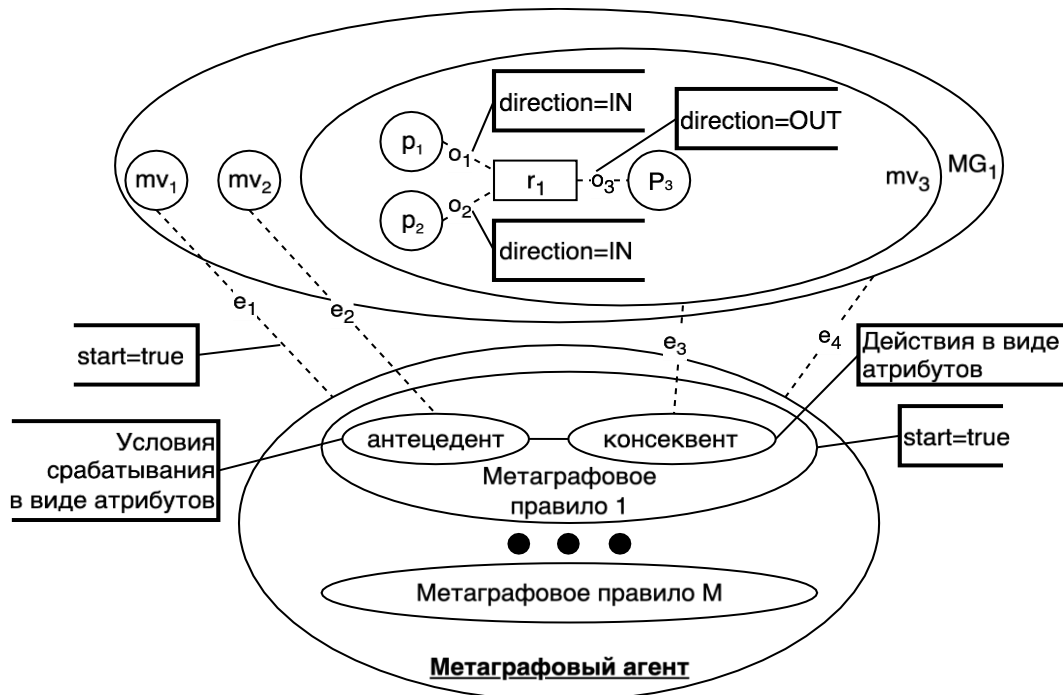


Рисунок 3 – Модель генератора миварных сетей для решения управленческих задач в пространстве состояний

Как ранее упоминалось, метаграфовые правила могут быть разомкнутыми и замкнутыми. Поэтому метаграфовый агент может порождать фрагмент метаграфа. Метаграф при соблюдении определённых условий можно преобразовать в миварную сеть и обратно, например, как описано в работах [11] и [12]. Как показано на рис. 3 в результате срабатывания метаграфового правила 1 порождается фрагмент метаграфа, у которого ребра o_1 , o_2 и o_3 и вершины r_1 , p_1 , p_2 и p_3 . Данный фрагмент представлен ненаправленным графом и является отображением подграфа миварной сети. Для указания принадлежности миварных параметров входному или выходному множеству правила r_1 используются атрибуты: атрибут $direction=IN$ указывает на то, что параметр относится к входному множеству, атрибут $direction=OUT$ - к выходному множеству. Значения параметров и указатели на действия правил могут также быть представлены атрибутами вершин.

Обсуждение

Применение метода автоматической генерации миварных баз знаний для управленческих задач в пространстве состояний даёт МЭС ряд преимуществ.

Динамическая адаптация МЭС под изменения среды ПрО. Предложенный метод обеспечивает автоматическое масштабирование баз знаний в зависимости от числа управляемых объектов за счёт предварительно формализованных фрагментов. Когнитолог описывает алгоритм в обобщённом виде, а МЭС адаптирует его под текущее состояние ПрО и задачу, реагируя на изменения количества и состояния объектов.

Формализация интерфейсов взаимодействия генератора баз знаний. Для этого используется преобразование метаграфового пространства в миварное [11] и обратно [12], что структурирует знания и данные между генератором и компонентами МЭС, обеспечивая корректную интерпретацию при смене формата.

Поддержка различных методов генерации баз знаний. Метаграфовый подход позволяет описывать агентов на основе продукционных правил, нейросетей, нечёткой логики, эволюционных и других ИИ-методов [15]. Использование метаграфового агента как модели генератора баз знаний абстрагирует от технических реализаций и фокусируется на архитектуре МЭС, представляя её как граф взаимосвязанных компонентов с возможностью замены элементов без нарушения структуры.

Таким образом, метод служит инструментом проектирования и анализа МЭС, повышая её гибкость и адаптивность к изменениям среды ПрО.

Заключение

В ходе проведенного исследования был разработан и обоснован метод автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний. Данный метод позволяет создавать МЭС, способные адаптироваться к изменениям предметной области путем динамического масштабирования баз знаний в зависимости от количества управляемых объектов. Ключевым преимуществом метода является возможность использования предварительно формализованных фрагментов знаний, что дает когнитологу возможность описывать алгоритм решения задачи в обобщенном виде, а системе — самостоятельно адаптировать его под конкретное состояние ПрО и конкретную задачу.

Предложенный метаграфовый подход к представлению генератора миварных баз знаний в виде сложного графа позволяет абстрагироваться от конкретных технических реализаций и сосредоточиться на анализе общей архитектуры МЭС. Это даёт возможность рассматривать систему как взаимосвязанный комплекс компонентов, где каждый элемент может быть модифицирован или заменен без нарушения общей структуры, что существенно расширяет возможности проектирования и анализа МЭС.

Список литературы

1. Казаков Г.В., Старчак С.Л., Григоренко В.М. Методы искусственного интеллекта - очередной этап развития интеллектуальных методов обработки информации в системах управления. *Искусственный интеллект. Теория и практика*. 2024. № 3(7). С. 44-48. EDN CZDYBK.
2. Коценко А.А., Герасименко А.В., Калашникова А.В., Базанова А.Г., Аладин Д.В. Машиностроительный искусственный интеллект: разработка миварной методики для поиска траекторий робота и решения оптимизационных задач. *Машиностроительные технологические системы: сборник трудов Международной научно-технической конференции* / Ростов-на-Дону, 26–29 мая 2022 года. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. С. 363-370. EDN CZHLRS.
3. Шэнь Ц., Гун Ш., Лю Ч., Лю А., Тимофеев В.Б., Варламов О.О. Алгоритм планирования траектории робота на основе технологии обнаружения объектов с использованием МЭС. *МИВАР'24: сборник научных статей* / Москва, 18–20 апреля 2024 года. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 367-373. EDN IDJPYA.
4. Аладин Д.В., Аладина Е.В., Чувилов Д.А., Варламов О.О., Адамова Л.Е. О проекте создания в цифровом сельском хозяйстве "логической интеллектуальной системы обеспечения ухода за растениями" на основе миварного подхода. *Форум инновационных транспортных технологий, наземные интеллектуальные транспортные средства и системы: объединённый международный онлайн форум* / Москва, 14–15 октября 2020 года. Москва: Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт "НАМИ", 2020. С. 1156-1164. EDN IJHZVC.
5. Чувилов Д.А. Создание платформы реконструкции и экспертизы аварийных событий дорожно-транспортных происшествий на базе логического искусственного интеллекта. *Труды Международного научно-технического конгресса "Интеллектуальные системы и информационные технологии - 2024"* ("ИС & ИТ-2024"); научное издание в 2-х томах / Таганрог, 01–08 сентября 2024 года. Таганрог: Ступина С.А., 2024. Т. 1. С. 67-73. EDN CQXGJG.
6. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях. Москва: Финансы и статистика, 2012. 663 с. EDN QMXCUB.

7. Варламов О.О., Чибилова М.О., Хадиев А.М., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Шошев И.А., Назаров К.В. *Практикум по созданию миварных экспертных систем*. Москва: МИВАР, 2016. 184 с. EDN LHTCBV.
8. Салахутдинова Н.Ч., Варламов О.О. Применение миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2025. Т. 27, № 2. С. 55-73. DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73. EDN LELPHS.
9. Торжков М.С., Королева Ю.П., Балдин А.В., Коценко А.А., Шэнь Ц. Создание миварной экспертной системы для выполнения этических аспектов искусственного интеллекта для скоринга кредитования. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024. № 4(35). С. 139-150. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN BHOQXX.
10. Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И., Злобина С.В., Кадиев З.Д. Обзор подходов к векторному представлению графов знаний и метаграфов. *Динамика сложных систем - XXI век*. 2019. Т. 13, № 2. С. 67-74. DOI 10.18127/j19997493-201902-09. EDN SGAIWY.
11. Соболева Е.Д., Попова И.А., Макаров Д.А., Балдин А.В., Ковалева Н.А. Методика преобразования из миварной модели представления знаний в метаграфовую. *Мивар'22: сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М, 2022. С. 228-235. EDN PLEBVY.
12. Соболева Е.Д., Попова И.А., Макаров Д.А., Балдин А.В., Ковалева Н.А. Методика преобразования из метаграфовой модели представления знаний в миварную. *Мивар'22: сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М, 2022. С. 220-227. EDN PWUETC.
13. 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. EDN RWTCOP.
14. Varlamov O., Aladin D. A New Generation of Rules-based Approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and Brains for Autonomous Robots. *Machine Intelligence Research*. 2024. Vol. 21, No. 5. P. 919-940. DOI 10.1007/s11633-023-1473-1. EDN TSPUOP.
15. Черненький В.М., Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И., Терехов В.И., Каганов Ю.Т. Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем. *Прикладная информатика*. 2017. Т. 12, № 3(69). С. 57-79. EDN YTYNQN.
16. Гапанюк Ю.Е. Конспект лекций по спецкурсу "Гибридные интеллектуальные информационные системы на основе метаграфового подхода". Москва: Спутник+, 2018. 56 с. EDN UZGXTQ.
17. Варламов О.О., Терехов В.И., Сухобоков А.А., Гапанюк Ю.Е. Использование многомерной открытой гносеологической активной сети (MOGAN) в гибридных интеллектуальных информационных системах. *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы VI Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием* / Калининград, 27 июня – 01 июля 2022 года. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2022. С. 151-158. DOI 10.5922/978-5-9971-0687-4-6. EDN SKEXGV.
18. Варламов О.О. О требованиях к подготовке исходных данных для миварных систем принятия решений роботов. *Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных: сборник статей II Всероссийской научной конференции* / Москва, 27–28 апреля 2023 года. Москва: Издательский дом КДУ, Добросвет, 2023. Т. 3. С. 15-20. EDN KHCQBC.

References

1. Kazakov G.V., Starchak S.L., Grigorenko V.M. Artificial intelligence methods are the next stage in the development of intelligent information processing methods in control systems // *Artificial intelligence. Theory and practice*. 2024. No. 3(7). P. 44-48. EDN CZDYBK.
2. Kotsenko A.A., Gerasimenko A.V., Kalashnikova A.V., Bazanova A.G., Aladin D.V. Mechanical engineering artificial intelligence: development of mivar technique for finding robot trajectories and solving optimization problems // *Mechanical engineering technological systems: proceedings of the International Scientific and Technical Conference / Rostov-on-Don, May 26-29, 2022*. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022. P. 363-370. EDN CZHLRS.
3. Shen Q., Gong Sh., Liu Zh., Liu An., Timofeev V.B., Varlamov O.O. Robot path planning algorithm based on object detection technology using MES // *MIVAR'24: collection of scientific articles / Moscow, April 18-20, 2024*. Moscow: INFRA-M, 2024. P. 367-373. EDN IDJPYA.
4. Aladin D.V., Aladina E.V., Chuvikov D.A., Varlamov O.O., Adamova L.E. About project to create "logical intelligent plant care system" in digital agriculture based on mivar approach // *Forum of Innovative Transport Technologies, Land-based Intelligent Vehicles and Systems: joint international online forum / Moscow, October 14-15, 2020*. Moscow: Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute "NAMI", 2020. P. 1156-1164. EDN IJHZVC.
5. Chuvikov D.A. Creation of the platform for reconstruction and examination of emergency events of road accidents based on logical artificial intelligence // *Proceedings of the International Scientific and Technical Congress "Intelligent Systems and Information Technologies - 2024" ("IS&IT'24"): scientific publication in 2 volumes / Taganrog, September 01-08, 2024*. Taganrog: Stupina S.A., 2024. Vol. 1. P. 67-73. EDN CQXGJG.

6. Bolotova L.S. Artificial intelligence systems: knowledge-based models and technologies. Moscow: Finance and Statistics, 2012. 663 p. EDN QMXCUB.
7. Varlamov O.O., Chibirova M.O., Khadiev A.M., Antonov P.D., Sergushin G.S., Shoshev I.A., Nazarov K.V. Practicum on creating mivar expert systems. Moscow: MIVAR, 2016. 184 p. EDN LHTCBV.
8. Salakhutdinova N.Ch., Varlamov O.O. The use of mivar expert systems for diagnosis of bacterial antibiotic resistance // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2025. Vol. 27, No. 2. P. 55-73. DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73. EDN LELPHS.
9. Torzhkov M.S., Koroleva Yu.P., Baldin A.V., Kotsenko A.A., Shen Q. Creation of a mivar expert system for implementing ethical aspects of artificial intelligence for credit scoring // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 4(35). P. 139-150. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN BHOQXX.
10. Gapanyuk Yu.E., Revunkov G.I., Zlobina S.V., Kadiyev Z.D. Overview of approaches of knowledge graphs and metagraphs embeddings // Dynamics of Complex Systems - XXI century. 2019. Vol. 13, No. 2. P. 67-74. DOI 10.18127/j19997493-201902-09. EDN SGAIWY.
11. Soboleva E.D., Popova I.A., Makarov D.A., Baldin A.V., Kovaleva N.A. The method of transformation from a mivar model of knowledge representation to a metagraph model // MIVAR'22: collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2022. P. 228-235. EDN PLEBVY.
12. Soboleva E.D., Popova I.A., Makarov D.A., Baldin A.V., Kovaleva N.A. The method of transformation from a metagraph model of knowledge representation to a mivar model // MIVAR'22: collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2022. P. 220-227. EDN PWUETC.
13. Varlamov O.O. Evolutionary databases and knowledge bases for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space. Moscow: "Radio and communication", 2002. 286 p. EDN RWTCOP.
14. Varlamov O., Aladin D. A New Generation of Rules-based Approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and Brains for Autonomous Robots // Machine Intelligence Research. 2024. Vol. 21, No. 5. P. 919-940. DOI 10.1007/s11633-023-1473-1. EDN TSPUOP.
15. Chernenkiy V.M., Gapanyuk Yu.E., Revunkov G.I., Terekhov V.I., Kaganov Yu.T. Metagraph approach for hybrid intelligent information systems description // Applied Computer Science. 2017. Vol. 12, No. 3(69). P. 57-79. EDN YTYNQN.
16. Gapanyuk Yu.E. Lecture notes on the special course "Hybrid intelligent information systems based on the Metagraph approach". Moscow: Sputnik+, 2018. 56 p. EDN UZGXTQ.
17. Varlamov O.O., Terekhov V.I., Sukhobokov A.A., Gapanyuk Yu.E. The use of a multidimensional open gnoseological active network (MOGAN) in hybrid intelligent information systems // Hybrid and Synergetic Intelligent Systems: 5th All-Russian Pospelovsky Conference with International Participation Proceedings / Kaliningrad, June 27 – July 01, 2022. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2022. P. 151-158. DOI 10.5922/978-5-9971-0687-4-6. EDN CKEXGV.
18. Varlamov O.O. About requirements for preparation of initial data for mivar robot decision making systems // Artificial intelligence in management, control, and data processing systems: proceedings of the II All-Russian Scientific Conference / Moscow, April 27-28, 2023. Moscow: Publishing House "KDU", Dobrosvet, 2023. Vol. 3. P. 15-20. EDN KHCQBC.

RESUME

Aladin D.V.

Mivar knowledge base automatic generation method for solving management tasks in state space

The paper is devoted to the development of a method for the automatic generation of mivar knowledge bases for solving management tasks in the State Space. The research is based on the integration of Mivar and Metagraph approaches, which makes it possible to design and develop flexible and scalable solutions for various subject areas.

The paper discusses the basics of the Mivar approach and the Metagraph approach for describing complex information systems. The automatic generation method includes an analysis of existing solutions, the development of a generalized knowledge base generation process, and the creation of a generator model based on the Metagraph approach.

The proposed method also concerns the development of mivar knowledge bases and the preparation of the basis for their generation. Special attention is paid to the automatic generation process, which takes into account the current state of the subject area and the specifics of the tasks being solved.

The method provides dynamic adaptation of the system to changes in the environment due to automatic scaling of knowledge bases. Key advantages include the ability to formalize component interaction interfaces and support various knowledge base generation methods, which makes the system more versatile and flexible.

The developed method is an effective tool for designing intelligent management systems. Its application makes it possible to create adaptive systems capable of working in various fields: production processes, robotic complexes and agricultural facilities. The results of the study can serve as a basis for further development of mivar automatic management technologies.

РЕЗЮМЕ

Аладин Д.В.

Метод автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний

Статья посвящена разработке метода автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний. Исследование основывается на интеграции миварного и метаграфового подходов, которые позволяют проектировать и разрабатывать гибкие и масштабируемые решения для различных предметных областей.

В работе рассматриваются основы миварного подхода и метаграфовый подход для описания сложных информационных систем. Метод автоматической генерации включает анализ существующих решений, разработку обобщенного процесса генерации баз знаний и создание модели генератора на основе метаграфового подхода.

Предложенный метод также касается разработки миварных баз знаний и подготовки основы для их генерации. Особое внимание уделяется процессу автоматической генерации, который учитывает текущее состояние предметной области и специфику решаемых задач.

Метод обеспечивает динамическую адаптацию системы к изменениям среды за счет автоматического масштабирования баз знаний. Ключевые преимущества включают возможность формализации интерфейсов взаимодействия компонентов и поддержку различных методов генерации баз знаний, что делает систему более универсальной и гибкой.

Разработанный метод представляет собой эффективный инструмент для проектирования интеллектуальных систем управления. Его применение позволяет создавать адаптивные системы, способные работать в различных сферах: производственных процессах, роботизированных комплексах и сельскохозяйственных объектах. Результаты исследования могут служить основой для дальнейшего развития миварных технологий автоматического управления.

Аладин Дмитрий Владимирович, aladin.dv@yandex.ru, 1) аспирант кафедры «Системы обработки информации и управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, 2) младший научный сотрудник АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева».

Область научных интересов: искусственный интеллект, экспертные системы, логика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, принятие решений, кибернетика, автономные робототехнические комплексы

Статья поступила в редакцию 13.08.2025.