

Математическое моделирование интеллектуальных самоорганизующихся систем: реализация механизма планирования действий

М.Ф. Степанов¹, А.М. Степанов²

¹Саратовский государственный технический университет, ул. Политехническая, 77, Саратов, Россия, 410054

²Институт проблем точной механики и управления РАН, ул. Рабочая, 24, Саратов, Россия, 410028

Аннотация. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления (ИССАУ) предназначены для работы в условиях изменения не только внешней среды, параметров объекта управления, но и целей управления. Как следствие, постановка задачи синтеза нового, более адекватного текущей ситуации, закона управления ставится декларативно (непроцедурно), т.е. без указания последовательности действий по её решению. В связи с этим ИССАУ используют в качестве средства самоорганизации интеллектуальную подсистему автоматического решения задач синтеза закона управления. Её интеллектуальность обусловлена способностями решения новых, непроцедурно поставленных задач на основе знаний, доставляемых моделью проблемной области автоматического управления. Для разработки и исследования ИССАУ создан программный комплекс МИССАУ и МИСС – Моделирование Интеллектуальных Самоорганизующихся Систем. В системах МИССАУ/МИСС средства автоматического решения задач синтеза закона управления унаследованы от системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И. Для решения декларативно поставленных задач ключевой проблемой является планирование действий. Для повышения эффективности в качестве механизма планирования действий в ИССАУ применяются планирующие искусственные нейронные сети (ПИНС). Построенный с помощью ПИНС план решения задачи исполняется пакетом прикладных программ, реализующих проектные операции синтеза и анализа систем управления. В данной работе рассматриваются вопросы реализации средств представления знаний о методах решения задач управления и решения на их основе непроцедурно поставленных задач.

1. Введение

К интеллектуальным системам управления традиционно [1]-[3] относят системы управления, построенные на основе технологий экспертных систем [4], технологий нейросетевых структур [5], технологий ассоциативной памяти [1], [3], технологий нечеткой логики [3]. Однако не все из них могут в полной мере считаться «интеллектуальными». Собственно термин «интеллектуальный» правильно [6] следует трактовать, как «способный решать интеллектуальные (новые) задачи». При этом термин «интеллектуальные (новые) задачи» означает «неизвестные ранее» для субъекта или функциональной системы [7], которым поставлена задача. Для небольших проблемных областей, например, «мир кубиков» [6],

ограниченный замкнутым помещением, в котором «живёт» робот, решающий задачи перемещения кубиков, в принципе можно перечислить все задачи и предварительно найти (и записать, сохранить) процедуры их решения. Тогда и новые (интеллектуальные) задачи в таком мире не возникают. Для сложных проблемных областей дело обстоит иначе.

Однако, в интенсивно развивающейся проблемной области автоматического управления разнообразие видов объектов управления, условий их функционирования (внешней среды), целей управления обусловили создание нарастающего колоссального количества различных методов, сферы применимости большинства из них весьма ограничены, хотя часто и пересекаются. В связи с этим определить наиболее подходящую процедуру, решающую конкретную задачу управления на основе адекватного метода теории автоматического управления становится всё более трудно. Поэтому перед разработчиком систем управления всё чаще возникают именно «интеллектуальные» задачи. В условиях стеснённости в сроках он всё более нуждается в средствах автоматизации проектирования систем управления (CAE/CAD/CAM). Однако современные системы, за редким исключением, предоставляют проектировщику возможности выполнения проектных операций процедур решения задач, в конечном счёте, в командном режиме. Иначе говоря, пользователь, по сути, должен определить порядок выполнения действий для решения своей конкретной задачи с использованием встроенных функций системы автоматизации, реализующих проектные операции. Естественным образом повысить степень автоматизации позволяет использование предопределённых (предварительно сохранённых) процедур. Однако этот путь, как правило, ограничивается широко распространёнными типовыми процедурами, поскольку у инженера-проектировщика на это нет времени, а создатели средств автоматизации не всегда имеют возможность привлекать высококвалифицированных специалистов собственно в теории автоматического управления для построения необходимых процедур. В конечном счёте, всё сводится к включению в состав средств автоматизации решения задач подсистем разработки процедур решения задач на основе использования имеющихся в системе функциональных возможностей. Классическим примером может служить популярный в среде специалистов в теории управления пакет Matlab [8]. Однако количество таких процедур «растёт не по дням, а по часам» в связи с интенсивным развитием собственно теории управления.

Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления (ИССАУ) [9] в качестве отличительной черты обладают возможностями решения декларативно (непроцедурно) поставленных задач. Это обусловлено тем, что автоматическая система функционирует автономно, без участия человека. Поэтому даже при наличии некоторого количества предварительно подготовленных типовых проектных процедур для решения типовых задач возникновение новой задачи, для которой такой процедуры нет, весьма вероятно. Разумеется, что интеллектуальные способности средств автоматического решения декларативно поставленных задач ограничены используемой моделью знаний о методах решения задач проблемной области. Но в рамках используемой модели знаний такая система способна решать непроцедурно поставленные задачи. Очевидно, что средства разработки ИССАУ должны обладать средствами формирования и обработки знаний в рамках используемого формализма представления знаний. Средства же манипулирования знаниями (использования для решения задач) должны включаться в состав ИССАУ в качестве подсистемы, реализующей способности решения задач управления «на борту». Таким образом, ИССАУ в полной мере могут быть отнесены к полноценным интеллектуальным системам.

Для разработки и исследования ИССАУ создан программный комплекс моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления, локальная версия которого получила сокращённое наименование МИССАУ [10], а распределённая клиент-серверная версия – МИСС. В системе МИССАУ (МИСС) средства автоматического решения задач управления унаследованы от системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И [11]. Развитием системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И является система ГАММА-3 [12] (ГАММА-3Ω [13] - облачный вариант реализации). Как любая система представления и обработки знаний подсистема автоматического решения задач управления обладает не только средствами визуализации знаний, но и, что важнее для автоматизированных систем проектирования интеллектуальных

систем, средствами визуализации хода решения задач. Общеизвестно, что методы планирования действий весьма требовательны к ресурсам (память и время). Поскольку ИССАУ должны функционировать в режиме реального времени, то требования к скорости (затратам времени) решения задач являются доминирующими. Для повышения эффективности в качестве механизма планирования действий применяется специальный класс средств параллельной обработки информации – планирующие искусственные нейронные сети (ПИНС) [14]. Как средство параллельной обработки информации ПИНС позволяют быстро получить решение. С другой стороны, для разработчика средств автоматизации создаются дополнительные трудности, обусловленные сложностью визуализации хода выполнения параллельных процессов при их моделировании в системе автоматизации проектирования интеллектуальных систем.

2. Модель представления знаний предметной области теории управления

В [15] предложено формализованное представление знаний теории управления (модель предметной области):

$$M = \langle D, \mathfrak{R}, O \rangle, \tag{1}$$

где $D = \{d_i / d_i = \langle \mathfrak{Z}(d_i), \wp(d_i), \mathfrak{N}(d_i), \Xi(d_i) \rangle\}$ – множество формализованных обобщений математических моделей компонентов систем управления, называемых «предметами», обладающих:

$$\text{свойствами } \rho_j \in \wp(d_i) = \{\rho / \rho \in \{true / false\}\};$$

характеристиками $\chi_j \in \mathfrak{N}(d_i) = \{\chi_{k_i} / \chi_{k_i} \in C^{N_{k_i}} \times C^{N_{k_i}} \times \dots \times C^{N_{k_i}}\}$, где C – множество комплексных чисел;

формами математических моделей $\mu_j \in \mathfrak{Z}(d_i) = \{\mu_1, \dots, \mu_{r_j}\}$, где $\mu_j = \langle r_j, m_j \rangle$, $r_j = \{r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jk} / r_{jl} \in N\}$ – множество размерностей компонентов (матриц) математической модели μ_j , $m_j = \{m_{jk} / m_{jk} \in C^{r_{j1}} \times C^{r_{j2}} \times \dots \times C^{r_{jk}}\}$ – множество коэффициентов компонентов (матриц m_{jk}) математической модели μ_j ;

классификационными признаками, представляющими собой выделенные свойства предметов $\xi_j \in \Xi(d_i) \subseteq \wp(d_i)$;

$\mathfrak{R} = \{r / r = \langle c, s, g \rangle : \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{Z} \cup \mathfrak{R} \cup O \rightarrow \{true / false\}\}$ – множество отношений (предикатов) над предметами, их компонентами и атрибутами, действиями (операциями);

$O = \{o / o = \langle c, s, g, q \rangle : \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{Z} \cup \mathfrak{R} \rightarrow \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{Z} \cup \mathfrak{R}\}$ – множество действий (операций) над предметами и их атрибутами.

Действия $o_i = \langle c_i, s_i, g_i, q_i \rangle \in O$ и отношения $r_i = \langle c_i, s_i, g_i \rangle \in \mathfrak{R}$ характеризуются своими атрибутами: $c_i \in \wp \cup \mathfrak{R}$ – условия применимости, $s_i \in \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{Z}$ – исходные данные, $g_i \in \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{Z} \cup \mathfrak{R}$ – результат выполнения действия (операции), $q_i \in \mathfrak{R}$ – требования к результату выполнения действия (операции).

Модель вида (1) является внешней (пользовательской) формой представления знаний. Именно в такой форме специалисты-эксперты в теории управления разрабатывают фрагменты формализованного представления знаний о методах решения задач теории управления. В связи с этим и средства подготовки и визуализации знаний в системе ИНСТРУМЕНТ-3м-И, а, следовательно, и в системах МИССАУ (МИСС), ГАММА-3 поддерживают именно такой подход к формализации знаний.

3. Работа со знаниями

В связи с принципиальным различием целей инженеров-проектировщиков систем управления (разработка конкретных систем управления) и экспертов-исследователей (разработка новых

методов решения как известных, так и новых задач), в системе ИНСТРУМЕНТ-3м-И, а вслед за ней и в системах МИССАУ (МИСС), ГАММА-3 (ГАММА-3Ω) разработаны рабочие среды для различных категорий пользователей: «Среда инженера» и «Среда исследователя». Среда инженера предоставляет пользователю возможности решения задач в декларативной постановке на основе *использования* имеющихся знаний системы. Среда исследователя предназначена для экспертов и предоставляет возможности разработки новых методов решения задач, реализуя их в виде процедур (последовательности выполнения проектных операций); разработки (формализации) знаний о методах решения задач управления в виде (1); разработки тестовых задач проверки полноты и непротиворечивости знаний. Поэтому далее основной акцент сделаем на работу в Среде исследователя. Действия, используемые в модели знаний классифицируются на *элементарные* и *укрупненные*. Элементарные действия (операции) задаются процедурально в виде программных модулей, оформляемых прикладными программистами в форме библиотек динамической загрузки. Подключение элементарных действий к системе осуществляется исследователем посредством указания имени программного модуля и имени библиотеки, его содержащей. Укрупненные действия представляют собой совокупность других действий (элементарных или укрупненных), порядок выполнения которых определяется планом на проблемно-ориентированных языках Инструмент-3м (предназначен для разработки планов решения задач исследователем) или Инструмент-ОП (предназначен для представления планов решения задач, построенных с помощью ПИНС). Язык Инструмент-3м предоставляет стандартные управляющие конструкции, настраиваемые пользователем лексику и набор операций, позволяя адаптировать язык к требованиям пользователя, приближая их к профессиональному языку специалиста в предметной области. Подсистема представления знаний позволяет разрабатывать и хранить в системе произвольное количество моделей проблемной области (ограничено размером доступной внешней памяти). Все модели знаний имеют одинаковую структуру (1). Поскольку в модели (1) декларативная и процедурная составляющие чётко разделяются, то и реализация средств их представления также просто разделены: декларативная составляющая (описания предметов, действий и отношений) заносится в базу данных, а процедурная составляющая (программная реализация действий модели) хранится в виде программных модулей, размещаемых в библиотеках динамической загрузки. Соответственно только декларативная составляющая моделей знаний отображается средствами визуализации. Процедурная составляющая проявляется только во время решения конкретных задач.

На рис. 1-3 представлен характерный вид экранной формы визуализации компонентов модели представления знаний (Предметы, Действия, Отношения) среды исследователя системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И. В системах МИССАУ (МИСС), ГАММА-3 (ГАММА-3Ω) имеются некоторые отличия, обусловленные, в том числе, их реализацией в виде распределенных систем обработки информации.

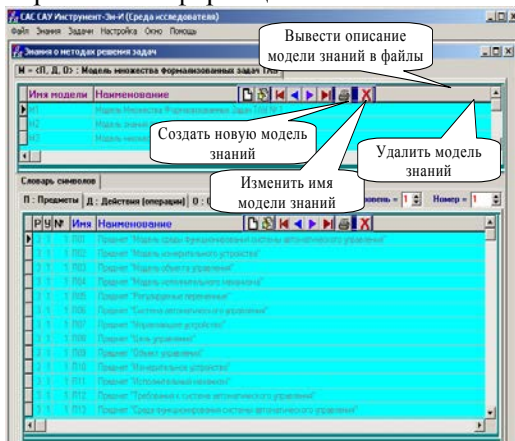


Рисунок 1. Вид экранной формы визуализации компонентов модели представления знаний (предметы).

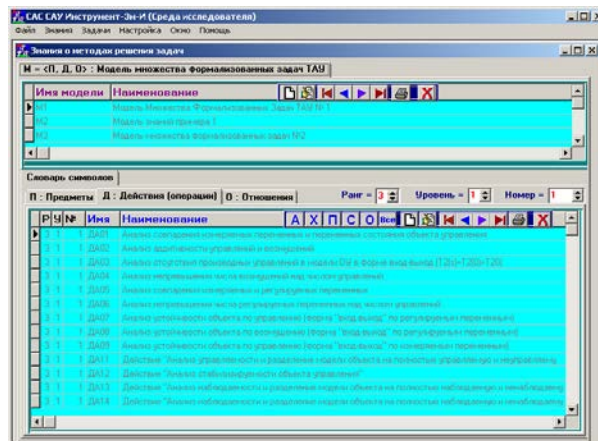


Рисунок 2. Вид экранной формы визуализации компонентов модели представления знаний (действия).

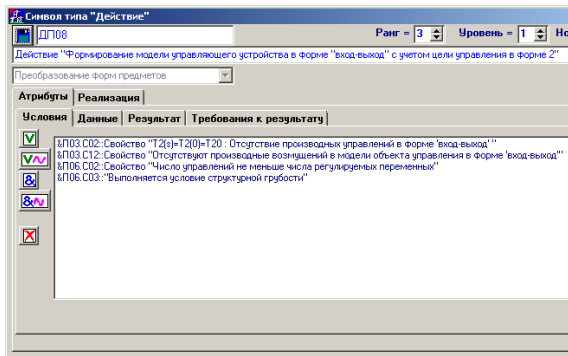


Рисунок 3. Вид экранной формы визуализации действия модели представления знаний (атрибут «Условия применимости»).

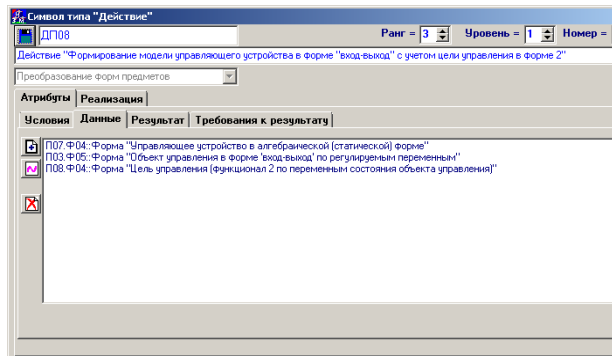


Рисунок 4. Вид экранной формы визуализации действия модели представления знаний (атрибут «Исходные данные»).

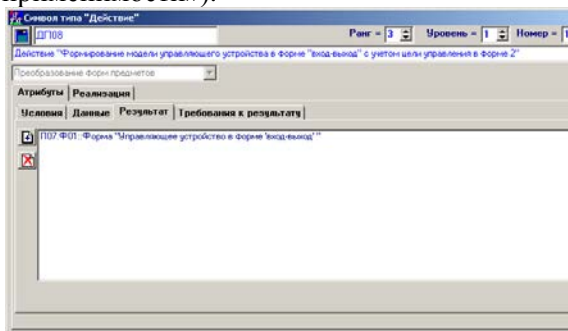


Рисунок 5. Вид экранной формы визуализации действия модели представления знаний (атрибут «Искомый результат»).

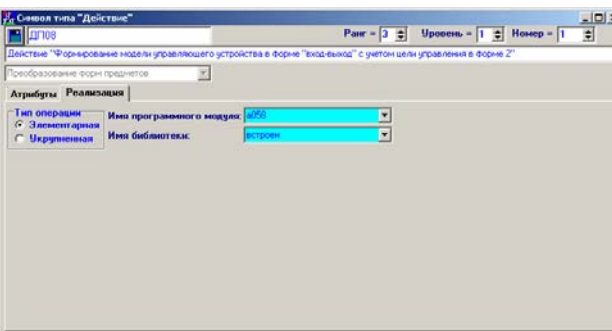


Рисунок 6. Вид экранной формы визуализации действия модели представления знаний (атрибут «Реализация»).

На рис. 4-6 представлены фрагменты формы описания действий модели (1), включая декларативную процедурную составляющие. На рис. 7 представлена экранная форма списка задач на модели знаний, а на рис. 8 - экранная форма визуализации атрибутов задач на модели представления знаний.

Среда исследователя предоставляет возможность решать задачи в автоматическом или пошаговом режиме, удобном для контроля корректности модели знаний на решении тестовых задач (рис. 9-12).

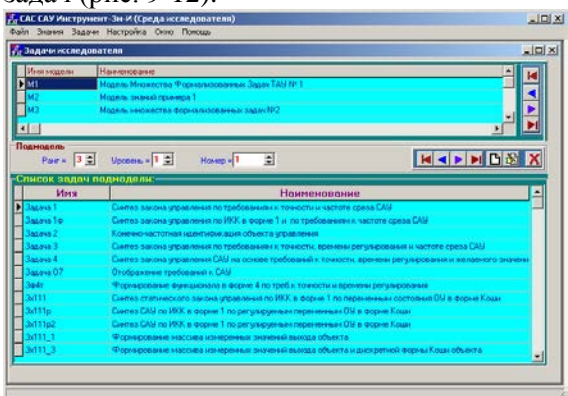


Рисунок 7. Вид экранной формы визуализации задач на модели представления знаний (список задач модели M1).

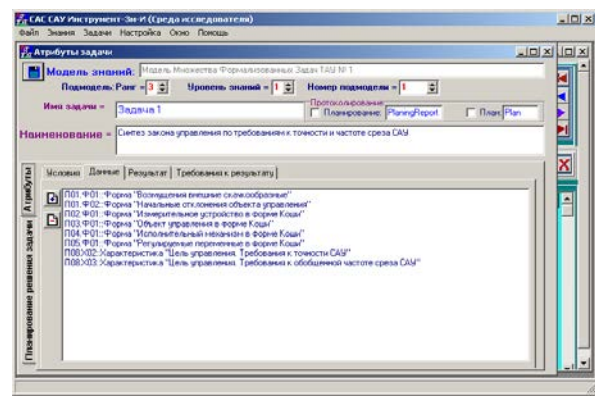


Рисунок 8. Вид экранной формы визуализации атрибутов задач на модели представления знаний (Задача 1 на модели M1).

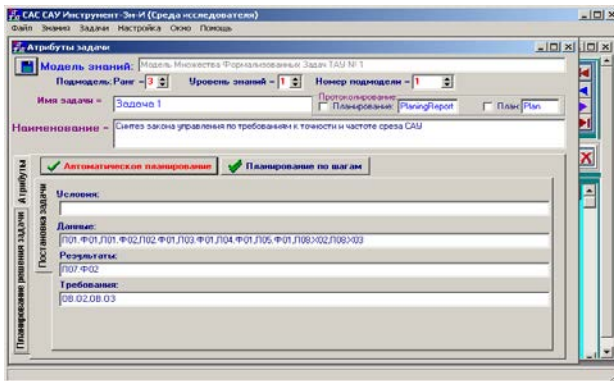


Рисунок 9. Выбор режима решения задачи.

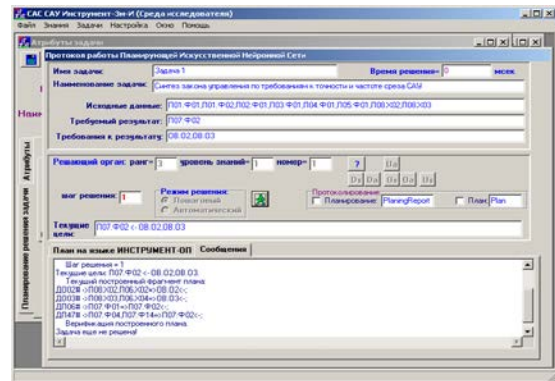


Рисунок 10. Протокол решения задачи.

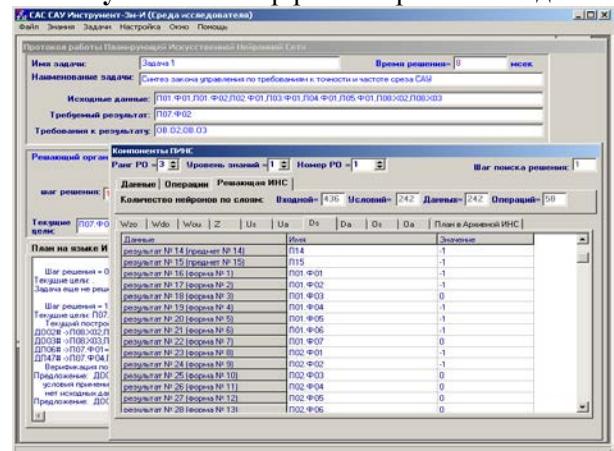


Рисунок 11. Экранная форма визуализации работы планирующей искусственной нейронной сети.

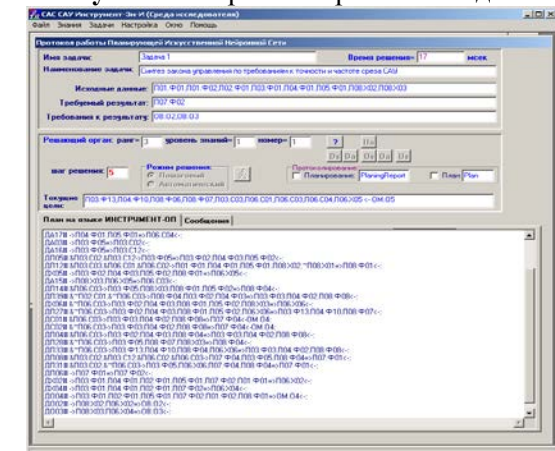


Рисунок 12. Результат планирования решения задачи – план на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП.

4. Заключение

В работе изложены вопросы практической реализации подсистем автоматического решения задач ряда программных комплексов проектирования и исследования интеллектуальных систем управления. Проведенные исследования подтверждают перспективность и целесообразность применения планирующих искусственных нейронных сетей для решения задач планирования действий непроцедурно (декларативно) поставленных задач. Являясь средством параллельной обработки информации, ПИНС позволяет решать задачи за конечное число шагов, обеспечивая, таким образом, комфортный для пользователей режим работы.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-07-00647-а, 15-07-99684-а).

6. Литература

- [1] Поспелов Д.А. Искусственный интеллект: Справочник в 3-х кн. / Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1990.
- [2] Пупков, К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. – 348 с.
- [3] Макаров, И.М. Интеллектуальные системы автоматического управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин. – М.: Физматлит, 2001.
- [4] Попов, Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1987. – 288 с.

- [5] Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1992.
- [6] Ефимов, Е.И. Решатели интеллектуальных задач / Е.И. Ефимов. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
- [7] Анохин, П.К. Функциональная система как основа интеграции нервных процессов в эмбриогенезе / П.К. Анохин, А.И. Шумилина, А.П. Анохина и др. // Труды V съезда физиологов СССР, 1937. – С. 148-156.
- [8] Потемкин, В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x.: в 2 т. / В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999.
- [9] Степанов, М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления / М.Ф. Степанов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. – 112 с.
- [10] Степанов, М.Ф. Исследование интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления средствами системы «МИССАУ» / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, Т.В. Степанова // Интеллектуальные системы: Труды Шестого международного симпозиума. – М.: РУСАКИ, 2004. – С. 309-312.
- [11] Степанов, М.Ф. Анализ и синтез систем автоматического управления в программной среде «ИНСТРУМЕНТ-3м-И» / М.Ф. Степанов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2004. – Т. 47, № 6. – С. 27-30.
- [12] Александров, А.Г. Система ГАММА-3 и ее применение / А.Г. Александров, Л.С. Михайлова, М.Ф. Степанов // Автоматика и телемеханика, 2011. – № 10. – С. 19-27.
- [13] Степанов, М.Ф. Аспекты применения облачных технологий для автоматизации решения задач проектирования систем управления в системе «ГАММА-3» / А.Г. Александров, Л.С. Михайлова, Т.М. Брагин, А.М. Степанов, М.Ф. Степанов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2012). Труды 12-й международной конференции. – М.: ООО «Аналитик», 2012. – С. 111-115.
- [14] Степанов, М.Ф. Нейронные сети для планирования решения задач теории автоматического управления / М.Ф. Степанов // Проблемы управления, 2004. – № 2. – С. 66-71.
- [15] Степанов, М.Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. – 376 с.
- [16] Степанов, М.Ф. Математическое моделирование интеллектуальных самоорганизующихся систем: исследование механизма планирования действий / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов // Сборник материалов Международной конференции и молодежной школы "Информационные технологии и нанотехнологии" (ИТНТ-2017) 17-19 мая 2017 г. – Самара, 2017. – С. 1419-1424.

Mathematical modeling of intelligent self-organizing systems: implementation of the mechanism of action planning

M.F.Stepanov¹, A.M.Stepanov²

¹Yuri Gagarin State Technical university of Saratov, Politechnicheskaya str., 77, Saratov, Russia, 410054

²Institute of Precision Mechanics and Control of Russian Academy of Sciences, Rabochaya str., 24, Saratov, Russia, 410028

Abstract. Intelligent self-organizing automatic control systems (ISACS) are designed to work in conditions of changing not only the external environment, the parameters of the control plant, but also the control goal. As a consequence, the formulation of the task of synthesizing a new, more adequate current situation, the control law is put declaratively (non-procedurally), i.e. without indicating the sequence of actions to solve it. Therefore, ISACS uses as its means of self-organization an intellectual subsystem of automatic solution of the tasks of synthesis of the control law. Her intellectuality is due to the ability to solve new, non-procedurally set tasks based on the knowledge delivered by the model of the problematic area of automatic control. For the development and research of ISACS, the MISACS and MISS software complexes have been created - the Modeling of Intellectual Self-organizing Systems. In MISACS and MISS systems, the means for automatically solving the tasks of synthesis of the control law are inherited from the INSTRUMENT-3m-I system. To solve declaratively set tasks, the key problem is the planning of actions. To increase efficiency, artificial neural planning networks (ANPN) are used as an action planning mechanism in the ISACS. The plan for tasks solving, constructed by ANPN, is executed by a package of applied programs implementing project operations for the synthesis and analysis of control systems. In this paper, we consider the implementation of the means of representing knowledge about methods of solving control tasks and solving non-procedurally assigned tasks on their basis.

Keywords: intellectual self-organizing systems, representation of knowledge, artificial neural planning networks, automatic action planning, automatic tasks solving