

А.А. Тачков, А.С. Ющенко

**ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНЫМ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ РОБОТОМ**

Рассматриваются структура интерактивной системы управления пожарным разведывательным роботом, особенности построения стратегического уровня управления, обеспечивающего идентификацию ситуации, а также тактического и исполнительного уровней управления. Обосновывается использование метода пропорциональной навигации для автоматического наведения робота на источник возгорания. Приводятся результаты математического моделирования и экспериментального исследования разрабатываемой робототехнической системы.

E-mail: robot@bmstu.ru

Ключевые слова: *интерактивная система управления, мобильный пожарный разведывательный робот, пропорциональная навигация, обратная задача динамики пожара.*

Работы по ликвидации результатов техногенных катастроф, в том числе пожаров, всегда сопряжены с риском для жизни людей, принимающих в них участие. Особую сложность представляют работы по ликвидации пожаров в закрытых помещениях в связи с возникновением сильного задымления, высокой температуры и, как правило, неопределенности ситуации на начальной стадии развития пожара. Организация пожаротушения требует предварительной разведки, связанной с риском для персонала. Поэтому в последнее время за рубежом и в России активно разрабатываются и применяются робототехнические системы, с помощью которых оператор может вести разведку, находясь вне опасной зоны. Например, такие робототехнические системы применялись при ликвидации последствий недавней аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии [1]. В России разработки робототехнических систем противопожарного назначения ведутся, в частности, в ФБГУ ВНИИПО МЧС России и в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. За последнее десятилетие специалистами этих организаций были разработаны мобильные роботы, способные вести разведывательные действия с целью оказания помощи в принятии решений руководителю тушения пожара, в том числе мобильный робототехнический комплекс МРК-РП. Применение этих роботов существенно снижает риск для оператора при выполнении разведывательных операций на пожаре. Однако управление всеми движениями роботов ведется оператором в дистанционном режиме, обычно с помощью джойстиков, что представляет для него значительные трудности и зачастую малоэффективно из-за

ограничения видимости вблизи очагов возгорания. В связи с этим для повышения эффективности функционирования противопожарного разведывательного робота необходимо создание системы управления с элементами искусственного интеллекта, позволяющей обеспечить управление роботом путем диалога с оператором, т. е. интерактивной робототехнической системы (РТС). При этом РТС, используя собственную информационную систему, должна определить характер пожара и обеспечить эффективный поиск источника возгорания.

Архитектура системы управления пожарным роботом. Стратегический уровень управления. Обобщая результаты анализа способов разведки пожара, можно предложить трехуровневую систему управления пожарным мобильным роботом (рис. 1), содержащую стратегический, тактический и исполнительный уровни управления [2]. Стратегический блок находится на посту оператора-координатора, расположенном вне опасной зоны. Информация о состоянии внешней среды поступает в блоки стратегического и тактического уровней управления от информационно-измерительной системы робота. Полученная информация обрабатывается в блоке «Интерпретатор» и передается оператору в текстовой и графической формах, а также в форме речевых сообщений.

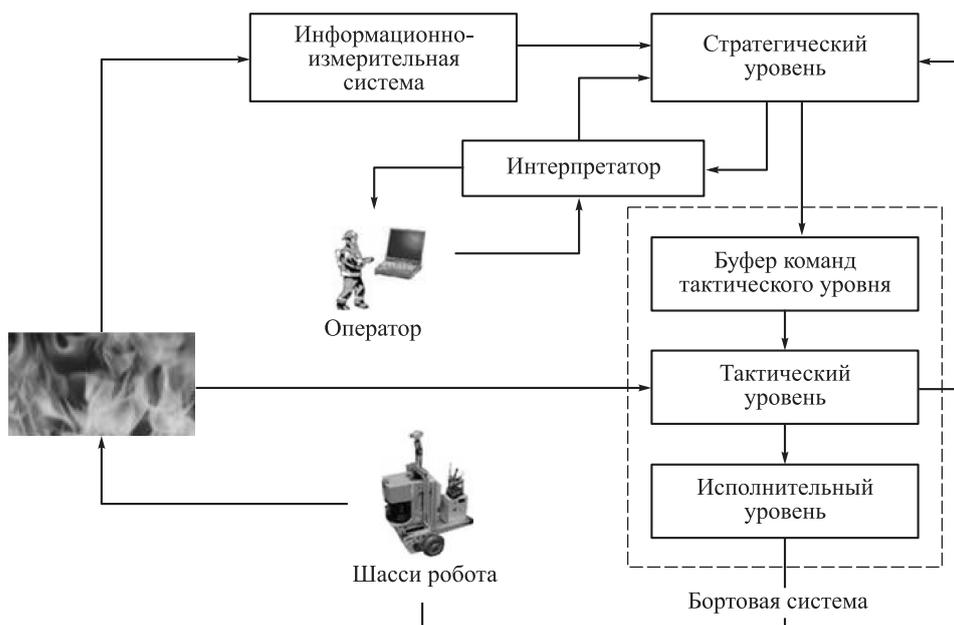


Рис. 1. Структурная схема системы управления мобильным пожарным роботом

Задача для пожарного робота формулируется оператором на профессионально-ориентированном языке, анализируется «интерпретатором» и пересылается стратегическому уровню, отвечающему за

общий сценарий поведения робота. Результатом работы стратегического уровня является определение класса пожара, что влечет за собой и сценарий необходимых действий. Этот сценарий поступает в буфер команд тактического уровня, где осуществляется планирование поведения робота. Команды на выполнение отдельных операций, содержащихся в сценарии, передаются на тактический уровень и выполняются бортовой системой управления робота.

В общем случае сценарий предполагает участие «команды» роботов, в числе которых могут быть и роботы-разведчики, и роботы, предназначенные для борьбы с огнем, разборки завалов, спасения людей и т. д. В данной статье решается более узкая задача – работа одного робота-разведчика, взаимодействующего с оператором в режиме диалога. Поскольку оператор может вести диалог на обоих уровнях управления – тактическом и исполнительном, целесообразно осуществлять управление с использованием нечеткой логики и лингвистических переменных, соответствующих профессиональной лексике оператора.

Ядро блока стратегического уровня – система знаний о процессе протекания пожара, включающая динамическую модель термогазодинамики пожара [3]. Анализ процесса протекания закрытых пожаров показал, что наибольшую трудность при проектировании стратегического уровня пожарного робота представляет задача идентификации параметров пожара. Проведенный анализ базы типовых пожарных нагрузок [4] позволил установить принципиальную возможность определения типа горючего вещества по значениям удельного потребления кислорода L_{O_2} , удельного выделения угарного L_{CO} и углекислого L_{CO_2} газов. По оценке вектора признаков $L = \{L_{O_2}, L_{CO}, L_{CO_2}\}$ может быть определен и класс пожара.

По построенному распределению данных в пространстве состояний признаков, взятых из базы нагрузок [4], были определены продукционные правила и сформированы функции принадлежности нечеткого классификатора [5]. Для лингвистической оценки признаков пожара использовались термы «низкий», «средний», «высокий». Предлагаемая база нечетких правил обеспечивает определение класса пожара, который в соответствии с ГОСТ 27331–87 обозначен как $\{A1, A2, B1, B2\}$. Например, ЕСЛИ $\langle L_{CO} \text{ высокий} \rangle$ ТО $\langle \text{класс } B2 \rangle$; ЕСЛИ $\langle L_{O_2} \text{ высокий} \rangle$ И $\langle L_{CO_2} \text{ высокий} \rangle$ И $\langle L_{CO} \text{ средний} \rangle$ ТО $\langle \text{класс } B1 \rangle$; ЕСЛИ $\langle L_{O_2} \text{ низкий} \rangle$ И $\langle L_{CO} \text{ средний} \rangle$ ТО $\langle \text{класс } A1 \rangle$ и т. д.

В качестве примеров горючих нагрузок, относящихся к перечисленным классам, можно отнести бумагу, дерево, текстильные изделия – класс А1 (горение твердых веществ, сопровождаемое тлением); пластмассу – класс А2 (горение твердых веществ, несопровождаемое тлением); бензин, нефтепродукты – класс В1 (горение жидких веществ,

нерастворимых в воде, а также сжимаемых твердых веществ); спирты, глицерин – В2 (горение жидких веществ, растворимых в воде). Определение класса пожара позволяет, таким образом, выбрать средства и стратегию борьбы с пожаром, которая заранее определена для каждого из классов и содержится в экспертной системе стратегического уровня.

Основная проблема распознавания класса пожара состоит в том, что значения координат вектора стехиометрических коэффициентов L в условиях протекания пожара не поддаются непосредственному измерению, поэтому для их определения приходится использовать обобщенную модель его динамики. Эту проблему, используя аналогию с теоретической механикой, можно определить как решение обратной задачи динамики пожара, т. е. установление указанных параметров пожара по результатам наблюдения за изменением параметров среды, доступных измерению датчиками робота.

Модель процесса пожара можно представить в виде структурной схемы (рис. 2), из которой видно, что скорость изменения среднеобъемных показателей газовой среды в помещении определяется массовым расходом поступающего воздуха G_B , массовым расходом вытекающих наружу газов G_T и скоростью газификации горючего материала ψ .

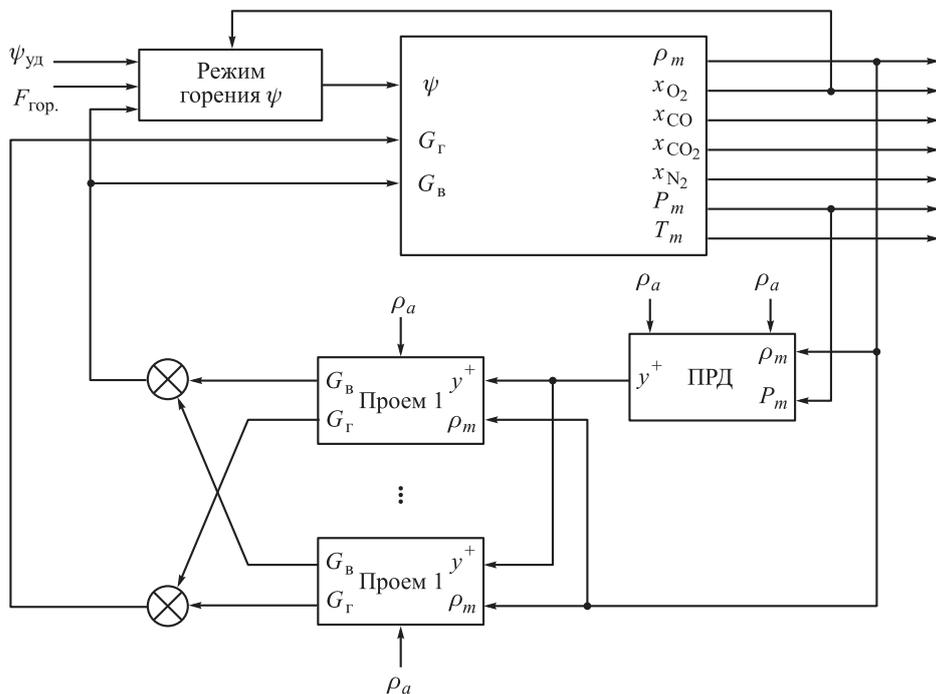


Рис. 2. Схема модели динамики пожара в помещении:

ПРД – плоскость равных давлений; x_{N_2} – среднеобъемная массовая концентрация азота; P_m – среднеобъемное давление в помещении; T_m – среднеобъемная температура; ρ_m – среднеобъемная плотность газовой среды в помещении; ρ_a – плотность поступающих в помещение газов

Нахождение входных переменных G_B , G_T , ψ сопряжено с определенными сложностями. Непосредственно установить их значения параметров расхода G_B и G_T не всегда возможно, так как для этого необходимо знать количество всех проемов помещения, их расположение относительно уровня пола, состояние (открыты или закрыты) и координату плоскости равных давлений (ПРД) y^* .

Скорость газификации горючего материала ψ , в свою очередь, определяется количеством кислорода $x_{O_{2B}}$, поступающего в помещение вместе с воздухом, т. е. массовым расходом G_B , наряду со среднеобъемной концентрацией кислорода x_{O_2} , удельной скоростью газификации $\psi_{уд}$ и площадью пожара $F_{гор}$.

Вектор признаков L определяется из уравнений модели пожара [4]:

$$L = \begin{pmatrix} L_{O_2} \\ L_{CO} \\ L_{CO_2} \end{pmatrix} = \frac{1}{\eta\psi} \begin{pmatrix} G_B x_{O_{2B}} - G_T n_1 x_{O_2} - V \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} \\ V \frac{d(\rho_m x_{CO})}{dt} + G_T n_2 x_{CO} - G_B x_{CO_B} \\ V \frac{d(\rho_m x_{CO_2})}{dt} + G_T n_2 x_{CO_2} - G_B x_{CO_{2B}} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где V – свободный объем помещения; n_1 – неравномерность концентрации кислорода; η – полнота сгорания; x_{CO} – среднеобъемная массовая концентрация оксида углерода; x_{CO_B} – среднеобъемная массовая концентрация оксида углерода в наружном воздухе; x_{CO_2} – среднеобъемная массовая концентрация углекислого газа; $x_{CO_{2B}}$ – среднеобъемная массовая концентрация углекислого газа в наружном воздухе.

Таким образом, для определения вектора L по формуле (1) необходимо вначале вычислить значения среднеобъемных массовых расходов G_B и G_T и скорости газификации ψ , т. е. решить обратную задачу динамики пожара по оцениваемой среднеобъемной концентрации газов и среднеобъемной плотности газовой среды в помещении.

Для уменьшения исходной неопределенности было предложено накладывать на исходную модель дополнительную связь вида $\eta\psi L_{O_2} = \eta(\eta - \eta_0 K) / (x_{O_{2B}} G_B (1 - K))$ [3, 4], где η_0 – полнота сгора-

ния вещества на открытом воздухе; K – функция пожара. Смысл этой связи состоит в том, что скорость газификации ψ определяется режимом пожара (пожар, регулируемый вентиляцией или нагрузкой), который, в свою очередь, зависит от количества поступающего кислорода. Теперь исходная система уравнений может быть решена в аналитической форме относительно неизвестного G_B , которое вычисляется как положительный корень G_B^* квадратного уравнения, после чего из уравнений интегральной модели пожара рассчитываются G_T и ψ ; эти значения подставляются в систему уравнений (1), определяющую вектор признаков L .

Полученное решение позволяет оперировать знаниями, содержащимися в экспертной системе стратегического уровня, для того, чтобы запросить недостающую информацию и сформулировать рекомендации для оператора. Например, *«если хотя бы один слот класса «Пожар» пустой (т. е. класс пожара не определен), запросить данные разведки»* или *«если пришел запрос от оператора, рекомендуемый тип тушащего состава и класс пожара определен и класс пожара А1, сообщить оператору, что для тушения пожара рекомендуется использовать воздушно-пенные или порошковые огнетушители типа АВС»* и т. д.

Тактический и исполнительный уровни управления. Метод пропорциональной навигации. Определение на стратегическом уровне управления класса пожара и его параметров позволяет организовать собственно поведение робота, т. е. управление на тактическом уровне. В зависимости от ситуации возможны различные «линии поведения». Так, при явной опасности робот должен покинуть опасную зону, а при возможности дальнейшего продвижения к очагу пожара – перемещаться в сторону очага и желательнее по кратчайшему пути. Наконец, возможна пограничная ситуация, когда робот совершает движение по границе опасной зоны для выяснения ее площади и других характеристик.

Рассмотрим ситуацию, когда робот имеет возможность перемещаться в направлении очага пожара. Естественным в данном случае было бы применение самонаведения на источник возгорания, однако в условиях сильного задымления этот источник может быть не виден. Поведение робота должно определяться такими опасными факторами пожара (ОФП), как температура среды, концентрация угарного СО и углекислого СО₂ газов и другими параметрами, которые либо непосредственно определяются датчиками робота, либо вычисляются путем решения обратной задачи динамики пожара, о чем упоминалось выше.

Робот находится в скалярном поле ОФП, поэтому задача самонаведения робота может быть решена как движение по траектории, построенной вдоль градиента этого поля. В данном случае робот движется в каждый момент времени в сторону максимума выбранного параметра, который условно может быть принят за текущую опорную точку (рис. 3). Если робот и очаг горения разделяют препятствия, опорными точками будут служить условные точки, связанные с проемами в таких препятствиях (двери, окна, коридоры). При этом алгоритм самонаведения должен быть дополнен алгоритмом обхода препятствий.

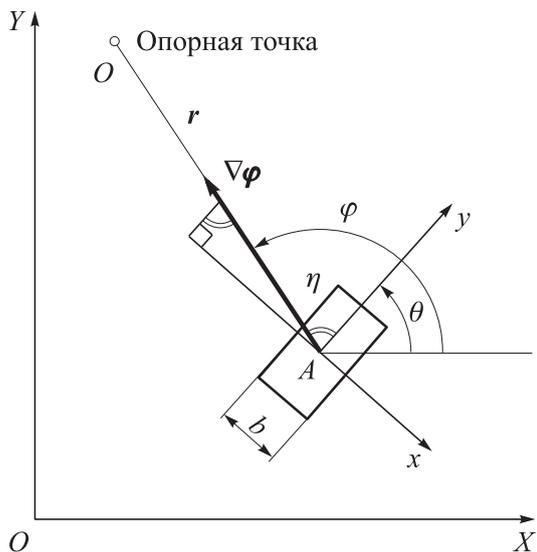


Рис. 3. Схема наведения робота в опорную точку:

r – радиус-вектор опорной точки; b – ширина колеи робота; θ – текущее значение угла курса робота в абсолютной системе координат OXY ; $\nabla\varphi$ – градиент ОФП в направлении φ ; η – угол упреждения; Axy – подвижная система координат, связанная с центром масс робота

Если направление градиента ОФП задано углом $\varphi(\mathbf{r}, t)$, ориентированным вдоль возрастающих значений градиента, то

$$\varphi(\mathbf{r}, t) = \theta(t) + \eta(t), \quad (2)$$

где $\eta(t)$ – угол упреждения; $\theta(t)$ – текущее значение угла курса движения робота.

Дифференцируя выражение (2) по времени, получим следующую оценку для скорости изменения угла упреждения:

$$\frac{d\eta}{dt} = \nu \mathbf{u}(\theta) \nabla \varphi - \omega + \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (3)$$

где ν – скорость линейного перемещения робота; ω – его угловая скорость; $\mathbf{u}(\theta)$ – орт оси OX ; $\nabla \varphi$ – градиент температуры в точке месторасположения робота в направлении φ .

Так как опорная точка неподвижна, кинематические уравнения движения робота, которые следуют из уравнения (3), имеют вид

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = -\nu \cos(\varphi - \theta); \\ r \frac{d\varphi}{dt} = \nu \sin(\varphi - \theta), \end{cases} \quad (4)$$

где r – расстояние от робота до опорной точки.

В этом случае $\nu \mathbf{u}(\theta) \nabla \varphi = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\nu \sin \eta}{r}$ – скорость вращения условной линии визирования AO . Условие осуществления самонаведения робота требует наложения дополнительной кинематической связи, определяющей закон наведения. Для того чтобы избежать резких поворотов, в данном случае целесообразно использовать метод пропорциональной навигации. Тогда угловая скорость робота должна быть пропорциональна угловой скорости вращения линии визирования, т. е. должно соблюдаться равенство

$$\omega = \frac{K_n \nu \sin \eta}{r} = K_n \dot{\varphi}, \quad (5)$$

где K_n – коэффициент пропорциональной навигации.

Для того чтобы воспользоваться последней формулой для управления угловой скоростью робота, нужно знать угловую скорость линии визирования, что также представляет проблему, поскольку опорная точка условна. Этот параметр тоже может быть определен косвенным путем по измерениям параметров ОФП. Например, в том случае, когда в качестве ОФП рассматривается температура, а пожар является закрытым, производная $d\varphi/dt$ может быть оценена путем измерения разницы показаний датчиков температур ΔT по левому и правому борту шасси робота. Тогда закон наведения принимает следующий вид:

$$\omega = \frac{K_H v^2 \Delta T}{b(0,62(T(r) - T_0)v + H\dot{T})}, \quad (6)$$

где $T(r)$ – температура в точке A ; T_0 – начальная температура в помещении в месте старта движения робота; H – высота помещения; \dot{T} – скорость изменения температуры в точке A .

Равенство (6) представляет собой зависимость угловой скорости робота от геометрического расположения измерительных средств и ОФП – скалярного температурного поля.

Заметим, что при управлении мобильным роботом следует менять как угловую, так и линейную скорость. Это позволяет роботу-разведчику при перемещении к очагу пожара преодолевать препятствия и выполнять маневры при движении через проемы. Правила подобных действий могут содержаться в форме нечетких правил-продукций в базе знаний тактического уровня. Применение нечеткого контроллера тактического уровня (рис. 4) дает возможность легко описать тактику перемещений робота, включая, наряду с правилами пропорциональной навигации, такие правила безопасного движения, как плавный откат от препятствий, если их не удастся обойти, проезд через проем, если такой маневр позволяют габариты последнего, и т. п. Предполагается, что тактический уровень может быть совмещен с телевизионной системой объемного зрения, являющейся частью информационно-измерительной системы [6].

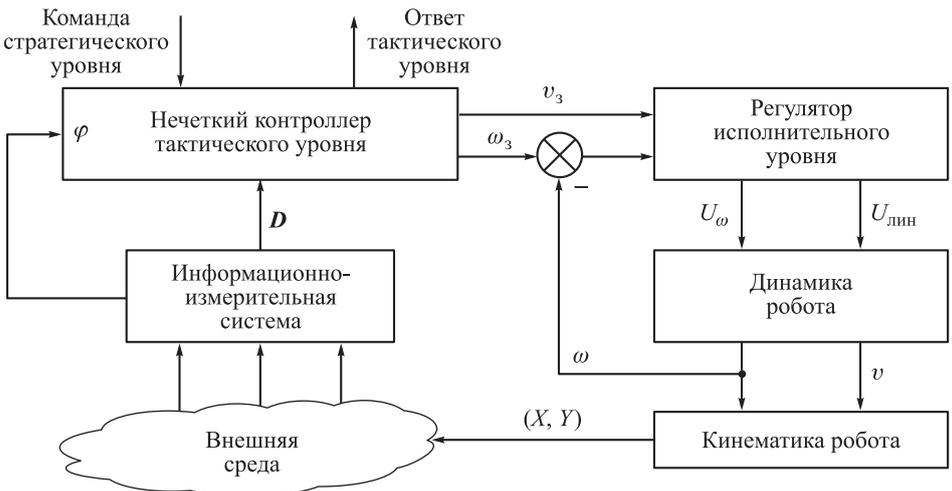


Рис. 4. Схема системы управления движением робота:

U_ω – управление угловой скоростью; $U_{лин}$ – управление скоростью линейного перемещения; (X, Y) – вектор положения робота в абсолютной системе координат; D – вектор дальности до препятствия; v_3 и ω_3 – рекомендуемые (заданные) линейная и угловая скорости

Входными сигналами нечеткого контроллера являются обобщенные команды, поступающие со стратегического уровня и определяющие типовые действия, которые необходимы для реализации сценария, а выходными сигналами нечеткого контроллера являются такие сигналы, как «рекомендуемая линейная скорость» v_3 и «рекомендуемая угловая скорость» ω_3 , поступающие на регулятор исполнительного уровня.

Ниже приведены примеры правил-продукций, используемых контроллером тактического уровня:

ЕСЛИ *«расстояние до препятствия прямо по курсу мало»* И *«расстояние до препятствия справа»* мало ТО *«рекомендуемая линейная скорость»* нулевая И *«рекомендуемая угловая скорость»* положительная большая

ЕСЛИ *«оценка скорости вращения линии визирования»* нулевая ТО *«рекомендуемая угловая скорость»* нулевая

ЕСЛИ *«оценка скорости вращения линии визирования»* положительная ТО *«рекомендуемая угловая скорость»* положительная средняя

Совместное использование критериев безопасности и принципа самонаведения позволяет добиться компромиссного решения при перемещении робота – осуществить безопасный проезд к очагу пожара при дефиците имеющейся информации.

Экспериментальное исследование робототехнической системы. В качестве модели мобильного пожарного робота-разведчика был выбран робот на гусеничном шасси (рис. 5). Использование такого шасси обуславливается возможностью обеспечения высокой маневренности, необходимой при движении в помещениях.

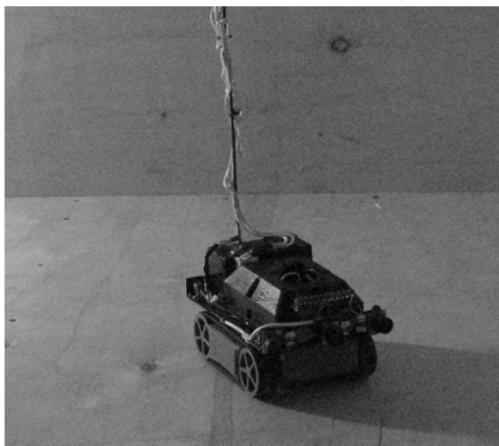


Рис. 5. Макет пожарного робота-разведчика

Математическая модель динамики робота с гусеничным шасси, приводимого в движение двумя двигателями постоянного тока через

редукторы, при допущении малой скорости изменения моментов вращения двигателей может быть представлена в виде

$$\begin{cases} T_v \dot{v} + v = K_v U_{\text{лин}} - K_{fv} F_{\text{с.к}}; \\ T_\Omega \dot{\omega} + \omega = K_\Omega U_\omega - K_{f\Omega} M_c, \end{cases} \quad (7)$$

где T_v, T_Ω – постоянные времени скорости и угловой скорости соответственно; K_v, K_Ω – коэффициенты передачи по каналу управления скоростью и угловой скоростью; $K_{fv}, K_{f\Omega}$ – коэффициенты передачи по возмущающему воздействию в соответствующем канале; $F_{\text{с.к}}$ – сила сопротивления качению; M_c – момент сопротивления повороту.

Момент сопротивления M_c учитывает неравномерность распределения массы робота на гусеницы и зависимость M_c от радиуса поворота робота $R_{\text{п}}$. Регулятор угловой скорости поворота робота (пропорционально-интегрирующий – ПИ-регулятор) настраивался на отсутствие перерегулирования в переходном процессе при выполнении роботом поворота.

Численный эксперимент проводился для рассматриваемого макета робота со следующими расчетными коэффициентами (макет робота выполнен в масштабе 1:6 к мобильному робототехническому комплексу МРК-РП): $T_v \approx 0,07$ с; $K_v \approx 0,038$ м/(В·с); $K_\Omega \approx 0,72$ В⁻¹·с⁻¹; $T_\Omega \approx 0,13$ с (постоянная времени угловой скорости поворота определялась экспериментально по переходной характеристике); $K_{fv} = 0,055$; $K_{f\Omega} = 20$; $M_c = 0,023\mu(R_{\text{п}})$, Н·м. Настройки ПИ-регулятора также были получены экспериментально: $K_{\text{п}} = 1,8$; $K_{\text{и}} = 14$.

Коэффициент самонаведения $K_{\text{н}}$ в формуле (6) был выбран по результатам имитационного моделирования совместной работы тактического и исполнительного уровней при скорости линейного перемещения робота 0,125 м/с. Угловая скорость робота была ограничена диапазоном $[-0,5; 0,5]$ рад/с. Постоянные времени дифференциального измерительного канала температуры ΔT и канала измерения температуры T при моделировании принимались равными 3 с. В ходе моделирования было установлено, что угол выхода робота к опорной точке определяется начальным участком траектории наведения, на котором и происходит стабилизация движения робота относительно градиента температурного поля (рис. 6). Во всех случаях, как видно из графиков, обеспечивается решение задачи наведения. Выбирая коэффициент самонаведения $K_{\text{н}}$, можно обеспечить необходимое качество процесса наведения.

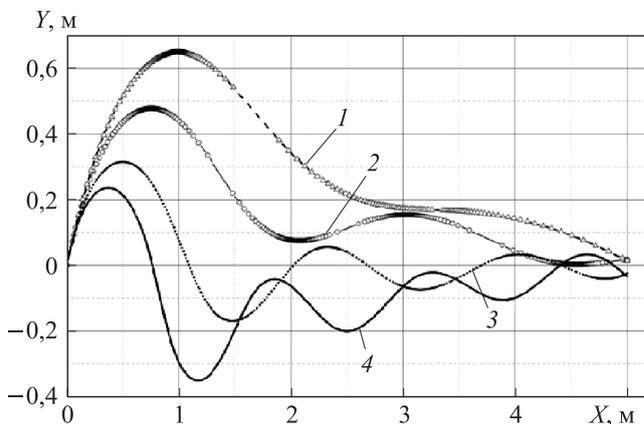


Рис. 6. Траектории движения робота, полученные в ходе моделирования, при $K_n = 20$ (1); 30 (2); 50 (3); 70 (4)

Следует отметить, что в рамках проведенного исследования использовалась упрощенная модель распространения температурного поля пожара, не учитывающая ряда факторов, сопутствующих процессу пожара, например турбулентность теплового потока. В связи с этим для проверки результатов моделирования в условиях, приближенных к реальным, на специальном стендовом оборудовании проводилась серия экспериментов по пропорциональной навигации робота.

На стенде размерами $2 \times 1,5 \times 0,8$ м (масштаб 1:6, как и для макета робота), имитирующим помещение, с помощью источника тепла удельной мощностью 30 кВт/м^2 в области расположения измерительной аппаратуры робота создавалось температурное поле с градиентом $3 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C/м}$, который соответствовал значениям градиента в численном эксперименте. Расположение робота относительно источника тепла (опорной точки) и начальный угол упреждения η варьировались в соответствии с программой испытаний. Коэффициент K_n был выбран равным $0,75$, т. е. достаточно малым из-за дискретности в измерении температуры. Оператором передавалась на стратегический уровень команда «Поиск», которая интерпретировалась как командный вектор с координатами «команда по каналу угловой скорости» и «команда по каналу линейной скорости» и поступала на тактический уровень системы управления.

На тактическом уровне программно подключался канал оценки $\dot{\phi}$, и происходила активация соответствующих правил нечеткого контроллера, в соответствии с которыми формировалось задание для исполнительного уровня. По достижению района опорной точки роботу подавалась команда «Стой».

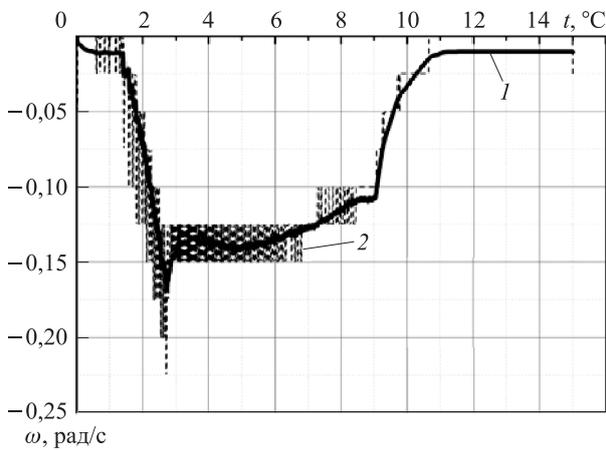


Рис. 7. Изменение угловой скорости при движении робота:

1 – результаты моделирования; 2 – угловая скорость, фиксируемая датчиком угловой скорости на макете в ходе натурального эксперимента

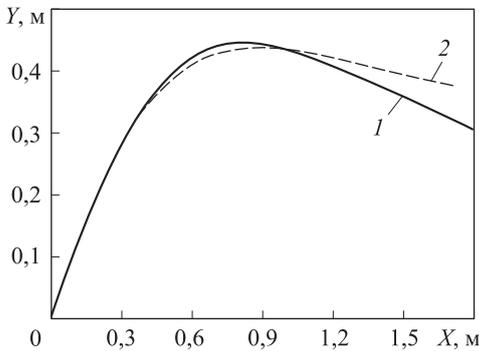


Рис. 8. Траектория движения робота при наведении на источник тепла:

1 – результат моделирования; 2 – экспериментальная траектория

угловой скорости, полученной по модели и из экспериментальных данных. Поскольку измерение угловой скорости в физической модели имеет дискретный характер (уровень квантования 0,025 рад/с), на конечном участке траектории движения наблюдается расхождение расчетной и экспериментальной кривой наведения (рис. 8), не превышающее по абсолютной величине значения 8 см. Максимальное расхождение теоретической и экспериментальной кривых в процессе обработки результатов эксперимента не превышало 15 см.

Таким образом, обобщая результаты проведенных экспериментальных исследований, можно констатировать, что они подтверждают как адекватность предложенной математической модели, так и работоспособность созданной системы самонаведения пожарного робота в целом.

В серии из 25 экспериментов в 20 случаях был зафиксирован выход робота в район опорной точки радиусом 0,2 м.

На рис. 7 и 8 представлены результаты одного из проведенных экспериментов и данные, полученные по математической модели системы, которая включала тактический и исполнительный уровни управления.

Из рис. 7 видно хорошее совпадение результатов оценки

В статье математически и экспериментально, с использованием физической модели робота в условиях, приближенных к реальным, обосновано применение метода пропорционального наведения робота для автономного поиска очага возгорания в температурном скалярном поле. При этом задача управления максимально облегчена для оператора, так как все действия робота выполняются по командам оператора. Использование нечеткой логики и лингвистических переменных на верхних уровнях управления позволяет применить для управления проблемно-ориентированный язык, близкий к лексике оператора, что также облегчает отладку системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франция предложила Японии своих роботов для ликвидации аварии на АЭС: <http://www.rg.ru/2011/03/18/robotjapan-anons.html>.
2. Ю щ е н к о А. С., Т а ч к о в А. А. Управление пожарной робототехнической системой с использованием принципов диалогового управления: труды XXI Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Москва, 18–20 мая 2010 г.). – М., 2010. – С. 305–312.
3. Пу з а ч С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Академия ГПС МВД России, 2005. – С. 52–91.
4. Ко ш м а р о в Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
5. Т а ч к о в А. А. Нечеткая классификация пожара системой управления мобильного пожарного робота: труды XII Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (Тверь, 20–24 сентября 2010 г.). Т. 3. – М.: Физматлит, 2010. – С. 122–127.
6. Во л о д и н Ю. С., М и х а й л о в Б. Б., Ю щ е н к о А. С. Нечеткая классификация препятствий мобильным роботом с использованием телевизионной системы пространственного зрения // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. научных трудов VI Международной научно-технической конференции (Коломна, 16–19 мая 2011 г.). Т. 1. – М.: Физматлит, 2011. – С. 372–380.

Статья поступила в редакцию 28.06.2012