

УДК 378.4+004.89

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РОБОТА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО МЕТОДА

Додонов В.А., Галич Г.Б.

THE CONTROLL OF THE ROBOT MOVEMENT ALONG A GIVEN ROUTE UNDER OBSTACLE BASED ON THE SITUATIONAL METHOD

Dodonov V.A., Galich G.B.

Рассматривается задача модификации модели ситуационного управления мобильными устройствами (колесные роботы), которые оснащены сенсорными системами, микропроцессором, системой беспроводной Wi-Fi связи и способны перемещаться к участку, ситуация на котором представляет интерес. Модификация метода «ситуация-действие» осуществлена путём введения в ситуационные правила локального контекста, обеспечивающего уникальность прототипов ситуаций правил, и событийного механизма обработки правил, что позволяет локализовать группы правил для обработки. Введение этих механизмов позволяет использовать традиционную модель ситуационного управления для реализации управления перемещением робота вдоль заранее заданной траектории в условиях непредвиденных помех.

Ключевые слова: колесный робот, интеллектуальные сенсоры, ситуационное управление, контекст, событийная модель.

Введение. Во многих сферах сегодня находят применение колесные роботы. Они выполняют функции, связанные с мониторингом экологических, техногенных, производственных ситуаций [1]. Системы мониторинга ситуаций на крупномасштабных объектах, организованные по принципу рассредоточенного мониторинга, включают локальные компоненты, которые реализованы на устройствах (роботах, дронах), перемещаемых в пространстве объекта мониторинга [2,3]. Такой робот оснащен несколькими сенсорными системами, микропроцессором и системой беспроводной, например Wi-Fi, связи [4]. Другая сфера применений роботов – современная бытовая техника, где приобретают популярность автоматические роботы - пылесосы, утюги, газонокосилки и другие [5]. Такие бытовые устройства автоматизируют работу при минимальном вмешательстве человека, при этом выполняют моющие и чистящие функции, которые используются в быту не хуже, а то и лучше,

человека. Эти устройства определяют и обходят препятствия, которые встречаются на своем пути.

Анализ последних исследований и публикаций. Решаемая мобильным роботом задача – перемещение в пространстве объекта мониторинга по заданному маршруту, рассматривается во многих работах, например [6-10]. Для задач мониторинга пространство объекта, в котором перемещается робот, представляет либо помещение внутри здания, либо открытое пространство с известным планом. Поэтому, задача управления перемещением робота есть задача управления перемещением вдоль одного из множества маршрутов с обходом препятствий на основе анализа сенсорных данных. В работе [11] был приведен анализ методов управления, удовлетворяющих перечисленным выше условиям. Было показано, если движение по заранее заданной траектории возможно с использованием методов программного управления с прямыми и обратными связями [12,13], то для обхода препятствий используют эвристические алгоритмы [14] или методы искусственного интеллекта [15,16], в частности ситуационное управление [17-19]. При этом возникает сразу несколько проблем. Первая – интеграция метода программного управления с методами эвристического либо ситуационного управления. Так, если рассматривать наиболее благоприятный вариант - перемещение в помещении, то прерывистости в стенах, например дверные проёмы или препятствия в виде столов, стульев, отдельно стоящих колонн и так далее, приводят к сбоям при использовании метода программного управления с обратными связями [11]. Вторая проблема связана с тем, что масштабирование задач при использовании эвристических методов осуществляется путём использования библиотек и параметризованных программ управления обходом конкретных препятствий [4]. Но при этом, по-прежнему,

остається нерешеною задача управління перемещением вдоль заранее заданного маршрута при нарушениях признаков опорных точек маршрута. В [11] рассматривается подход, когда указанная проблема преодолевается с использованием модифицированного метода программного управления с обратными связями, дополненного системой адаптивного выбора вариантов. Несмотря на то, что этот метод обладает универсальностью, существуют приложения, где он неэффективен. Изменение параметров помехи требует дообучения системы управления с использованием метода проб и ошибок. В некоторых задачах мониторинга пробные поисковые перемещения нежелательны. Для этих приложений предпочтительно использовать подход обобщения и категоризации [20] для принятия управления в ситуации, не предвиденной заранее в правилах поведения. Подход обобщения и категоризации [20] базируется на методе ситуационного управления. В настоящей статье рассматривается возможность использования модели ситуационного управления перемещением робота по заранее заданной траектории.

Постановка задачи. Рассмотрим постановку задачи в виде, предложенном в [11]. Робота нужно проследовать по одному из множества возможных маршрутов, показанных на рис. 1. Пусть, это будет маршрут из точки А в точку Е. При движении по коридорам робот «ориентируется» с помощью разного рода сенсоров, в том числе и датчика расстояния до препятствия в том направлении (прямо, вправо, влево), в котором он повернут или лидара. Возможны нарушения идеальной картины, показанной на рис. 1.

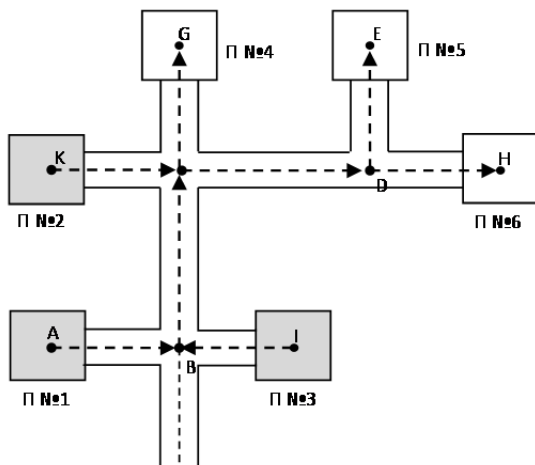


Рис. 1. Пример маршрутов

По ходу движения робота в стене появляется открытое пространство (открытая дверь) или при приближении робота, например к точке С из точки В, открытая дверь в помещении G приведет к тому, что сигнал от сенсора не будет соответствовать тому значению, которое установлено в управляющей программе, что приведет к сбоям в её работе. Если

на пути движения непредвиденно появится предмет, который робот в принципе может объехать и далее следовать маршруту, то классический метод программного управления не позволяет этого сделать. Задача ставится модифицировать метод ситуационного управления [17-19] таким образом, чтобы с его помощью можно было решить классическую задачу: управление перемещением робота по заданному маршруту в условиях помех (препятствий на маршруте).

Модифицированный метод ситуационного управления должен обеспечить перемещение робота вдоль заданной в пространстве траектории при условии, что на его пути могут появиться помехи, в том числе в маркировке маршрута.

Модифицированная модель ситуационного управления. Классическая модель ситуационного управления типа «ситуация-действие» [18], относится к системам управления, основанным на знаниях. Описание такой системы выполняется не в виде алгоритма, а в виде базы правил. Порции знаний, представленные отдельными правилами, являются независимыми и, поэтому, совокупность всех знаний рассматривается как множество неупорядоченных правил. Такая организация имеет преимущества. Например, управление перемещением робота (подвижной единицы, ПЕ) №1 представим знаниями в виде группы правил для штатных ситуаций при допущении, что возмущающие воздействия отсутствуют.

$$П_1: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(\sigma_{ПЕ_1}) = 1, \mu(AB) = 0, \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_2: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(B_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_3: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(\sigma_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_4: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(BC) = 0, \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_5: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(C_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_6: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \mu(CG) = 0, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_7: \text{ЕСЛИ } \{ \mu(G_{ПЕ_1}) = 1 \}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперёд}_{ПЕ_1}) = 1. \tag{1}$$

В правилах (1) приняты обозначения: $\mu(x) \in \{-1, +1\}$ – фактор уверенности [17] в том, что

признак x присутствует в текущей ситуации. Для рассматриваемого примера признак x в поле ЕСЛИ правил характеризует текущее положение ПЕ №1 $ПОЛ_{PE1} = \{A_{PE1}, B_{PE1}, C_{PE1}, D_{PE1}, E_{PE1}, H_{PE1}, G_{PE1}, I_{PE1}, K_{PE1}\}$, занятость фрагмента маршрута какой-либо ПЕ (участок между точками, например, А, В), $ЗАНЯТ = \{AB, IB, BC, KC, CD, DE, DH, CG\}$ и состояние ПЕ (движется или находится в покое на позиции) $ТОЧН_ОСТАНОВ = \{останов_{PE1}, останов_{PE2}, останов_{PE3}\}$.

Таким образом, множество признаков для трёх ПЕ на маршрутах есть

$$E = \{ПОЛ_{PE1}, ПОЛ_{PE2}, ПОЛ_{PE3}, НАПР_{PE1}, НАПР_{PE2}, НАПР_{PE3}, ЗАНЯТ, ТОЧН_ОСТАНОВ\}. \quad (2)$$

В поле ТО правил (1) указывается управляющее воздействие. Множество управлений

$$E' = \{вправо_{PE1}, влево_{PE1}, вправо_{PE2}, влево_{PE2}, вправо_{PE3}, влево_{PE3}, вперёд_{PE1}, вперёд_{PE2}, вперёд_{PE3}, выкл_вперёд_{PE1}, выкл_вперёд_{PE2}, выкл_вперёд_{PE3}, выкл_влево_{PE1}, выкл_влево_{PE2}, выкл_влево_{PE3}, выкл_вправо_{PE1}, выкл_вправо_{PE2}, выкл_вправо_{PE3}\}. \quad (3)$$

Теперь перейдем к идее метода *модифицированного ситуационного управления*.

Если вернуться к множеству правил (1), то оказывается, что эти правила не являются независимыми. Их можно рассматривать как последовательность правил, связанных некоторым смыслом: после активизации управления u_i правилом Π_i , если поддерживать активным это управление u_i до того момента, когда появится фрагмент ситуации и событие, модели которых записаны, например, в правиле Π_{i+1} , то это приведёт к активизации правила Π_{i+1} . Активизированное правило Π_{i+1} должно в поле ТО деактивировать прежнее управление u_i и активизировать новое управление u_{i+1} . Ниже приведено множество таких правил, в которых по сравнению с записью (1) в явном виде разделены динамические признаки, представляющие события $event(\dots)$, и статические признаки $feature(\dots)$.

$$\Pi_1: \text{ЕСЛИ } \{event(func_1), feature(l^1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_0), fire(вперёд_1)\};$$

$$\Pi_2: \text{ЕСЛИ } \{event(l^0_5), feature(func_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_1), fire(вперёд_2)\};$$

$$\Pi_3: \text{ЕСЛИ } \{event(l^0_9), feature(func_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_2), fire(вперёд_3)\};$$

$$\Pi_4: \text{ЕСЛИ } \{event(l^0_{249}), feature(func_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_3), fire(вперёд_2)\};$$

$$\Pi_5: \text{ЕСЛИ } \{event(l^0_{251}), feature(func_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_2), fire(вперёд_1)\};$$

$$\Pi_6: \text{ЕСЛИ } \{event(l^0_{256}), feature(func_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_1), fire(вперёд_0)\}. \quad (4)$$

В (4) в поле ТО в явном виде управляющие воздействия активизируются $fire(вперёд_0)$ и деактивируются $ihibit(вперёд_1)$. Этот момент принципиален, так как в отличие от модели «ситуация-действие», в модели (4) однажды указанное значение управляющего воздействия сохраняется до тех пор, пока не будет изменено явно каким-то активным правилом. Каждое правило активизируется не условием совпадения статического фрагмента ситуации с прототипом в поле ЕСЛИ правила, а событием, которое произошло и описано в качестве прототипа в поле ЕСЛИ правила, например, $event(l^0_{256})$. Это устраняет проблему различимости правил. Теперь, поскольку правила активизируются не на каждом семпле времени, различимость должна выполняться не на множестве всех правил, а только на подмножестве тех, которые активизируются одним и тем же событием. Несмотря на эту модификацию, группа правил (4), по-прежнему остаётся неупорядоченным *множеством независимых правил* с точки зрения их обработки.

Чтобы преодолеть и эту проблему нужно в явном виде ввести связи между правилами. Это можно сделать путём введения специальных псевдо признаков. Обозначим их $cont_{ij}$. Первый индекс i указывает на правило, которое оказывает влияние, а второй индекс j – на правило, которое зависит от этого влияния. Активацию и деактивацию псевдо признака $cont_{ij}$ будет выполнять ситуационное правило, аналогично управляющим воздействиям. В поле ТО правил будем записывать $fire(cont_{ij})$, $ihibit(cont_{ij})$, соответственно. Представим множество правил (4) с учётом этой модификации.

$$\Pi_{1 \rightarrow i \rightarrow j} : \\ \Pi_{1,0 \rightarrow 1} : \text{ЕСЛИ } \{event(func_1), feature(l^1_1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперёд_0), fire(вперёд_1), \\ fire(cont_{01})\};$$

$\Pi_{1_1 \rightarrow 2}$: ЕСЛИ $\{event(l_5^0), feature(cont_{01}), feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внерпѣд_1), ihibit(cont_{01}), fire(cont_{12}), fire(внерпѣд_2)\}$;
 $\Pi_{1_2 \rightarrow 3}$: ЕСЛИ $\{event(l_9^0), feature(cont_{12}), feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внерпѣд_2), ihibit(cont_{12}), fire(cont_{23}), fire(внерпѣд_3)\}$;
 $\Pi_{1_3 \rightarrow 4}$: ЕСЛИ $\{event(l_{249}^0), feature(cont_{23}), feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внерпѣд_3), ihibit(cont_{23}), fire(cont_{34}), fire(внерпѣд_2)\}$;
 $\Pi_{1_4 \rightarrow 5}$: ЕСЛИ $\{event(l_{253}^0), feature(cont_{34}), feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внерпѣд_2), ihibit(cont_{34}), fire(cont_{45}), fire(внерпѣд_1)\}$;
 $\Pi_{1_5 \rightarrow 6}$: ЕСЛИ $\{event(l_{256}^0), feature(cont_{45}), feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внерпѣд_1), ihibit(cont_{45}), fire(внерпѣд_0)\}$.

База знаний (5), по-прежнему, – множество неупорядоченных правил. Однако, связи между правилами, заданные в явном виде, задают последовательность в их обработке. В обозначении номера правила первая цифра – идентификатор маршрута для нашей предметной области (маршрут №1 в (5), вторая цифра – порядковый номер правила в последовательности ситуаций, и третья цифра – правило, которое ожидает наступления следующей ситуации в заданной последовательности. Например, $1_3 \rightarrow 4$ обозначает, что на маршруте с номером 1 третья по порядку ситуация, которому поставлено в соответствие это правило, ожидает появления ситуации, для которой предназначено правило $\Pi_{1_4 \rightarrow 5}$.

Модель ситуационного управления (5) отличается от модели «ситуация-действие» в следующем.

Во-первых, группа правил с точки зрения логики управления организована не в виде множества неупорядоченных правил, а в виде упорядоченной последовательности. Упорядоченность правил осуществляется с помощью подмножества псевдопризнаков, отражающего логику управления. Тем не менее, с точки зрения механизма обработки, группа правил рассматривается как неупорядоченное множество.

Во-вторых, благодаря введению в поля ЕСЛИ правил прототипов событий, на каждом сэмпле времени осуществляется локализация правил, которые попадают в обработку: событийная модель

обработки предполагает активизацию того правила и только тогда, когда происходит событие, указанное в правиле.

В-третьих, модель исполнительного механизма, реализующего управляющее воздействие, предполагает управление в явном виде с памятью: ранее выданное значение управляющего сигнала сохраняется и поддерживается ИМ столько времени, пока не поступит новое значение.

Синтез базы знаний ситуационного управления. Синтез ситуационного управления, как и традиционных систем управления, проводится в два этапа: структурный и параметрический. На этапе структурного синтеза базы знаний создается множество ситуационных правил типа (5), которое, включает два подмножества правил управления: в штатных и нештатных ситуациях.

Основные этапы структурного синтеза:

1) Определение множества признаков (контролируемых параметров) и множество управляющих воздействий;

2) Представление множества траекторий перемещения робота в предположении, что отсутствуют помехи (перемещение при отсутствии препятствий), последовательностями ситуаций, заданных на множестве признаков;

3) Формирование множества правил управления в штатных ситуациях: для каждой «штатной» ситуации формализуется правило;

4) Определение множества возмущений для каждой штатной ситуации, найденной на предыдущем этапе;

5) Формирование множества правил управления во нештатных ситуациях: для каждой «нештатной» ситуации формализуется правило.

Параметрический синтез базы знаний ситуационного управления предполагает задание конкретных прототипов ситуаций и управлений для каждого правила, то есть определение параметров признаков, входящих в прототип правила.

Рассмотрим пример структурного синтеза базы знаний системы ситуационного управления подвижными единицами (рис.1). Множество признаков **Е** приведено в (2). Множество управляющих воздействий в (3).

На втором этапе структурного синтеза необходимо получить для каждой траектории перемещения последовательность полных ситуаций. Для этого проведём структурно-временной анализ каждой траектории с целью определения точек в маршруте, для которых будем строить полные ситуации. Например, траектория ПЕ1 начинается из точки *A* (рис. 1) и проходит через точки *B, C, E*. Анализ перемещения вдоль этой траектории в идеальных (штатных) условиях даёт следующую последовательность таких точек:

1) ПЕ1 находится на маршруте в точке *A* в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на восток и на пути движения к цели нет других ПЕ;

2) ПЕ1 прибула в точку B остановилась и находится в состоянии точного останова, указатель направления движения, по-прежнему, установлен на восток и на пути движения к цели нет других ПЕ;

3) ПЕ1 находится в точке B в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север и на пути движения к цели нет других ПЕ;

4) ПЕ1 находится в точке C в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север и на пути движения к цели нет других ПЕ;

5) ПЕ1 находится в точке G в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север;

Каждую из вышеприведенных ситуаций, представленных вербально, формализуем на множестве признаков (2).

$$S_1 = \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 0, \mu(C_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(D_{ПЕ_1}) = 0, \mu(E_{ПЕ_1}) = 0, \mu(H_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(G_{ПЕ_1}) = 0, \mu(I_{ПЕ_1}) = 0, \mu(K_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 0, \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 1, \mu(z_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0, \dots\};$$

$$S_2 = \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 0, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(C_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(D_{ПЕ_1}) = 0, \mu(E_{ПЕ_1}) = 0, \mu(H_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(G_{ПЕ_1}) = 0, \mu(I_{ПЕ_1}) = 0, \mu(K_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 0, \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 1, \mu(z_{ПЕ_1}) = 0, \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \\ \mu(BC) = 0, \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \\ \mu(DE) = 0, \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0, \dots\};$$

$$S_3 = \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 0, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(C_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(D_{ПЕ_1}) = 0, \mu(E_{ПЕ_1}) = 0, \mu(H_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(G_{ПЕ_1}) = 0, \mu(I_{ПЕ_1}) = 0, \mu(K_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 0, \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 0, \mu(z_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0\};$$

$$S_4 = \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 0, \mu(B_{ПЕ_1}) = 0, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(D_{ПЕ_1}) = 0, \mu(E_{ПЕ_1}) = 0, \mu(H_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(G_{ПЕ_1}) = 0, \mu(I_{ПЕ_1}) = 0, \mu(K_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 1, \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 0, \mu(z_{ПЕ_1}) = 0, \mu(AB) = 0, \\ \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \mu(KC) = 0, \\ \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \mu(DH) = 0, \\ \mu(CG) = 0\};$$

$$S_5 = \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 0, \mu(B_{ПЕ_1}) = 0, \mu(C_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(D_{ПЕ_1}) = 0, \mu(E_{ПЕ_1}) = 0, \mu(H_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(G_{ПЕ_1}) = 1, \mu(I_{ПЕ_1}) = 0, \mu(K_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 0, \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 0, \mu(z_{ПЕ_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0\}; \quad (6)$$

Из (6) получим множество правил (1) путем попарного сопоставления ситуаций в соответствии с технологией синтеза.

На четвертом этапе структурного синтеза – определение множества возмущений для каждой штатной ситуации – для упрощения примем, что в качестве возмущений выступают, во-первых, другие подвижные единицы, функционирующие независимо друг от друга, и, во-вторых, сбои при выполнении команд поворота. Запишем фрагмент базы знаний уже готовых правил, которые устраняют и учитывают последствия возмущений.

$$П_{11}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(c_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вправо}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_{12}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(\gamma_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_{13}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(z_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вправо}_{ПЕ_1}) = 1;$$

.....

$$П_{6}^*: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \\ \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 1, \mu(CG) = 1, \mu(CD) = 0\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперёд}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_{61}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(CG) = 0, \\ \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \mu(\epsilon_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{ПЕ_1}) = 1;$$

- Π_{62} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(CG) = 0,$
 $\mu(C_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(z_{\text{ПЕ1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ1}}) = 1$;
- Π_{63} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(CG) = 0,$
 $\mu(C_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(\text{ю}_{\text{ПЕ1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ1}}) = 1$;
- Π_{64} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(\text{ю}_{\text{ПЕ1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{влево}_{\text{ПЕ1}}) = 1$;
- Π_{65} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ1}}) = 1$;
- Π_{65} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ1}}) = 1, \mu(z_{\text{ПЕ1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ1}}) = 1$; (7)

База правил (7) управления ПЕ1 во внештатных ситуациях при наличии помех дополняет базу правил (1) управления при отсутствии помех. Правило, например, Π_{ij} из базы (7) дополняет правило Π_i из базы (1) в случае появления помехи и предназначено для устранения j -го варианта проявления помехи. Правила в (7), помеченные звёздочкой, например, $\Pi_{ij}^*, j = 1, n$ повторно приведены из БЗ (1) для упрощения восприятия материала. Таким образом, полная база правил включает правила (1) и правила из (7). Всего 24 правила управления ПЕ1 в штатных и нештатных ситуациях. Например, в (7) правило Π_6^* учитывает помеху, влияющую на занятость участка пути CG , и оно устраняет влияние помехи путём выбора альтернативного маршрута из C в D , а затем в E (рис. 1). Для реализации этого решения в условиях помех, введены правила $\Pi_{64}, \Pi_{65}, \Pi_{66}^*$.

Заключение. Преимущество предложенной модели следующие. Кроме существенного уменьшения количества правил, прототипы правил содержат меньшее количество признаков, обладают однородностью представления. Это объясняется тем, что локальный контекст обеспечивает уникальность прототипов ситуаций правил внутри цепочки, поскольку выполняет роль уникального признака $feature(func_1)$. Событийный механизм локализует группы правил для обработки, что существенно сокращает вычислительные затраты. Кроме этого, событийный механизм значительно упрощает синтез базы знаний, поскольку задача анализа полного множества правил БЗ на непротиворечивость и динамическую полноту распадается на анализ отдельных множеств из небольшого количества правил.

Л и т е р а т у р а

1. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. М: Бином, – 2009. – 240 с.
2. Принципы построения автоматизированных систем оперативного контроля состояния потенциально опасных объектов / Макаров М.И., Королев А.Н., Павлов С.В. // Безопасность жизнедеятельности – 2004. – №12. – С.44-46.
3. Фролова М.В. Применение веб-технологий при разработке распределенных систем мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки – 2011. – №5. – С.24-31.
4. Канівець О.А. Інтелектуальна система контролю пожежонебезпечних ситуацій на основі мобільного роботу / О.А. Канівець, М.О. Лавров // Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні: зб. матеріалів I Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів; 6-7 квітня 2017 р. – Київ: КНЕУ, 2017. – С.83-85.
5. Галич Г.Б. Інтелектуальне керування з урахуванням актуальності сенсорної інформації на прикладі мобільного побутового роботу / Г.Б. Галич, А.С. Панченко // Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні: зб. матеріалів I Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів; 6-7 квітня 2017 р. – Київ: КНЕУ, 2017. – С.50-53.
6. Liu D. Design and control of intelligent robotic systems [Текст] / Dikai Liu, Lingfeng Wang, Kay Chen Tan et al. — 1st edition. — Berlin, [etc.]: Springer, 2009. — 480 p.
7. Градецкий В.Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В.Г. Градецкий, В.Б. Вешников, С.В. Калиниченко, Л.Н. Кравчук. – М.: Наука, – 2001. – 360 с
8. Mobile Robot Navigation [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/
9. A. Spröwitz, A. Tuleu, M. Vespignani, M. Ajallooeian, E. Badri, A. J. Ijspeert (2013). "Towards dynamic trot gait locomotion: Design control and experiments with cheetah-cub a compliant quadruped robot". The International Journal of Robotics Research. 32: 932–950.
10. Н. Kimura, Y. Fukuoka, A. Н. Cohen (2004). "Biologically inspired adaptive dynamic walking of a quadruped robot". Proceedings of the International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior: 201–210.
11. Додонов В.А. Управление мобильным роботом в условиях неполной информации: интеграция методов программного управления и адаптивного выбора вариантов / В.А. Додонов // Проблемы информационных технологий. – 2017. – № 01 (021). – С.97-106.
12. Попов Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность / Е.П. Попов, Г. В. Письменный. // М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.
13. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления // Автоматизация. Теория автоматического управления (ТАУ). Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
14. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами СПб: СПбГТУ, 2000. — 171 с.
15. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture.

- Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996, v.1, № 1, pp.1-18.
16. Designed and fabricated Wheeled Robots. [Электронный ресурс] – Режим доступа https://books.google.com.ua/books?id=RTvADAAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=designed+and+fabricated+Wheeled+Robots&source=bl&ots=QS3gWOWHxC&sig=r9uQUWnEgeUESEwF1DvMB4QTg3o&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKewiv_enJ157WAhUEYJoKHU07Ap4Q6AEIVzAL#v=onepage&q=designed%20and%20fabricate
 17. А.В. Тимофеев. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. / Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН. - СПб., СПИИ РАН, 1999, с.71-81.
 18. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
 19. Каргин А. А. Ситуационная производственная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) / А. А. Каргин, Демин В.А. Новиков В.Б. // Приборы и системы управления, М.: Машиностроение, №3, 1991, С.6-8
 20. Каргин А. А. Нечёткие модели в задачах ситуационного управления / А. А. Каргин, Петренко Т.Г. // Інформаційно-керувачі системи на залізничному транспорті. ХарДАЗТ, Харків, № 4, 2010 (Додаток), С.66-69.
 21. Каргин А.А. Управление «умной» машиной на основе модели категорийного представления ситуации: подход гранулярного компьютеринга / А.А. Каргин, Т.Г. Петренко. // Проблемы информационных технологий. – 2017. – №1 (021). – С.18-28.
- ### References
1. Baklanov A.I. Sistemy nabljudenija i monitoringa. M: Binom, – 2009. – 240 p.
 2. Principy postroenija avtomatizirovannyh sistem operativnogo kontrolja sostojanija potencial'no opasnyh ob'ektov / Makarov M.I., Korolev A.N., Pavlov S.V. // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti – 2004. – №12.– p.44-46.
 3. Frolova M.V. Primenenie veb-tehnologij pri razrabotke raspredelennyh sistem monitoringa // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki – 2011. – №5. – p.24-31.
 4. Kanivec O.A. Intelektual'na sistema kontrolju pozhezhonebezpečnih situacij na osnovi mobil'nogo robotu / O.A. Kanivec, M.O. Lavrov // Suchasni informacijni tehnologii ta sistemi v upravlinni: zb. materialiv I Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, aspirantiv i studentiv; 6-7 kvitnja 2017 r. – Kiïv: KNEU, 2017.– p.83-85.
 5. Galich G.B. Intelektual'ne keruvannja z urahuvannjam aktual'nosti sensornoj informacii na prikladi mobil'nogo pobutovogo robotu / G.B. Galich, A.S. Panchenko // Suchasni informacijni tehnologii ta sistemi v upravlinni: zb. materialiv I Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, aspirantiv i studentiv; 6-7 kvitnja 2017 r. – Kiïv: KNEU, 2017.– p.50-53.
 6. Liu D. Design and control of intelligent robotic systems [text] / Dikai Liu, Lingfeng Wang, Kay Chen Tan et al. — 1st edition. — Berlin, [etc.]: Springer, 2009. — 480 p.
 7. Gradeckij V.G. Upravljaemoe dvizhenie mobil'nyh robotov po proizvol'no orijentirovannym v prostranstve poverhnostjam / V.G. Gradeckij, V.B. Veshnikov, S.V. Kalinichenko, L.N. Kravchuk. – M.: Nauka, – 2001. – 360 p.
 8. Mobile Robot Navigation – Available at: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/
 9. A. Spröwitz, A. Tuleu, M. Vespignani, M. Ajallooeian, E. Badri, A. J. Ijspeert (2013). "Towards dynamic trot gait locomotion: Design control and experiments with cheetah-cub a compliant quadruped robot". The International Journal of Robotics Research. 32: 932–950.
 10. H. Kimura, Y. Fukuoka, A. H. Cohen (2004). "Biologically inspired adaptive dynamic walking of a quadruped robot". Proceedings of the International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior: 201–210.
 11. Dodonov V.A. Upravlenie mobil'nym robotom v uslovijah nepolnoj informacii: integracija metodov programmno upravlenija i adaptivnogo vybora variantov / V.A. Dodonov // Problemy informacionnyh tehnologij. – 2017. – № 01 (021). – p.97-106.
 12. Popov E.P. Osnovy robototehniki: Vvedenie v special'nost' / E.P. Popov, G. V. Pis'mennyj. // M.: Vysshaja shkola, 1990. – 224 p.
 13. Dorf R., Bishop R. Sovremennye sistemy upravlenija // Avtomatizacija. Teorija avtomaticheskogo upravlenija (TAU). Per. s angl. B. I. Kopylova. – M.: Laboratorija bazovyh znanij, 2002. – 832 p.
 14. Jurevich E.I. Upravlenie robotami i robototehničeskimi sistemami SPb: SPbGTU, 2000. — 171 p.
 15. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture. - Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996, v.1, № 1, pp.1-18.
 16. Designed and fabricated Wheeled Robots. – Available at: https://books.google.com.ua/books?id=RTvADAAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=designed+and+fabricated+Wheeled+Robots&source=bl&ots=QS3gWOWHxC&sig=r9uQUWnEgeUESEwF1DvMB4QTg3o&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKewiv_enJ157WAhUEYJoKHU07Ap4Q6AEIVzAL#v=onepage&q=designed%20and%20fabricate
 17. А.В. Тимофеев. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. / Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН. - СПб., СПИИ РАН, 1999, с.71-81.
 18. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 p.
 19. Каргин А. А. Ситуационная производственная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) / А. А. Каргин, Демин В.А. Новиков В.Б. // Приборы и системы управления, М.: Машиностроение, №3, 1991, С.6-8
 20. Каргин А. А. Нечёткие модели в задачах ситуационного управления / А. А. Каргин, Петренко Т.Г. // Інформаційно-керувачі системи на залізничному транспорті. ХарДАЗТ, Харків, № 4, 2010 (Додаток), С.66-69.
 21. Каргин А.А. Управление «умной» машиной на основе модели категорийного представления ситуации: подход гранулярного компьютеринга / А.А. Каргин, Т.Г. Петренко. // Проблемы информационных технологий. – 2017. – №1 (021). – С.18-28.

Додонов В.О., Галіч Г.Б. Управління переміщенням роботу по заданому маршруту в умовах перешкод на основі ситуаційного методу.

Розглядається задача модифікації моделі ситуаційного керування мобільними пристроями (колісні роботи), які оснащені сенсорними системами, мікропроцесором, системою бездротового Wi-Fi зв'язку і здатні переміщатися до ділянки, ситуація на якій становить інтерес. Модифікація методу «ситуація-дія» здійснена шляхом введення в ситуаційні правила локального контексту, що забезпечує унікальність прототипів ситуацій правил, і подієвого механізму обробки правил, що дозволяє локалізувати групи правил для обробки. Введення цих механізмів дозволяє використовувати традиційну модель ситуаційного управління для реалізації управління переміщенням робота уздовж заздалегідь заданій траєкторії в умовах непередбачених перешкод.

Ключові слова: колісний робот, інтелектуальні сенсори, ситуаційне управління, контекст, подієва модель.

Dodonov V.A., Galich G.B. The controll of the robot movement along a given route under obstacle based on the situational method.

The problem of the situational control model modification for mobile devices (wheeled robots) that are equipped with sensory systems, a microprocessor, a wireless Wi-Fi communication system and are able to move to a site where the situation is of interest is considered. The modification of the "situation-action" method is implemented by introducing into the situational rules a local context that ensures the uniqueness of the rules prototypes, and the event mechanism for processing rules, which allows you to localize rule groups for processing. The introduction of these mechanisms makes it possible to use the traditional situational control model to implement the control of the movement of a robot along a predetermined trajectory under unforeseen interference conditions.

Keywords: wheel robot, intelligent sensors, situational control, context, event model.

Додонов В.О. – науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, м. Київ, e-mail: v.a.dodonov14@gmail.com

Галіч Г.Б. – аспірант, Донецький національний університет ім. Василя Стуса, м. Вінниця, e-mail: v.a.dodonov14@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 28.09.2017