

**В. Б. Мелехин**, д-р техн. наук, проф., pashka1602@rambler.ru,  
Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала,  
**М. В. Хачумов**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., khmike@ribox.ru,  
Институт программных систем им. А. К. Айламазяна РАН, с. Веськово, Ярославская обл.,  
Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН,  
Российский университет дружбы народов, г. Москва

## Принцип организации мотивационного поведения и автоматического целеполагания автономных интеллектуальных мобильных систем\*

*Обоснована целесообразность организации мотивационного поведения автономных интеллектуальных мобильных систем, ориентированных на решение различных сложных задач в нестабильных априори неописанных проблемных средах. Такая необходимость обусловлена тем, что данный вид целенаправленного поведения позволяет различным по назначению интеллектуальным системам обеспечить безопасную и результативную целенаправленную деятельность в нестабильных условиях функционирования.*

*Предложена модель представления знаний автономных интеллектуальных мобильных систем безотносительно к конкретной предметной области, построенная на основе активных нечетких семантических сетей. Вершины в таких сетях помечаются слотами, обладающими множеством характеристик, которые позволяют в процессе целенаправленной деятельности осуществлять пометку активных вершин объектами и происходящими в проблемной среде событиями, удовлетворяющими их требованиям. Ребра в таких сетях помечаются обобщенными нечетко заданными значениями отношений, которые должны выполняться в проблемной среде между автономной интеллектуальной мобильной системой, различными объектами и происходящими в среде событиями. Данная модель формализованного представления различных ситуаций и подsituаций проблемной среды позволяет интеллектуальным системам адаптироваться к априори неописанным условиям функционирования и на этой основе автоматически планировать целенаправленную деятельность в условиях неопределенности.*

*Для подсистемы самоорганизации и управления мотивационным поведением автономных интеллектуальных мобильных систем разработаны инструментальные средства идентификации возникающих в проблемной среде угроз безопасной и результативной деятельности. Построена оригинальная по содержанию обобщенная модель представления знаний продукционного типа безотносительно к конкретной предметной области, позволяющая интеллектуальным системам оперативно реагировать на возникающие в проблемной среде различного вида угрозы безопасности и сохранить на этой основе работоспособность в процессе выполнения сложных заданий в реальных проблемных средах.*

*В заключении обозначен один из эффективных путей дальнейшего развития предложенного принципа организации безопасной и результативной деятельности автономных интеллектуальных мобильных систем, связанный с управлением их коллективной деятельностью в процессе выполнения сложного задания при спонтанно происходящих в проблемной среде изменениях, сопровождающихся возникновением в ней различного вида угроз, препятствующих их эффективному совместному функционированию.*

**Ключевые слова:** автономная интеллектуальная система, проблемная среда, условия неопределенности, угрозы безопасности, мотивационное поведение

### Введение

Создание самоорганизующихся автономных интеллектуальных мобильных систем (АИМС) различного назначения является одной из актуальных проблем искусственного интеллекта. Необходимость разработки таких систем обусловлена тем, что построение подробной модели закономерностей нестабильной проблемной

среды (ПС), на основе которой АИМС способна автоматически планировать безопасную и результативную деятельность, на практике не представляется возможным [1]. В связи с этим АИМС в процессе решения сложных практических задач в условиях неопределенности может столкнуться с возникновением различного вида угроз безопасности и результативности целенаправленной деятельности, например, связанных, соответственно, с потерей работоспособности в текущих условиях функционирования и потерей возможности выполнения

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-10056, <https://rscf.ru/project/21-71-10056>

по ряду причин сформулированного ей задания. Например, к таким угрозам безопасной деятельности следует отнести появление в ПС опасных для АИМС априори непредвиденных как подвижных, так и неподвижных объектов, а также негативно влияющих на функционирование интеллектуальной системы событий, возникающих в ПС.

Что же касается угроз результативности целенаправленной деятельности, то они, например, могут быть связаны с необходимостью преследования подвижного объекта, который в процессе планирования целенаправленной деятельности АИМС находился в неподвижном состоянии, и т. п.

Таким образом, проявление в ПС непредвиденных обстоятельств может сопровождаться возникновением у АИМС определенных потребностей, которые требуется удовлетворить для перехода в состояние, обеспечивающее возможность дальнейшей безопасной и результативной целенаправленной деятельности.

Одним из подходов к эффективному решению данной проблемы является разработка когнитивных инструментов самоорганизации и мотивационного поведения АИМС, а также связанное с ним автоматическое целеполагание.

В общем случае подсистема самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС включает следующие основные модули: анализатор состояния внутренней и внешней составляющих ПС, автоматический генератор подцелей мотивационного поведения, адекватных текущим условиям и заданной основной цели поведения, а также память, в которой хранится модель представления знаний.

Основная задача, решаемая анализатором состояний ПС, сводится к выработке адекватных мотивационных сигналов при возникновении в ПС условий, приводящих, например, к следующим негативным последствиям:

- потере работоспособности;
- возникновению непредвиденных событий и подвижных объектов, препятствующих достижению заданной цели;
- отсутствию инструментов или ресурсов, необходимых для достижения заданной цели поведения, и т. п.

Что же касается генератора подцелей поведения, то его задача, в соответствии с содержанием поступающих на вход мотивационных сигналов, сводится либо к назначению безусловных реакций, которые следует оперативно

отработать АИМС для удовлетворения возникшей потребности, связанной с устранением наблюдаемой в ПС угрозы, либо к автоматическому целеполаганию и планированию целенаправленной деятельности, связанной с достижением сформулированной подцели мотивационного поведения, обеспечивающей устранение наблюдаемой в ПС опасности.

Таким образом, для создания АИМС, способных эффективным образом целенаправленно действовать в априори неописанных нестабильных ПС, возникает необходимость в разработке инструментальных средств идентификации возникающих в ПС угроз безопасности и результативности, а также модели представления и обработки знаний для подсистемы самоорганизации и управления мотивационным поведением в изменившихся условиях функционирования.

### Постановка задачи

В общем случае АИМС можно охарактеризовать как систему, способную обрабатывать множество действий  $B = \{b_i\}$ ,  $i_1 = \overline{1, n_1}$ , связанных с ее перемещениями в ПС и целенаправленным манипулированием объектами, находящимися в среде. Выполняемые АИМС действия  $b_i \in B$  в модели представления знаний, в соответствии с ее функциональным назначением и внешними условиями функционирования, определяются следующими тройками:  $\langle S_i^I, b_i, S_i^P \rangle$  [2]. Здесь  $S_i^I$  — подситуация, определяющая в нечеткой форме представления условия в виде семантической сети, которые должны выполняться в ПС для успешной отработки действия  $b_i$ ;  $S_i^P$  — нечетко заданная подситуация, в которую преобразуется подситуация  $S_i^I$  в результате отработки АИМС действия  $b_i$ .

Описание в модели представления знаний обрабатываемых АИМС действий в формате  $\langle S_i^I, b_i, S_i^P \rangle$  позволяет интеллектуальной системе автоматически планировать мотивационную целенаправленную деятельность путем построения дерева вывода решений [3, 4], каждая ветвь которого представляет собой кортеж элементарных актов поведения следующего вида [5]:

$$\begin{aligned} &\langle S_{i_1}^I(1), b_{i_1}^1 \rightarrow S_{i_1}^P(1) \approx S_{i_1}^I(2), b_{i_1}^2 \rightarrow S_{i_1}^P(2) \approx \\ &\approx \dots, \approx S_{i_1}^I(z), b_{i_1}^z \rightarrow S_{i_1}^P(z) \approx \\ &\approx \dots, \approx S_{i_1}^I(q), b_{i_1}^q \rightarrow S_{i_1}^P(q) \rangle, \end{aligned}$$

где  $S_{i_1}^I(1)$ ,  $S_{i_1}^P(q)$  — подситуации, которые являются нечетко вложенными в ситуации, соответственно определяющие исходное и целевое состояния ПС;  $S_{i_1}^I(1), b_{i_1}^1 \rightarrow S_{i_1}^P(1)$  — элементарный акт поведения, означающий, что если семантическая сеть, определяющая текущую подситуацию ПС, включает подситуацию  $S_{i_1}^I(1)$ , то обрабатываемое АИМС действие  $b_{i_1}^1$  приводит в среде к изменениям, определяющимся подситуацией  $S_{i_1}^P(1)$ ;  $S_{i_1}^P(1) \approx S_{i_1}^I(2)$  — выражение, обозначающее нечеткое равенство между собой подситуаций  $S_{i_1}^P(1)$  и  $S_{i_1}^I(2)$  [6].

ПС можно охарактеризовать присутствующими в ней объектами  $O = \{o_{i_2}(X_{i_1})\}, i_2 = \overline{1, n_2}$ , семантическими отношениями  $R = \{r_{i_4}(X_{i_4})\}, i_4 = \overline{1, n_4}$  [7], которые выполняются в ПС между данными объектами и происходящими независимо от деятельности интеллектуальной системы событиями  $D = \{d_{i_3}(Y_{i_3})\}, i_3 = \overline{1, n_3}$ . Здесь  $X_{i_1}, Y_{i_3}$  — соответственно множества характеристик объектов  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$  и событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , служащих для их идентификации АИМС в процессе целенаправленной деятельности;  $X_{i_4}$  — множество характеристик отношения  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$ , описывающих его содержание и текущее значение. Например, если отношение  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$  является отношением пространства состояний, то оно может определять текущее или требуемое для достижения текущей подцели поведения местоположение в ПС объектов  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$  и АИМС относительно друг друга. Если же  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$  является, например, причинно-следственным отношением, то множество  $X_{i_4}$  может определять, например, характер влияния появляющихся в ПС событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$  на текущее состояние различных объектов ПС или АИМС.

Кроме того, ряд объектов  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$ , находящихся в среде, может быть активным и в результате обрабатываемых ими различных действий  $b_{j_1}^{i_2} \in B_{i_2}^*, B_{i_2}^* = \{b_{j_1}^{i_2}\}, j_1 = \overline{1, m_1}$ , может вносить независимые от АИМС изменения в ее текущее состояние, где  $B_{i_2}^*$  — множество действий, которые способен обрабатывать активный  $i_2$ -й объект ПС. В связи с этим известные АИМС активные объекты ПС удобно определить парами  $\langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle$  и обозначить их следующим образом:  $o_{i_2} \langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle \in O$ .

В общем случае появление в ПС различных событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , в соответствии с их характеристиками  $Y_{i_3}$ , может сопровождаться следующими изменениями в ПС:

— изменениями текущих состояний определенных объектов ПС  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$ ;

— появлением причинно-следственно связанных с ними других событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , которые, в свою очередь, приводят к определенным изменениям в ПС;

— возникновением возмущающих факторов, влияющих как на снижение работоспособности АИМС, так и приводящих к неисправностям в одной или нескольких ее подсистемах. Например, появление в ПС сильного дождя может привести к потере эффективной работоспособности интеллектуальной системы из-за грязи и т. п.

Что же касается активных объектов  $o_{i_2} \langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle \in O$ , то ими могут вноситься в текущее состояние ПС, например, следующие изменения:

— изменения состояний неподвижных объектов  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$  в результате обработки над ними различных действий  $b_{j_1}^{i_2} \in B_{i_2}^*$ ;

— изменения значений отношений, которые наблюдаются между объектами в ПС после обработки определенного действия  $b_{j_1}^{i_2} \in B_{i_2}^*$  и т. п.

Для формального представления различных допустимых ситуаций ПС  $S = \{s_{i_5}\}, i_5 = \overline{1, n_5}$ , в соответствии с их ролью, которую они играют в процессе принятия решений АИМС, целесообразно использовать активные нечеткие [2] и классические семантические сети [7]. Активные нечеткие семантические сети  $s_{i_5}^a \in S$  служат для построения в обобщенном виде типовых элементов модели представления знаний и формального описания формулируемых АИМС безотносительно к конкретной предметной области целей поведения.

Формальное представление активных нечетких семантических сетей определяется помеченным графом  $G^a = (V^a, E^a)$ , где  $V^a = \{v_{i_6}^a\}, i_6 = \overline{1, n_6}$ , — множество активных вершин;  $E^a = E_1^a \cup E_2^a$ ,  $E_1^a = \{e_{i_7}^a\}, i_7 = \overline{1, n_7}$ ,  $E_2^a = \{e_{i_8}^a\}, i_8 = \overline{1, n_8}$ , — соответственно множества активных неориентированных и ориентированных ребер. Каждая активная вершина  $v_{i_6}^a \in V^a$  в соответствии с ее содержанием помечается в семантической сети одним из следующих слотов:  $o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \in O^*, i_9 = \overline{1, n_9}$ , или  $d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}}^*) \in D^*, i_{10} = \overline{1, n_{10}}$ , где  $X_{i_9}^*, Y_{i_{10}}^*$  — множества характеристик, которыми должны, соответственно, обладать конкретные объекты  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$  и события  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$  ПС для того, чтобы была допустимой пометка этих вершин ими в текущих условиях функционирования АИМС.

Иначе говоря, слоты  $o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \in O^*$  и  $d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}}^*) \in D^*$  могут быть помечены конкретными объектами  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$  и происходящими в ПС событиями  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , если для них, соответственно, выполняются условия  $X_{i_9}^* \subseteq X_{i_1}$  и  $Y_{i_{10}}^* \subseteq Y_{i_3}$ .

Неориентированные ребра  $e_{i_7}^a \in E_1^a$  в сети  $G^a$  определяются следующими тройками:

$$\langle T_{j_1}^*(r_{i_4}), (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*) \rangle, j_1 = \overline{1, 5},$$

где  $T_{j_1}^*(r_{i_4})$  — терм лингвистической переменной [8, 9] с названием, совпадающим с наименованием отношения  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$ , которое должно выполняться в ПС между объектами или объектом и АИМС, определяющими пометки вершин, инцидентные этим ребрам;  $(r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*)$  — соответственно нижняя и верхняя границы подынтервала численных значений термина  $T_{j_1}^*(r_{i_4})$  на шкале количественных оценок лингвистической переменной, соответствующей отношению  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$ .

В свою очередь, ориентированные ребра  $e_{i_7}^a \in E_1^a$  помечаются следующими двойками:  $\langle F_{j_2}, [t_{j_2}^1 - t_{j_2}^2] \rangle$ , где  $F_{j_2}$  — множество характеристик, описывающих влияние событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , удовлетворяющих требованиям активных вершин  $d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}}^*) \in D^*$ , на АИМС или объекты ПС, определяющие вершины, в которые входят данные ребра;  $[t_{j_2}^1 - t_{j_2}^2]$  — интервал времени  $t$ , в течение которого может проявиться результат влияния событий, определяемых слотом  $d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}}^*) \in D^*$ , на текущее состояние ПС.

Основная цель поведения формулируется АИМС в декларативной форме представления в виде активной нечеткой семантической сети  $G_{\Pi}^a = (V_{\Pi}^a, E_{\Pi}^a)$ . В этом случае активные вершины  $V_{\Pi}^a$  в сети  $G_{\Pi}^a$  помечаются слотами  $\langle o_{i_9}^{**}, o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \rangle \in O^*$ , а пометки ребер  $E_{\Pi}^a$  определяются аналогичным образом, как и в обычной активной нечеткой семантической сети. Здесь  $o_{i_9}^{**}$  — состояние, в котором должен находиться объект ПС, удовлетворяющий требованиям слота  $\langle o_{i_9}^{**}, o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \rangle$  исходя из заданной АИМС цели поведения.

Такое представление сформулированной АИМС цели поведения позволяет:

— использовать различные объекты, находящиеся в ПС для ее достижения, т. е. произвольные объекты  $\langle o_{i_2}, o_{i_2}(X_{i_1}) \rangle \in O$ , удовлетворяющие требованиям слотов  $\langle o_{i_9}^{**}, o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \rangle$ , входящих в структуру заданной цели, где  $o_{i_2}$  — текущее состояние объекта  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$ ;

— определять, достижима или нет заданная цель в текущих условиях функционирования (решение о том, что сформулированная АИМС цель поведения недостижима в текущей ситуации ПС, принимается в том случае, когда в ПС отсутствуют объекты, удовлетворяющие требованиям слотов в ее формальном описании);

— выполнять и использовать для вывода решений формальное описание в виде семантической сети только того участка ПС, на котором АИМС предстоит непосредственно функционировать для достижения заданной цели поведения.

При этом автоматическое формирование модели участка ПС, непосредственно связанного с достижением заданной цели, осуществляется в информационно-измерительной подсистеме АИМС и состоит из следующих этапов:

1. Все слоты  $\langle o_{i_9}^{**}, o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \rangle$  в активной нечеткой семантической сети  $G_{\Pi}^a = (V_{\Pi}^a, E_{\Pi}^a)$  пометить объектами  $\langle o_{i_2}, o_{i_2}(X_{i_1}) \rangle$ , находящимися в ПС и удовлетворяющими их требованиям.

2. Проверить условие "остались в сети  $G_{\Pi}^a = (V_{\Pi}^a, E_{\Pi}^a)$  активные вершины, непомеченные объектами ПС": если условие выполняется, то принимается решение о том, что заданная цель является недостижимой на заданном участке ПС из-за отсутствия необходимых для этого объектов; в противном случае осуществляется переход на следующий этап формирования формального описания текущей подситуации ПС.

3. Определить количественные оценки  $r_{i_4}$  отношений  $r_{i_4}(X_{i_4}) \in R$ , которые выполняются в ПС между смежными объектами, которыми помечены слоты  $\langle o_{i_9}^{**}, o_{i_9}^*(X_{i_9}^*) \rangle$  в сети  $G_{\Pi}^a = (V_{\Pi}^a, E_{\Pi}^a)$ .

В результате выполнения рассмотренных выше преобразований формируется семантическая сеть  $G(t) = (V(t), E(t))$ , определяющая формальное описание участка ПС, на котором предстоит функционировать АИМС для достижения заданной цели поведения. При этом в случае отсутствия на заданном участке ПС объекта  $o_{i_2}(X_{i_1}) \in O$ , например, исполняющего роль инструмента, необходимого для достижения заданной цели  $G_{\Pi}^a = (V_{\Pi}^a, E_{\Pi}^a)$ , у АИМС возникает мотив, связанный с необходимостью его поиска и расширения для этого поля своей дальнейшей деятельности.

Следует отметить, что полученное таким образом формальное описание текущей подситуации ПС регулярно корректируется в про-

цессе поведения АИМС с учетом возникающих и исчезающих в среде событий  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ .

После построения формального описания текущей подситуации ПС АИМС приступает к построению плана предстоящей деятельности в виде упорядоченной последовательности действий  $b_{i_1} \in B$ , отработка которых обеспечивает устранение всех имеющихся различий между текущей и целевой подситуациями ПС, найденными без учета происходящих в среде событий. Данные различия определяются путем сравнения между собой пометок структурно эквивалентных вершин и ребер в формальном описании подсетей  $G(t)$  и  $G_{ц}^a$ , определяющих, соответственно, исходную и целевую подситуации ПС [10].

Таким образом, опираясь на вышеизложенные положения, связанные с организацией мотивационной деятельности АИМС, требуется разработать:

— инструментальные средства идентификации возникающих в ПС угроз безопасной и результативной деятельности;

— модель представления и обработки знаний подсистемы самоорганизации и управления мотивационной деятельностью АИМС, связанной с устранением проявляющихся в нестабильной ПС различного вида угроз безопасности и результативности.

### **Инструментальные средства управления мотивационным поведением АИМС**

В общем случае модуль самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС функционирует следующим образом. Перед началом отработки АИМС построенного в интеллектуальном решателе задач плана целенаправленной деятельности в память анализатора угроз заносится модель исходной на текущий момент времени подситуации ПС. Затем в процессе отработки плана целенаправленной деятельности в описание этой модели вносятся все изменения, которые происходят в ПС в результате выполненных АИМС действий, связанных с достижением заданной цели поведения. После каждого самопроизвольного изменения текущих условий среды на вход анализатора модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением из информационно-измерительной подсистемы АИМС поступает формальное описание текущей, самопроиз-

вольно изменившейся подситуации ПС. Данная подситуация сравнивается с подситуацией, хранящейся в памяти анализатора. По результатам такого сравнения устанавливаются имеющиеся между ними различия, которые рассматриваются как знаки, сигнализирующие АИМС о возможном наличии в ПС угрозы безопасности или результативной деятельности.

Полученные таким образом знаки на основе данных, хранящихся в модели представления знаний модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением, проверяются на предмет того, являются они вестниками возникновения в ПС определенного вида угроз или нет. Если данные знаки относятся к сигнализирующим знакам, показывающим наличие в ПС соответствующих им угроз, то по их содержанию в анализаторе синтезируются связанные с ними мотивационные сигналы. Данные сигналы поступают на вход генератора мотивационных подцелей поведения АИМС. После этого подситуация, хранящаяся в анализаторе, заменяется на последнюю поступившую на его вход текущую подситуацию ПС. Далее функционирование анализатора продолжается в автоматическом режиме по вышеописанному принципу.

В генераторе подсистемы самоорганизации и управления мотивационным поведением, на основе поступившего на его вход мотивационного сигнала, синтезируется соответствующая ему подцель текущей деятельности АИМС, которая подается на вход ее решающей подсистемы. В решающей подсистеме АИМС полученная подцель мотивационного поведения анализируется, и в зависимости от содержания и условий ее достижения интеллектуальная система обрабатывает либо соответствующие ей безусловные реакции, либо планирует свое дальнейшее поведение, связанное с устранением возникшей в ПС угрозы.

Необходимо отметить, что если в анализаторе подсистемы самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС на малом промежутке времени  $\Delta t$  возникают несколько знаков, сигнализирующих о наличии в ПС угроз безопасности или результативной деятельности, то данные угрозы ранжируются в порядке роста степени их негативного влияния на текущую деятельность интеллектуальной системы. Затем в генераторе мотивационных подцелей поведения упорядоченные угрозы обрабатываются в последовательности, определяемой на основе относительного приоритета их устранения [11, 12].

В общем случае в качестве знаков, сигнализирующих АИМС в процессе целенаправленной деятельности о возникшей в ПС угрозе  $c_{i_{11}} \in C, C = \{c_{i_{11}}\}, i_{11} = \overline{1, n_{11}}$  ( $C$  — множество возможных угроз безопасности и результативной деятельности), могут выступать следующие события:

1. Изменения состояний как отдельных  $o_{i_2}(X_{i_1}, B_{i_2}^*)$ , так и взаимосвязанных между собой объектов  $o_{i_2}(X_{i_1}, B_{i_2}^*) \in O$  ПС, например, при их переходе из неподвижного в подвижное состояние. Для идентификации аналогичных друг другу сигнализирующих знаков такого типа, связанных с обеспечением безопасной или результативной деятельности АИМС, в модель представления знаний модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением закладываются построенные в обобщенной форме представления следующие импликативные решающие правила:

$$\begin{aligned} o_{i_2}^{*j_2}(X_{i_2}^{*j_2}, B_{i_2, j_3}^*) : o_{i_2}^u \rightarrow o_{i_2}^t(b_{j_1}^{i_2}) \Rightarrow \\ \Rightarrow c_{i_{11}}^{j_2}(o_{i_2}^{*j_2}(X_{i_2}, b_{j_1}^{i_2}), p_{i_{12}}^{*i_2}), j_2 = \overline{1, m_2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $m_2$  — общее число слотов подвижных объектов ПС, которые могут стать виновниками возникновения угроз безопасной деятельности АИМС, определяемое мотивационным сигналом  $p_{i_{12}}^{*j_2} \in P, i_{12} = \overline{1, n_{12}}; b_{j_1}^{i_2}$  — действие, которое выполняет активный объект  $o_{i_2} \langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle \in O$ , удовлетворяющий требованиям слота  $o_{i_2}^{*j_2}(X_{i_2}^{*j_2}, b_{j_1}^{i_2})$ , связанное с его переходом из исходного неподвижного  $o_{i_2}^u$  в текущее  $o_{i_2}^t$  подвижное состояние. Здесь  $P$  — множество различных мотивационных сигналов  $p_{i_{12}}^{*j_2}$ , вырабатываемых интеллектуальной системой при возникновении в ПС соответствующих им угроз  $c_{i_{11}}^{j_2} \in C$ .

Таким образом, на основе продукций (1) на выходе анализатора при поступлении на его вход сигнализирующего знака  $o_{i_2}^u \rightarrow o_{i_2}^t(b_{j_1}^{i_2})$  формируется мотивационный сигнал в виде пары  $\langle o_{i_2}^{*j_2}(X_{i_2}, b_{j_1}^{i_2}), c_{i_{11}}^{j_2}(p_{i_{12}}^{i_2}) \rangle$ , где  $o_{i_2}^u$  — состояние активного объекта  $o_{i_2} \langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle$  в эталонной подситуации, хранящейся в памяти модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением;  $o_{i_2}^t(b_{j_1}^{i_2})$  — состояние объекта  $o_{i_2} \langle X_{i_1}, B_{i_2}^* \rangle$ , которое определяется на основе поступившей на вход анализатора текущей подситуации ПС.

Учитывая, что мотивационные сигналы  $p_{i_{12}} \in P$  по своему содержанию и назначению могут соответствовать угрозам как безопас-

ной, так и результативной деятельности АИМС, множество  $F_1 = \{f_{j_3}^1\}, j_3 = \overline{1, m_3}$ , импликативных решающих правил (1) по своему назначению разбивается на два класса  $F_1^1, F_1^2 \subset F_1, F_1^1 \cup F_1^2 = F_1$ , где  $F_1^1, F_1^2$  — подмножества импликативных решающих правил, соответственно связанных с идентификацией угроз безопасной и результативной деятельности АИМС. При этом выбор адекватного сложившимся в ПС условиям подмножества импликативных решающих правил  $F_1^1$  или  $F_1^2$  в процессе принятия решений зависит от содержания решаемой АИМС в текущий момент времени подзадачи. Если интеллектуальная система рассматривает подзадачу, в решении которой непосредственно участвует объект ПС  $o_{i_2 j_3} \langle X_{i_2, j_3}, B_{i_2, j_3}^* \rangle$ , изменивший свое состояние, то для идентификации мотивационного сигнала  $p_{i_{12}} \in P$  используется подмножество импликативных решающих правил  $F_1^2$ .

Кроме того, подмножество  $O^{**} \subset O, O^{**} = \{o_{i_2 j_3} \langle X_{i_2, j_3}, B_{i_2, j_3}^* \rangle\}$  известных АИМС активных объектов ПС целесообразно разбить на классы эквивалентности в соответствии со связанными с ними угрозами  $c_{i_{11}}^{j_3} \in C$  и мотивационными сигналами  $p_{i_{12}}^{j_3} \in P$ .

В совокупности проведенные таким образом разбиения множеств  $F_1$  и  $O^{**}$  позволяют упорядочить реакции как анализатора, так и генератора мотивационных подцелей поведения подсистемы самоорганизации и мотивационного поведения на поступающие на их вход сигналы. В свою очередь, это обеспечивает возможность упорядочить хранящиеся в их памяти знания и на этой основе сократить число переборных, выполняемых в процессе поиска импликативных решающих правил вывода  $f_{j_3}^1 \in F_1$ , адекватных изменившимся условиям ПС.

2. Появляющиеся в ПС события  $d_{i_3}(Y_{i_3}) \in D$ , приводящие, например, к пожару. Для выработки мотивационного сигнала в анализаторе при наличии в ПС сигнализирующих знаков в виде отдельных событий используются следующие импликативные решающие правила, хранящиеся в модели представления знаний модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС:

$$d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}}) : d_{i_3}(Y_{i_3}) \xrightarrow{i_3} c_{i_{11}}(p_{i_{12}}). \quad (2)$$

Данные правила вывода означают, что при появлении в ПС события  $d_{i_3}(Y_{i_3})$ , удовлетворяющего требованиям слота  $d_{i_{10}}^*(Y_{i_{10}})$ , в течение

промежутка времени  $t_{i_3}$  возникает угроза  $c_{i_{11}} \in C$ , которая вызывает у АИМС мотивационный сигнал  $p_{i_{12}} \in P$ .

3. Возникающие в ПС друг за другом различные события, связанные между собой причинно-следственным образом во времени. Для идентификации такого вида угроз и выработки связанных с ними мотивационных сигналов используются импликативные решающие правила следующего вида:

$$\begin{aligned} <d_{i_{10}}^{1*}(Y_{i_{10}}^*) \rightarrow \dots \rightarrow d_{i_{10}}^{k*}(Y_{i_{10}}^*)>_{j_4} : <d_{i_3}^1(Y_{i_3}^1) \rightarrow \\ &\rightarrow \dots \rightarrow d_{i_3}^k(Y_{i_3}^k)>_{j_4} \Rightarrow c_{i_{11}}^{j_4}(d_{i_3}^k(Y_{i_3}^k), p_{i_{12}}^{j_4}), \quad (3) \\ & j_4 = \overline{1, m_4}, \end{aligned}$$

где  $d_{i_3}^1(Y_{i_3}^1), \dots, d_{i_3}^k(Y_{i_3}^k)$  — происходящие друг за другом события, которые, с одной стороны, причинно-следственно связаны между собой, а с другой стороны, удовлетворяют требованиям слотов  $d_{i_{10}}^{1*}(Y_{i_{10}}^*), \dots, d_{i_{10}}^{k*}(Y_{i_{10}}^*)$ ;  $d_{i_3}^k(Y_{i_3}^k)$  — событие, которое непосредственно приводит к возникновению в ПС угрозы  $c_{i_{11}}^{j_4} \in C$ , вызывающей у АИМС мотивационный сигнал  $p_{i_{12}}^{j_4} \in P$ ;  $t$  — отрезок времени, по истечении которого в ПС возникает событие  $d_{i_3}^k(Y_{i_3}^k)$  после появления в ней события  $d_{i_3}^{1*}(Y_{i_3}^1)$ .

4.1. Изменение по различным независимым от АИМС причинам значений отношений между объектами ПС  $o_{i_2}^1(X_{i_2}^1), o_{i_2}^2(X_{i_2}^2) \in O$ , которые удовлетворяют требованиям слотов в их обобщенном представлении  $o_{i_9}^{*1}(X_{i_9}^{*1}) < T_{j_1}^*(r_{i_4}), (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*) > o_{i_9}^{*2}(X_{i_9}^{*2})$ . Например, изменение отношения пространства состояний  $r_{i_4} \in R$  между объектами ПС, при котором возникает возможность падения одного объекта, расположенного на другом объекте, под воздействием ветра. Для идентификации каждой подобной угрозы и связанного с ней мотивационного сигнала в модели представления знаний АИМС в обобщенном виде хранятся следующие импликативные решающие правила:

$$\begin{aligned} &d_{i_{10}}^{*j_5}(Y_{i_{10}}^*) : o_{i_9}^{*1}(X_{i_9}^{*1}) < T_{j_1}^*(r_{i_4}), (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*) > o_{i_9}^{*2}(X_{i_9}^{*2}) \Rightarrow \\ &\Rightarrow c_{i_{11}}^{j_5}(d_{i_3}^j(Y_{i_3}^j), r_{i_4}^*, p_{i_{12}}^{j_5}), j_5 = \overline{1, m_5}, \quad (4) \end{aligned}$$

где  $d_{i_3}^j(Y_{i_3}^j)$  — событие ПС, которое удовлетворяет требованиям слота  $d_{i_{10}}^{*j_5}(Y_{i_{10}}^*)$  и связано с угрозой  $c_{i_{11}}^{j_5} \in C$ , вызывающей у АИМС мотивационный сигнал  $p_{i_{12}}^{j_5} \in P$ ;  $r_{i_4}^*$  — измененное значение отношения  $r_{i_4} \in R$ , полученное в результате появления в ПС события  $d_{i_3}^j(Y_{i_3}^j)$ ,

которое удовлетворяет условию  $r_{i_4}^* \in (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*)$ , т. е. попадает в подынтервал численных значений  $(r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*)$ .

4.2. Появление в ПС активных объектов, удовлетворяющих требованиям слота  $o_{i_2}^{*j_6}(X_{i_2}^{*j_6}, B_{i_2}^{*j_6})$ , действия которых могут привести к изменению значений отношений между объектами ПС и АИМС. Для идентификации такого характера угроз и определения соответствующих им мотивационных сигналов строятся импликативные решающие правила следующего вида:

$$\begin{aligned} &o_{i_2}^{*j_6}(X_{i_2}^{*j_6}, B_{i_2}^{*j_6}) : \\ &o_{i_9}^{*1}(X_{i_9}^{*1}) < T_{j_1}^*(r_{i_4}), (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*) > o_{i_9}^{*2}(X_{i_9}^{*2}) \Rightarrow \\ &\Rightarrow (c_{i_9}^{j_6}(o_{i_2}^{*j_6}(X_{i_2}^{*j_6}, b_{j_1}^{i_2})), r_{i_4}^*, p_{i_{12}}^{j_6}), j_6 = \overline{1, m_6}, \quad (5) \end{aligned}$$

где  $o_{i_2}^{*j_6}(X_{i_2}^{*j_6}, b_{j_1}^{i_2})$  — активный объект ПС, удовлетворяющий требованиям слота  $o_{i_2}^{*j_6}(X_{i_2}^{*j_6}, B_{i_2}^{*j_6})$ ;  $b_{j_1}^{i_2} \in B_{i_2}^{*j_6}$  — действие, в результате отработки которого активным объектом произошло изменение значения отношения  $r_{i_4} \in R$ ;  $r_{i_4}^*$  — текущее или измененное значение отношения  $r_{i_4} \in R$  между объектами ПС, удовлетворяющими требованиям слотов  $o_{i_9}^{*1}(X_{i_9}^{*1})$  и  $o_{i_9}^{*2}(X_{i_9}^{*2})$ .

5. Отдельные фрагменты  $G^*(t) \subset G(t)$  текущих подситуаций ПС  $G(t)$ , в которых отражено местоположение АИМС, находящейся на близком расстоянии от опасных объектов, например, обрывов и т. п. В целях идентификации такого вида угроз в модели представления знаний анализатора используются импликативные решающие правила следующего вида:

$$\begin{aligned} &\text{АИМС} : <\text{АИМС} < T_{j_1}^*(r_{i_4}), (r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*) > o_{i_9}^{*j_7}(X_{i_9}^{*j_7}) > \Rightarrow \\ &\Rightarrow c_{i_{11}}^{j_7}(o_{i_2}^{*j_7}(X_{i_2}^{*j_7}), r_{i_4}^*, p_{i_{12}}^{j_7}), j_7 = \overline{1, m_7}, \quad (6) \end{aligned}$$

где  $T_{j_1}^*(r_{i_4})$  — терм лингвистической переменной, одноименной с отношением  $r_{i_4} \in R$ , которому соответствует подынтервал  $(r_{j_1}^*, r_{j_1+1}^*)$ , определяющий опасные расстояния между АИМС и объектами  $o_{i_2}^{*j_7}(X_{i_2}^{*j_7})$ , удовлетворяющими требованиям слота  $o_{i_9}^{*j_7}(X_{i_9}^{*j_7})$ ;  $r_{i_4}^*$  — недопустимое расстояние между АИМС и опасным объектом в текущей ситуации ПС.

Необходимо отметить, что импликативные решающие правила (2)–(6) аналогичным образом, как и правила вывода (1), упорядочиваются и хранятся в модели представления знаний модуля самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС в целях

сокращения числа переборов в процессе автоматического целеполагания, связанного с мотивационным поведением интеллектуальной системы в изменившихся условиях ПС.

Следует также отметить, что авторы статьи не претендуют на полноту множества угроз  $S$ , на основе которых автоматически формируются сигналы мотивационного поведения АИМС в нестабильных условиях ПС. В статье предлагается, на основе ряда важных примеров, принцип построения типовых элементов модели представления знаний безотносительно конкретной предметной области в модуле самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС в самопроизвольно изменяющихся условиях функционирования.

Автоматическая постановка подцелей мотивационной деятельности АИМС осуществляется в генераторе подсистемы самоорганизации и управления мотивационным поведением на основе мотивационных сигналов  $p_{i_{12}} \in P$ , поступающих на его вход из анализатора возникающих в ПС самопроизвольных изменений.

В общем случае, как уже отмечалось ранее, мотивационные сигналы  $p_{i_{12}} \in P$  могут быть следующих двух видов:

— сигналы  $p_{j_{12}}(1) \in P$ ,  $j_{12} = \overline{1, m_{12}}$ , вызывающие у АИМС соответствующие им безусловные реакции  $B_{j_{12}}^* \subset B$ ,  $j_{12} = \overline{1, m_{12}}$ , представляющие собой упорядоченную последовательность действий  $\langle b_{j_1}^1, b_{j_1}^2, \dots, b_{j_1}^k, \dots, b_{j_1}^{m^*} \rangle$ , отработка которых позволяет избежать последствий, связанных с возникшей в ПС угрозой безопасной деятельности, например "отойти на безопасное расстояние от обрыва" и т. п.;

— сигналы  $p_{j_{12}}(2) \in P$ , связанные с обеспечением результативной деятельности АИМС в изменившихся условиях ПС путем достижения соответствующей этим сигналам подцели мотивационного поведения. В этом случае мотивационная подцель поведения определяется в процедурной форме представления в виде кортежа сложных действий  $\langle B_{j_{12}}^1, B_{j_{12}}^2, \dots, B_{j_{12}}^k, \dots, B_{j_{12}}^{m^*} \rangle$  [13], каждое из которых состоит из заданной последовательности элементарных операций и действий  $b_{i_1} \in B$ . Например, сложное действие  $B_{j_{12}}^1$  "догнать объект  $o_{i_2}^{*j_2}(X_{i_2}^{*j_2}, B_{i_2}^{j_2})$ " представляет собой упорядоченную последовательность следующих элементарных операций и действий:  $B_{i_{12}}^1$  <определить скорость движения объекта, рассчитать координаты точки встречи с объектом, построить маршрут движения к точке встречи

с объектом, выполнить движение по заданному маршруту к точке встречи с объектом > [14].

Таким образом, модель представления таких знаний в модуле самоорганизации и управления мотивационным поведением АИМС состоит из множества имплицитивных решающих правил следующего вида:

$$f_{i_{12}}^1 : p_{i_{12}}(1) \Rightarrow \langle b_{i_1}^1, b_{i_1}^2, \dots, b_{i_1}^k, \dots, b_{i_1}^{m^*} \rangle_{i_{12}}$$

$$\text{и } f_{j_{13}}^2 : p_{j_{13}}(2) \Rightarrow \langle B_{i_{12}}^1, B_{i_{12}}^2, \dots, B_{i_{12}}^k, \dots, B_{i_{12}}^{m^*} \rangle_{i_{12}}^2,$$

на основе которых интеллектуальная система планирует мотивационное поведение, связанное с устранением в ПС возникшей угрозы. Данные правила и мотивационные подцели поведения поступают на вход интеллектуального решателя задач АИМС, в котором с учетом сложившейся в ПС текущей подситуации определяются условия выполнения входящих в их структуру действий.

Резюмируя вышеизложенное, необходимо отметить, что для устранения угроз, определяющихся сложными по своей структуре мотивационными сигналами, например в виде семантических сетей, в решающей подсистеме интеллектуальной системы на основе комбинирования различных рассмотренных выше имплицитивных решающих правил автоматически синтезируются логико-трансформационные решающие правила ситуационного управления [15] мотивационной деятельностью АИМС.

## Заключение

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Предложенный принцип организации мотивационного поведения позволяет различным по назначению АИМС обеспечить безопасную и результативную целенаправленную деятельность в сложных нестабильных априори неописанных ПС.

2. Применение активных нечетких семантических сетей для описания условий успешной отработки действий и получаемых на их основе результатов, а также заданных в декларативной форме представления целей поведения позволяет АИМС адаптироваться к конкретным условиям функционирования и на этой

основе планировать свою целенаправленную деятельность в априори неописанных ПС.

3. Разработанная модель представления знаний безотносительно конкретной предметной области продукционного типа в подсистеме самоорганизации и управления мотивационным поведением позволяет АИМС адаптироваться к априори неописанным, меняющимся во времени условиям функционирования и на этой основе выполнять сложные задания в реальных ПС.

4. Дальнейшее развитие предложенного принципа организации безопасной и результативной деятельности АИМС связано с управлением коллективным выполнением интеллектуальными системами различного назначения сложного задания при спонтанных изменениях, происходящих в ПС, сопровождающихся возникновением в среде различных угроз, связанных с их совместным функционированием.

#### Список литературы

1. Каляев А. В., Чернухин Ю. В., Носков В. Н., Каляев И. А. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. М.: Наука, 1990. 152 с.
2. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Инструментальные средства управления целесообразным поведением самоорганизующихся автономных интеллектуальных агентов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2021. Т. 22, № 4. С. 171–180.
3. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4 ed. Pearson, 2020. 1216 p.
4. Kelly A. Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 808 p.

5. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Планирование поведения интеллектуального беспилотного летательного аппарата в недоопределенной проблемной среде. Часть 2. Структура и применение фреймов действий // Искусственный интеллект и принятие решения. 2018. № 2. С. 46–56.

6. Melekhin V. B., Khachumov M. V. Fuzzy semantic networks as an adaptive model of knowledge representation of autonomous intelligent systems // Scientific and Technical Information Processing. 2021. Vol. 48, No. 5. P. 333–341.

7. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 284 с.

8. Zaden L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Part I: Information Sciences. 1975. Vol. 8. P. 199–249; Part II: Information Sciences. 1975. Vol. 8. P. 301–357; Part III: Information Sciences. 1975. Vol. 9. P. 43–80.

9. Passino K. M., Yurkovich S. Fuzzy Control. Boston (USA): Addison Wesley Longman, 1998. 522 p.

10. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Планирование поведения автономных интеллектуальных мобильных систем в условиях неопределенности / Под ред. проф. Хачумова В. М. СПб.: Политехника, 2022. 276 с.

11. Martens-Atyushev D. S. Experimental study of a reconfigurable system with hardware task manager and a distributed queue // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. No. 16(7). P. 3040–3045.

12. Alfa A. S. Matrix-geometric solution of discrete time MAP/PH/1 priority queue // Naval Research Logistics. 1998. Vol. 45, No. 1. P. 23–50.

13. Мелехин В. Б., Хачумов В. М. Элементы понятийного мышления в планировании поведения автономных интеллектуальных агентов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2021. Т. 22, № 8. С. 411–419.

14. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Планирование маршрута целенаправленного полета автономного летательного аппарата на низкой высоте в условиях неопределенности // Авиакосмическое приборостроение. 2018. № 1. С. 18–27.

15. Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б. Ситуационный подход в задачах автоматизированного управления техническими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19, № 9. С. 562–578.

## The Principle of Organization of Motivational Behavior and Automatic Goal Setting of Autonomous Intelligent Mobile Systems

V. B. Melekhin, pashka1602@rambler.ru,

Dagestan State Technical University, Makhachkala, 367015, Russian Federation,

M. V. Khachumov, khmike@inbox.ru,

Ailamazyan Program Systems Institute of Russian Academy of Sciences, Veskovo, 152021, Russian Federation,

Federal Research Center "Computer Science and Control", Moscow, 117313, Russian Federation,

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 117198, Russian Federation

Corresponding author: Melekhin Vladimir B., Dr. Sc. (Technology), Professor, Dagestan State Technical University, Makhachkala, 367015, Russian Federation, e-mail: pashka1602@rambler.ru

Accepted on September 27, 2022

#### Abstract

The expediency of organizing the motivational behavior of autonomous intelligent mobile systems focused on solving various complex problems in unstable a priori undescribed problematic environments is substantiated. That need is due to the fact that this type of goal-seeking behavior allows intelligent systems of various purposes to ensure safe and efficient activity in unstable operating conditions. A model of knowledge representation of autonomous intelligent mobile systems is proposed without regard to a specific subject area and built on the basis of active fuzzy semantic networks. In such networks, vertices are labeled with slots that have many characteristics, which enables in the process of goal-seeking activity to label active vertices with objects and events occurring in the problematic environment that meet their requirements. Edges in such networks

are labeled with generalized fuzzy values of corresponding conditions that must be met in a problematic environment between an autonomous intelligent mobile system, various objects, and occurring events. This model of a formalized description of various situations and subsituations of the problematic environment allows intelligent systems to adapt to a priori undescribed operating conditions and, on this basis, automatically plan goal-seeking activities under conditions of uncertainty. To control the motivational behavior and self-organization of autonomous intelligent mobile systems, tools have been developed intended to identify threats to productive activities that arise in a problematic environment. A generalized production-based model of knowledge representation has been built without regard to a specific subject area, which allows intelligent systems to quickly respond to various types of security threats that arise in a problematic environment and maintain operability in the process of performing complex tasks. In conclusion, one of the effective ways of further development of the proposed principle of organizing the safe and efficient operation of autonomous intelligent mobile systems is outlined, which is related to the management of their collective activities in the process of performing a complex task with changes occurring spontaneously in a problem environment, accompanied by the emergence of various types of threats in it that prevent their effective operation.

**Keywords:** autonomous intelligent system, problematic environment, uncertainty conditions, security threats, motivational behavior

**Acknowledgements:** This study was supported by the Russian Science Foundation, Grant number 21-71-10056 (<https://rscf.ru/en/project/21-71-10056/>)

For citation:

**Melekhin V. B., Khachumov M. V.** The Principle of Organization of Motivational Behavior and Automatic Goal Setting of Autonomous Intelligent Mobile Systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 75–84.

DOI: 10.17587/mau.24.75-84

### References

1. Kalyaev A. V., Chernuhin Yu. V., Noskov V. N., Kalyaev I. A. Homogeneous control structures of adaptive robots, Moscow, Nauka, 1990, 152 p. (in Russian)
2. Melekhin V. B., Hachumov M. V. Instrumental means of controlling the expedient behavior of self-organizing autonomous intelligent agents, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 171–180 (in Russian).
3. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson, 2020, 1216 p.
4. Kelly A. Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods, Cambridge, Cambridge University Press, 2013, 808 p.
5. Melekhin V. B., Hachumov M. V. Planning the behavior of an intelligent unmanned aerial vehicle in an undefined problem environment. Part 2. Structure and application of action frames, *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie resheniya*, 2018, no. 2, pp. 46–56 (in Russian).
6. Melekhin V. B., Khachumov M. V. Fuzzy semantic networks as an adaptive model of knowledge representation of autonomous intelligent systems, *Scientific and Technical Information Processing*, 2021, vol. 48, no. 5, pp. 333–341.
7. Pospelov D. A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika, Moscow, Nauka, 1986, 284 p. (in Russian).
8. Zaden L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Part I: Information Sciences, 1975, vol. 8, pp. 199–249; Part II: Information Sciences, 1975, vol. 8, pp. 301–357; Part III: Information Sciences, 1975, vol. 9, pp. 43–80.
9. Passino K. M., Yurkovich S. Fuzzy Control, Boston (USA), Addison Wesley Longman, 1998, 522 p.
10. Melekhin V. B., Hachumov M. V. Planning the behavior of autonomous intelligent mobile systems under uncertainty, St. Petersburg, POLITEHNICA, 2022, 276 p. (in Russian).
11. Martens-Atyushev D. S. Experimental study of a reconfigurable system with hardware task manager and a distributed queue, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2019, no. 16(7), pp. 3040–3045.
12. Alfa A. S. Matrix-geometric solution of discrete time MAP/PH/1 priority queue, *Naval Research Logistics*, 1998, vol. 45, no. 1, pp. 23–50.
13. Melekhin V. B., Hachumov V. M. Elements of conceptual thinking in planning the behavior of autonomous intelligent agents *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2021, vol. 22, no. 8, pp. 411–419 (in Russian).
14. Melekhin V. B., Hachumov M. V. Planning the route of a purposeful flight of an autonomous aircraft at low altitude in conditions of uncertainty, *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2018, no. 1, pp. 18–27 (in Russian).
15. Filimonov A. B., Filimonov N. B. Situational approach in the tasks of automated control of technical objects, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 9, pp. 562–578 (in Russian).

21–24 марта 2023 г.

## Юбилейная XXV конференция молодых ученых "НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ"

г. Санкт-Петербург, Россия,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор»

В формат конференции включаются обзорные лекции ведущих ученых в области теории и практики построения современных систем навигации и управления движением и доклады участников конференции.

### Контактная информация:

Тел.: +7 (812) 499 82 10 +7 (812) 499 81 57  
Факс: +7 (812) 232 33 76 E-mail: [kmu@eprib.ru](mailto:kmu@eprib.ru), [kmu\\_elprib@mail.ru](mailto:kmu_elprib@mail.ru)