For citation:

Rutkovsky V. Yu., Sukhanov V. M., Glumov V. M. On a Small Free-Flying Space Robot Control Task, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2015, vol. 16, no. 3, pp. 159—166.*

DOI: 10.17587/mau.16.159-166

References

1. **Dubowsky S., Papadopoulos E.** The Kinematics, Dynamics, and Control of Free-Flying and Free-Floating Space Robotic Systems, *IEEE Transact. Robot. Automat.,* 1993, vol. 9, no. 5, pp. 531—543.

2. **Moosavian S. Ali A., Papadopoulos E.** Free-flying Robots in Space: an Overview of Dynamics Modeling, Planning and Control, *J. Robotica, 2007,* no. 25 (5), pp. 537—547.

3. **Xu W. F., Liu Yu., Liang B., Yangsheng Xu, Wenyi Qiang.** Autonomous Path Planning and Experiment Study of Free-floating Space Robot for Target Capturing, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2008, no. 51, p. 303—331.

4. **Umetani Y., Yoshida K.** Resolved motion rate control of space manipulators with generalized Jacobian matrix, *IEEE Trans. Robot. Automat.,* 1989, no. 5 (3), pp. 303—314.

5. **Rutkovsky V. Yu., Sukhanov V. M., Glumov V. M.** Nekotorye voprosy upravlenija svobodnoletajushhim kosmicheskim manipuljacionnym robotom, *Avtomatika i Telemehanika,* 2013, no. 11, pp. 62—83 (in Russian).

6. **Rutkovsky V. Yu., Sukhanov V. M., Glumov V. M.** Uravnenija dvizhenija i upravlenie svobodnoletajushhim kosmicheskim manipuljacionnym robotom v rezhime rekonfiguracii, *Avtomatika i Telemehanika,* 2010, no. 1, pp. 80—98 (in Russian).

7. **Silaev A. V., Sukhanov V. M.** Matematicheskaja model' svobodnoletajushhego kosmicheskogo robota v rezhime manipuljacionnogo funkcionirovanija vo vneshnem prostranstve, *Materialy konferencii "Upravlenie v tehnicheskih, jergaticheskih, organizacionnyh i setevyh sistemah" (UTJeOSS-2012),* Saint Peterburg, OAO "Koncern CNII "Jelektropribor", 2012, pp. 806—809 (in Russian).

8. **Sukhanov V. M., Rutkovsky V. Yu., Glumov V. M.** Opredelenie rabochej zony i trebuemogo nachal'nogo polozhenija svobodnoletajushhego kosmicheskogo robota pri zahvate celi, *Avtomatika i Telemehanika,* 2014, no. 11, pp. 150—159 (in Russian).

9. **Krasovskyi A. A.** *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija* (Handbook of automatic control theory), Moscow, Nauka, 1987, 712 p. (in Russian).

Corresponding author:

Sukhanov Victor M., Leading Reserchер, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 117997, Moscow, Russian, suhv@ipu.ru

УДК 621.86

В. Г. Градецкий[1], гл. науч. сотр., д-р тех. наук, проф., gradet@ipmnet.ru,
М. М. Князьков[1], ст. науч. сотр., канд. тех. наук, **Е. А. Семёнов**[1], ст. науч. сотр., канд. тех. наук,
А. Н. Суханов[1, 2], инженер, аспирант, sukhanov-artyom@yandex.ru
[1] Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва,
[2] Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", Москва

Движение мобильного робота по горизонтальным, наклонным и вертикальным поверхностям при наличии возмущений и подвижных препятствий[1]

Выполнен анализ управляемого движения мобильного робота по поверхностям, расположенным под различными углами к горизонту в неструктурированных условиях окружающей среды, в случае возмущающих воздействий, вызванных особенностями поверхностей передвижения. Анализируются различные ситуации взаимного расположения робота и подвижных препятствий, двигающихся с определяемыми сенсорной системой робота относительными скоростями, в которых обеспечивается обход препятствий посредством выбранной стратегии.

Предложены алгоритмы управления, обеспечивающие объезд подвижных препятствий.

Ключевые слова: *мобильный робот, горизонтальная, наклонная, вертикальная поверхности, внешние возмущения, неструктурированная среда, алгоритм, стратегия управления*

Введение

Исследования в области динамики и управляемых движений мобильных роботов, способных перемещаться не только по горизонтальным поверхностям, но и по поверхностям, расположенным под различными углами к горизонту, в том числе под углами 90°, ведутся в известных лабораториях многих стран [1—17]. Исследования в основном были направлены на обеспечение выполнения технологических процессов при инспекции, неразрушающем контроле, очистке, покраске протяженных поверхностей таких объектов, как корпуса кораблей [3, 5], энергетические установки на атомных электростанциях [6—8], резервуары [10—13]. Выполнение таких технологических операций не требовало больших скоростей движения мобильных роботов и ограничивалось скоростями 0,3...3 м/мин при перемещении в детерминированных средах. Возникшие новые задачи использования мобильных роботов в экстремальных неструктурированных условиях, связанных с пожаротушением, мониторингом окружающей среды, разведкой местности, потребовали разработки новых подходов к исследованию динамики и созданию систем управления, связанных с увеличением скоростей движения в заранее неизвестной обстановке.

Рассматривается движение мобильных роботов в таких неструктурированных условиях, которые характеризуются наличием внешних возмущений

[1] Работа выполнена при поддержке РНФ, Грант № 14-11-00298.

и подвижных препятствий. Предполагается, что внешние возмущения связаны с изменениями материалов или качества поверхностей, по которым осуществляется движение, а препятствия перемещаются с ограниченными скоростями. Несмотря на то, что ранее были выполнены исследования по обходу препятствий [18—21], особенности движения рассматриваемого класса роботов не учтены.

Архитектура системы управления и алгоритмы реализации движения мобильного робота по горизонтально расположенным поверхностям при обходе препятствий приведены в работе [18], где формулируются условия преодоления препятствий в рискованных и трудных условиях окружающей среды.

Алгоритмы обхода препятствий в динамически изменяющихся внешних условиях на основе потенциальных полей предложены в работе [19], среди которых имеется адаптивный алгоритм для планирования движения с обходом препятствий.

В работе [20] рассмотрено движение двухколесного робота по горизонтальной поверхности в подвижной внешней среде, приводятся модели движения с учетом проскальзывания колес с реализацией на основе логико-лингвистического нечеткого алгоритма и нечеткого логического регулятора. Система слежения за программной траекторией позволяет осуществлять движение в заданное конечное положение в условиях проскальзывания колес и обхода препятствий применительно к задачам в частных случаях.

Общие сведения и основные понятия о нечетких нейросистемах даются в ряде работ, например, в работах [21, 25], в которых не отражены особенности использования методов нечеткой логики для исследования движения мобильных роботов.

Считается перспективным способ реализации системы управления, основанный на создании нейросетевых моделей, для которых рассчитываются математические модели нечеткой логики, учитывающие такие факторы, как многомерность, нелинейность, нестационарность, структурно-параметрическая неопределенность. Для построения таких систем реализуется иерархическое управление. В зависимости от типа робототехнической системы и сложности задач, для решения которых она предназначена, иерархическая система управления может иметь различное число уровней. Обычно выделяются четыре уровня управления:

- *высший*, на котором происходит распознавание препятствий в рабочем пространстве и принимается решение о порядке выполнения поставленной задачи;
- *стратегический*, на котором поставленная задача расчленяется на элементарные операции;
- *тактический*, когда элементарные операции распределяются на движения отдельных степеней свободы;
- *исполнительный*, на котором осуществляются заданные движения отдельных степеней свободы [22—24].

Планирование траектории движения робототехнических систем может осуществляться интеллектуальной вычислительной системой или человеком-оператором, использующим различные задающие устройства [25]. К недостаткам таких систем можно отнести сложность построения адекватных математических моделей и дополнительное требование к вычислительным ресурсам системы управления.

Используются программные алгоритмы построения пути из одной точки пространства в другую с использованием сенсорных ультразвуковых систем, видеосистем распознавания изображения и лазерных дальномеров.

В представленной работе учитываются специфические особенности движения роботов, способных перемещаться по поверхностям, расположенным под различными углами к горизонту. Особенности движения таких роботов определяются дополнительными требованиями к условиям передвижения и ограничениями, накладываемыми на параметры движения препятствий.

1. Некоторые конструктивные особенности роботов вертикального перемещения при движении в динамически изменяемых средах

Рассмотрим требования, предъявляемые к конструкциям роботов вертикального перемещения (РВП) для движения в динамически изменяемых средах.

Существуют два основных типа РВП, использующих вакуумный принцип перемещения:

1. РВП шагающие.

2. РВП непрерывного движения со скользящим уплотнением.

Особенностью РВП первого типа, в частности мультиплатформенных систем, является тот факт, что перемещение происходит на определенную длину шага в зависимости от хода движителя. Например, это ход штока пневматического цилиндра. При движении в динамически изменяемых средах конструкция РВП должна содержать необходимое число датчиков, информация от которых должна поступать в систему управления робота.

При движении вперед конструкция РВП должна содержать минимум два датчика, передающих информацию о положении, размерах и движении возможного препятствия перед роботом.

Таким образом, датчики должны быть расположены так, как показано на рис. 1.

Зона охвата датчика $Д_1$ должна быть не менее, чем габаритная ширина РВП плюс габаритная ширина РВП, умноженная на 0,1 с каждой стороны робота.

Зона охвата датчика $Д_2$ должна быть не менее, чем длина шага робота плюс шаг РВП, умноженный на 0,2. При этом опрос датчиков должен проводиться в начале, во время и в конце цикла движения. В зависимости от информации, поступающей от датчиков, система управления должна принять решение об остановке, преодолении или обходе препятствия РВП.

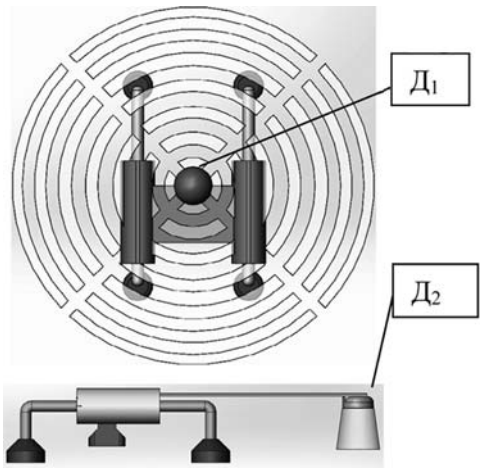

Рис. 1. Схема конструкции РВП с поворотным узлом и сенсорной бортовой системой

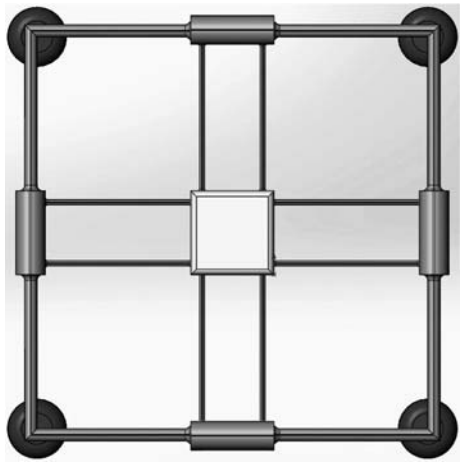

Рис. 2. Схема конструкции РВП без поворотного узла

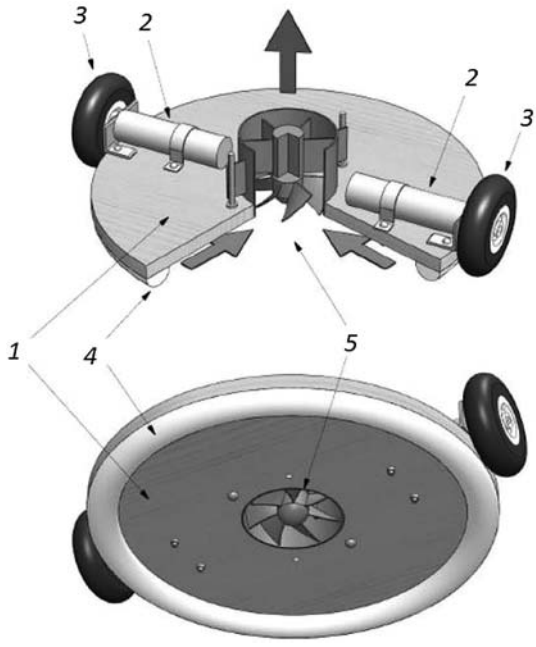

Рис. 3. Схема конструкции РВП со скользящим уплотнением

При движении влево и вправо все требования к конструкции РВП и его датчиков аналогичны.

Исходя из анализа существующих конструкций шагающих РВП для ускорения обхода препятствий предлагается ввести дополнительные приводы, перемещающие робот влево или вправо (рис. 2).

Пневматические приводы линейного движения применяются в зависимости от поставленной задачи.

При этом не используется узел поворота при получении информации с датчиков о размерах и направлении движения препятствия, а робот принимает решение перешагнуть препятствие или его обойти, включая приводы движения влево/вправо.

Вследствие этого увеличивается быстродействие РВП, так как робот сразу начинает движение в нужном направлении, не используя узел поворота.

Особенностями конструкции робота со скользящим уплотнением (рис. 3) является его непрерывное движение. Такой робот не может переходить через препятствия, а только может обходить их, поэтому отпадает необходимость в датчиках, передающих информацию о ширине или глубине препятствия. В данном случае целесообразно установить датчики, обнаруживающие препятствие спереди, слева и справа от РВП. При этом существенно повышаются требования к их быстродействию и к системе управления в целом, так как движение происходит не пошагово, а непрерывно. Вследствие того, что поворот происходит существенно быстрее, чем при использовании узла поворота в конструкции шагающего робота, то отпадает необходимость введения дополнительных приводов движения в направлении влево/вправо. Однако остается недостаток — невозможность преодоления препятствия путем его перехода и, вследствие этого, невозможность использования конструкции при большой его длине.

Механическая система РВП (см. рис. 3) состоит из корпуса *1* в виде перевернутой тарелки; блока двигателей, включающего два мотора постоянного тока *2* и два колеса *3*; скользящего уплотнения *4*, находящегося на нижней поверхности корпуса; блока воздушного насоса *5* и камеры разрежения, находящейся во внутренней полости корпуса. Воздушный насос создает требуемое пониженное давление в камере разрежения для удержания платформы на наклонной поверхности. На рис. 3 стрелками показано направление движения воздуха в камере разрежения.

Требования к датчикам обнаружения препятствий робота конструкции второго типа непрерывного движения следующие: датчики должны охватывать зоны, равные габаритным размерам РВП плюс габаритные размеры РВП, умноженные на 0,2 с каждой стороны робота (рис. 4).

Такая конструкция предусматривает сканирование местности лазерным дальномером $Д_3$. В этом случае достаточно иметь только один датчик, закрепленный на вращающейся оси. Это позволит получать информацию об обстановке, окружающей

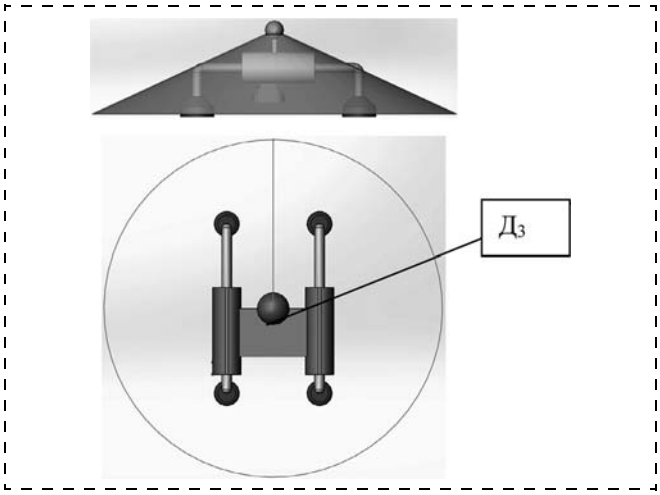

Рис. 4. Схема конструкции РВП, оснащенного лазерным дальномером

робот. Использование предлагаемого датчика возможно в ранее упомянутых конструкциях.

Целесообразность использования различных датчиков — ультразвуковых, лазерных дальномеров, видеосенсоров, одометров — обусловлена их техническими характеристиками, такими как быстродействие, разрешающая способность, рабочая зона, сложность обработки сигнала. В зависимости от технических характеристик эти датчики можно использовать в разных типах конструкций роботов.

2. Движение мобильного робота вертикального перемещения с обходом препятствий в изменяющейся во времени среде

Учитывая особенности конструкции и способов перемещения мобильных роботов, сделаем следующие допущения:

- робот снабжен необходимыми бортовыми датчиками, включая сканирующий лазерный дальномер дальней локации, систему объемного технического зрения, ультразвуковые датчики ближней локации, одометр;
- бортовая встроенная измерительно-информационная и управляющая система робота, получая информацию от датчиков о линейных и угловых координатах, о расстоянии от геометрического центра робота до препятствия и угловых координат препятствия, вычисляет относительные линейную и угловую скорости движения препятствия или любого объекта на пути робота в заданные дискретные моменты времени $t_1, t_2, ..., t_n$;
- на модули скорости препятствий накладываются ограничения:

$$|\mathbf{V}_{pk}| \geqslant |\mathbf{V}_{пk}|,$$

где $\mathbf{V}_{pk}$ и $\mathbf{V}_{пk}$ — векторы скоростей робота и препятствия соответственно; $|\mathbf{V}_{pk}| = V_{pk}$, $|\mathbf{V}_{пk}| = V_{пk}$;

- каждое из подвижных препятствий может связываться с другим препятствием в пределах ограниченного диапазона d_i;
- каждое из подвижных препятствий представляется окружностью диаметром D на плоскости (x, y), включая зону безопасности;
- робот и препятствие имеют точку встречи.

Измерение параметров движения проводится в дискретные моменты времени $t_1, t_2, ..., t_n$ с интервалом $[t_k, t_k + 1]$ и периодом T измерений:

$$t_k = t_{k-1} + kT. \quad (1)$$

По возможным траекториям *1* и *2* движения робота Р и одного подвижного препятствия П на плоскости (x, y) можно прогнозировать вероятную точку встречи B (рис. 5). Координаты предполагаемой точки встречи зависят от времени движения и скоростей, по которым определяются расстояния, проходимые роботом и препятствием. Значит, условием прохождения роботом Р предполагаемой точки встречи B можно считать нулевое приращение вектора расстояния между роботом и препятствием (рис. 5), т. е. $\Delta l = 0$ в абсолютной системе координат.

Методом экстраполяции возможно рассчитать место встречи робота и препятствия, зная их векторы скорости и отклонение координат траектории движения в плоскости (x, y), полученные посредством измерительно-информационной системы. Расчет предполагаемой точки встречи выполняется компьютерной системой управления. Если относительные скорости в каждый момент времени t_k известны, то возможно определить и абсолютные скорости препятствия П, которое движется вдоль предполагаемой траектории. Система оценивает приращение пути вдоль траектории движения препятствия.

Приращение пути робота и препятствия за время t_k при известных скоростях V_{pk} и $V_{пk}$ в моменты времени $t_k = \Delta t$ рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} \Delta l_{A_1B} &= V_{pk}\Delta t \cdot \gamma_1; \\ \Delta l_{AB} &= V_{пk}\Delta t \cdot \gamma_2. \end{aligned} \quad (2)$$

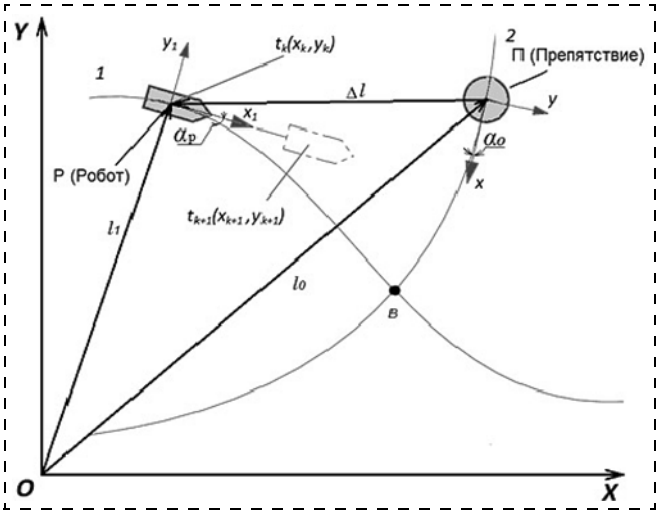

Рис. 5. Возможные траектории движения робота и одного подвижного препятствия на плоскости (x, y) в момент времени t_k и t_{k+1}

Коэффициенты γ_1 и γ_2 учитывают кривизну траектории движения.

Посредством экстраполяции вычисляются координаты траекторий на $(k + 1)$-м шаге при известных координатах на k-м шаге:

- для робота

$$\begin{cases} X_{\text{р}(k+1)} = X_{\text{р}k} + \Delta X_{\text{р}}; \\ Y_{\text{р}(k+1)} = Y_{\text{р}k} + \Delta Y_{\text{р}}; \end{cases} \quad (3)$$

- для препятствия

$$\begin{cases} X_{\text{п}(k+1)} = X_{\text{п}k} + \Delta X_{\text{п}}; \\ Y_{\text{п}(k+1)} = Y_{\text{п}k} + \Delta Y_{\text{п}} \end{cases} \quad (4)$$

Оценка возможной точки встречи робота и препятствия в общем случае за число шагов $k + 1$ определяется по формулам

$$\begin{cases} l_{AB(k+1)} = V_{\text{р}}t_k + V_{\text{р}k}\Delta t \cdot \gamma_1 = V_{\text{р}}t_{k+1}; \\ l_{A_1B(k+1)} = V_{\text{п}}t_k + V_{\text{п}k}\Delta t \cdot \gamma_2 = V_{\text{п}}t_{k+1}. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь $V_{\text{р}}$ и $V_{\text{п}}$ — усредненные скорости робота и препятствия.

Расстояния l_{AB} и l_{A_1B} в любой момент времени k получаются посредством триангулярной экстраполяции (рис. 6).

Предположим, что возможная точка встречи произойдет при равенстве времен движения робота и препятствия:

$$t_{\text{р}B} = l_{AB(k+1)}/V_{\text{р}};$$

$$t_{\text{п}B} = l_{A_1B(k+1)}/V_{\text{п}};$$

$$t_{\text{р}B} = t_{\text{п}B1} = t_B.$$

Выражения $V_{\text{р}}\Delta t_B$ и $V_{\text{р}}t_B$, а также $V_{\text{п}}\Delta t_B$ и $V_{\text{п}}t_B$ должны рассчитываться на каждом шаге k.

Оценка взаимного положения робота и препятствия позволяет избежать их столкновений и, имея информацию о движении, дает возможности роботу обойти препятствие в случаях $V_{\text{р}}t_B > V_{\text{п}}t_B$ или $V_{\text{р}}t_B < V_{\text{п}}t_B$.

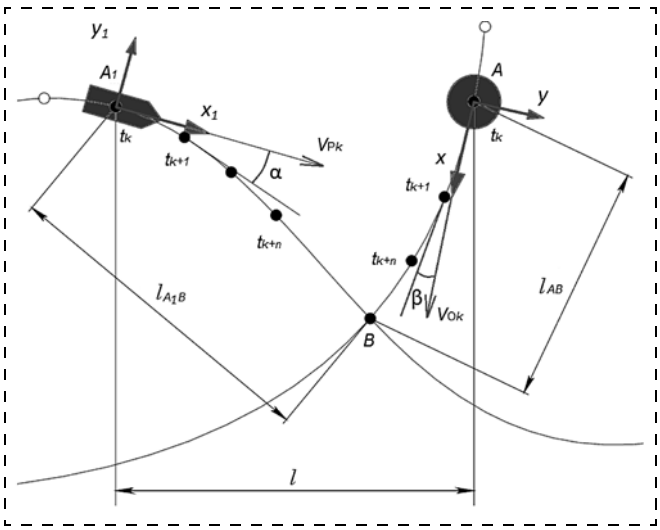

Рис. 6. Предполагаемая точка встречи *B*. Условие прохождения роботом предполагаемой точки встречи *B* с подвижным препятствием $l = 0$

Область безопасности R вблизи точки B, обеспечивающая отсутствие столкновения, определяется из условия

$$\begin{cases} V_{\text{р}}t_B - V_{\text{п}}t_B \geqslant R; \\ V_{\text{п}}t_B - V_{\text{р}}t_B \geqslant R. \end{cases} \quad (6)$$

В зависимости от расстояния до предполагаемой или возможной встречи робота с подвижным препятствием вблизи точки B вырабатывается стратегия управления, которая определяется рядом правил в зависимости от расстояния до точки B, значениями скоростей движения робота и объекта. Кроме того, вычисляются расстояния l хотя бы на один шаг экстраполяции между роботом и препятствием.

Возможны определенные правила движения или маневрирования робота, позволяющие избегать столкновений, объединенные в стратегию движения. Приведем один из примеров маневрирования робота, в соответствии с которым разработаны алгоритмы управления:

- если $l > R$ и $V_{\text{р}} \geqslant V_{\text{п}}$, то робот может продолжать двигаться по своей траектории;
- если $l < R$ и $V_{\text{р}} \leqslant V_{\text{п}}$, робот должен остановиться;
- если $l = R$ и $V_{\text{р}} \geqslant V_{\text{п}}$, робот должен двигаться влево или вправо в зависимости от габаритных размеров и положения объекта;
- если $l = R$ и $V_{\text{р}} \leqslant V_{\text{п}}$, робот должен остановиться, затем двигаться влево или вправо, в зависимости от габаритных размеров и положения объекта.

3. Возможные алгоритмы управления робота вертикального перемещения с учетом его эксплуатационных параметров и ограничений, накладываемых на его движение

Рассмотрим алгоритм (рис. 7), при котором после получения роботом информации от оператора о перемещении в определенную область на местности робот определяет координаты цели и начинает планирование своего движения. Кратчайшее расстояние между двумя точками на плоскости — отрезок прямой. Роботу необходимо совершить поворот для того, чтобы вектор направления движения совпадал со спланированной траекторией. При совершении маневров робот должен определять свое текущее положение относительно поставленной цели и завершить программу перемещения после того, как текущее положение робота совпадет с целевым.

При планировании перемещения робота на местности задействуется алгоритм (рис. 8), который начинает работу со сканирования местности для нахождения ближайших объектов. Сканирование проводится лазерным дальномером либо ультразвуковым датчиком в определенном диапазоне перед роботом с малой периодичностью. Координаты ближайших объектов записываются в память ЭВМ для дальнейшего сравнения и обработки. Вычис-

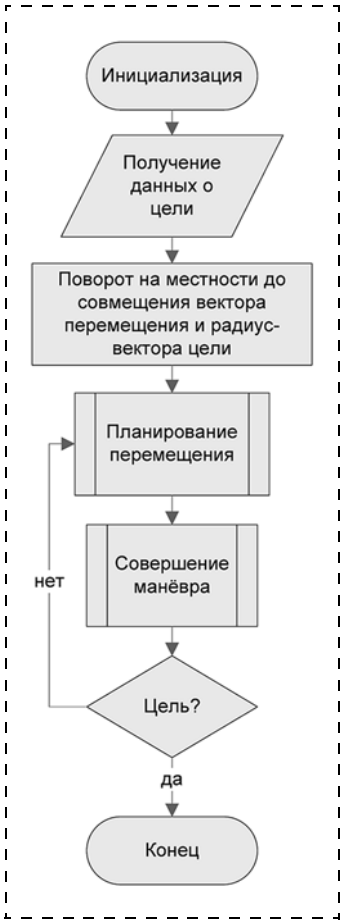

Рис. 7. Алгоритм начала движения

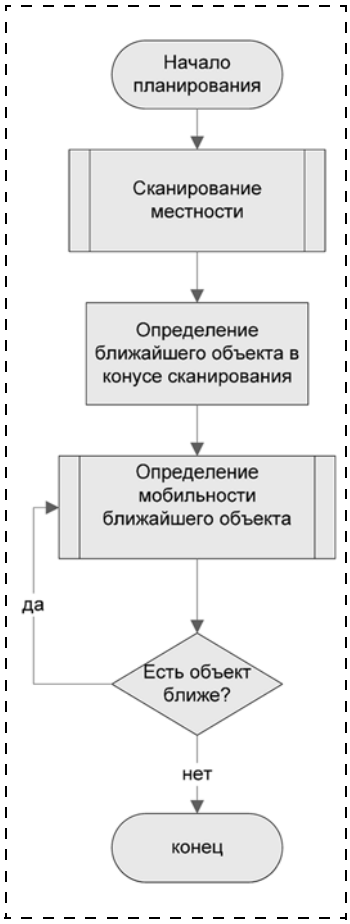

Рис. 8. Алгоритм определения местоположения

Рис. 9. Алгоритм определения движения объекта

Рис. 10. Алгоритм определения направления движения объекта

Рис. 11. Алгоритм маневра робота

Рис. 12. Алгоритм объезда препятствия

ляются векторы относительных скоростей и ускорений ближайших объектов в системе координат, связанной с роботом.

Вывод о выполнении движения объекта (рис. 9) делается на основании сравнения трех последовательных кадров сканирования, что позволяет с заданной погрешностью измерения выяснить, находится ли объект в движении или он неподвижен. Если координаты объекта не изменяются в процессе сканирования, то программа делает вывод о статичности препятствия. Дальнейший шаг — выяснить, находится ли препятствие на пути движения робота, после чего принимается решение о маневре. Если же кадры не идентичны друг другу в пределах погрешности, то программа делает вывод о движении объекта. Следующей задачей становится определение скорости, ускорения и направления движения объекта.

Определение параметров движения объекта начинается с определения смещения по кадрам и задержке (рис. 10). Полученные координаты сравниваются по знаку и модулю. Таким образом, определяется направление движения объекта. Программе необходимо определить возможное столкновение с объектом методом экстраполяции и затем совершить необходимый маневр.

Совершение маневра роботом (рис. 11) инициализируется с использованием полученных данных об объекте. Статичные, а также динамичные объекты, не мешающие движению, игнорируются. Препятствие на пути робота вызывает подпрограмму объезда, а динамичное препятствие, столкновение с которым неминуемо, заставит программу изменить параметры движения робота для того, чтобы избежать этого столкновения.

Объезд статичного препятствия происходит с той стороны (рис. 12), где меньше габаритные размеры относительно движения по запланированной траектории, что позволяет уменьшить энергозатраты.

Заключение

Рассматривается движение мобильного робота вертикального перемещения в среде с неподвижными или подвижными препятствиями при ограничениях на скорости движения робота и препятствий с учетом особенностей транспортной и измерительно-информационной системы робота. Приводятся оценки движения при выбранной стратегии движения робота. Предложены алгоритмы управления, обеспечивающие обход возможных возмущений и препятствий.

Список литературы

1. **Градецкий В. Г., Вешников В. Б., Калиниченко С. В., Кравчук Л. Н.** Управляемое движение мобильных роботов по произвольно расположенным в пространстве поверхностям. М.: Наука, 2001. 369 с.

2. **Chernousko F. L., Gradetsky V. G.** Principles of movement and problem of dynamics of mobile robots. Sourcebook of the International Exhibition Congress "Mechatronics and Robotics", MIR-07, LenExpo, 2007. P. 89—90.

3. **Balakguer C.** Robotics and Automation in Construction. Croatia: In-Teh, 2008. P. 295—306.

4. **Градецкий В. Г., Князьков М. М., Фомин Л. Ф., Чащухин В. Г.** Механика миниатюрных роботов. М.: Наука, 2010. 271 с.

5. **Bridge B., H. E. Leon Rodriguez, Mondal S. C., Sattar T. P.** Field trials of a cell of climbing cooperating robots for fast and flexible manufacturing of large scale engineering structures // Proc. of the CLAWAR 2009 Internat. Conf., edited by O. Tosun, H. Akin, M. O. Tokhi, G. S. Virk. Istanbul, World Scientific Publishing. P. 801—810.

6. **Shang J., Bridge B., Sattar T., Mondal S., Brenner A.** Development of a climbing robot for the NDT of long weld lines // Industrial Robot: An International Journal. V. 35, Iss. 3, May (208). P. 217—223.

7. **Yoned K., Ota Y., Hirano K., Hirose S.** Development of a light-weight wall climbing quadruped with reduced degree of freedom // Proc. of CLAWAR 2001 International Conference. September, 2001. Professional Engineering Published Ltd., London UK. P. 907—912.

8. **Luk B. L., Collie A. A., Billingsley J.** Robug II: an intelligent wall climbing robot // Proc. of the IEEE Internat. Conf. on Robotics and Automation, Sacramento, California, USA. 1991. V. 3. P. 2342—2347.

9. **Grieco J. C., Prieto M., Armada M., Gonzalez de Santos P.** A six-legged climbing robot for high payloads // Proc. of the 1998 IEEE Internat. Conf. on Control Applications, Trieste, Italy. 1998. V. 1. P. 446—450.

10. **Akhtaruzzaman M., N. Izzati Bt Samsuddin, N. Bt Umar, Rahman M.** Design and development of a wall climbing Robot and its control system // Proc. of the 12th Internat. Conf. on Computers and Information Technology, Dhaka, Bangladesh. 2009. P. 309—313.

11. **Fu Y., Li Z., Wang S.** A wheel-leg hybrid wall climbing robot with multi-surface locomotion ability // Proc. of the IEEE Internat. Conf. on Mechatronics and Automation. 2008. P. 1393—1398.

12. **Zhang Y., Dodd T., Atallah K., Lyne I.** Design and optimization of magnetic wheel for wall and ceiling climbing robot // Proc. of the Internat. Conf. on Mechatronics and Automation, Xi'an, China, 2010.

13. **Minakata H., Hayashibara Y., Ichizawa K., Horiuchi T., Fukuta M., Fujita S., Kaminaga H., Irje K., Sakamoto H.** A method of single camera robocup humanoid robot localization using cooperation with walking control // Proc. of the 10th IEEE Internat. Workshop on Advanced Motion Control. 2008. P. 50—55.

14. **Junhong J., Indiveri G., Ploeger P., Bredenfeld A.** An omnivision based self-localization method for soccer robot // Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2003. P. 276—281.

15. **Calabrese F., Indiveri G.** An Omni-Vision Triangulation-Like Approach to Mobile Robot Localization // Proc. of the IEEE Internat. Symposium on Intelligent Control, Limassol, Cyprus. 2005. P. 604—609.

16. **Gradetsky V. G., Veshnikov V. B., Chashchukhin V. G.** Simulation using a mobile multilink robot with a virtual reality vision system // Using robots in hazardous environments. Wood head Published Limited, 2011. P. 499—519.

17. **Deport M., Floquest T., Perruquetti W., Kokosy A., Palos J.** A decentralized planning architecture for a swarm of mobile robots // Using robots in hazardous environments. Woodhead Published Limited, 2011. P. 575—590.

18. **Shenata H. H., Schlattman J.** Adaptive Mobile Robot Path Planning Based Algorithm for Dynamic Environments // Adaptive mobile robotics. Proc. of 13 CLAWAR Conference, Baltimore, USA, 23—26 July 2012. P. 145—153.

19. **Бурдаков С. Ф., Мирошник И. В., Стельмаков Р. Э.** Системы управления даижением колесных роботов. СПб.: Наука, 2001. 230 с.

20. **Chin-Teng Lin, C. S. George Lee.** Neural Fuzy Systems a Neuro-Fuzzy Sinergism to Intelligent System. NJ, USA: Prentice Hall PRT, Upper Saddle River. 795 p.

21. **Попов Е. П.** Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука, 1978. С. 144—145.

22. **Теория** нелинейных и специальных систем управления. М.: Высш. шк., 1986. 504 с.

23. **Кулешев В. С., Лакота Н. А.** Динамика систем управления манипуляторами. М.: Энергия, 1971. 304 с.

24. **Park J. H., and Kang J. Y.** Fuzzy-Logic Controller for a two-link Flexible Manipulator // Proc.g of 2nd control conference, Seoul, Korea, July 1997. V. 3. P. 435—438.

Mobile Robot's Movement on Vertical and Horizontal Surfaces and Slopes in the Conditions of External Disturbances and Existing Moving Objects

V. G. Gradetsky, gradet@ipmnet.ru, **M. M. Knyazkov,**
E. A. Semionov, A. N. Sukhanov, sukhanov-artyom@yandex.ru, Institute for Problems in Mechanics named A. Yu. Ishlinski of the Russian Academy of Sciences, 119526, Moscow, Russian Federation

Date received: 25.11.14

Mobile robot's motion control on different uneven surfaces under the influence of the external forces in unidentified environment has been analyzed. The mobile robotic platform consists of two parts — the external one and internal one. The relative movement of these parts causes movement of the robotic platform. The robot has pneumatic power source and a set of suction caps for different walls. The environment may include various moving and static obstacles which robot should avoid while moving. The robotic platform has its safe zone defined by robot's and obstacles' speed limits to prevent a crash. Any moving obstacle has its own trajectory and overall dimensions, which could be calculated by processing the data from the vision system. The vision system of the robot consists of a set of sensors: a laser scanner, an ultrasonic sensor and a camera. The robot's control system receives complex data from the sensors and calculates the linear and angular velocities of the robotic platform and the nearest obstacles, and, using its database, decides what behavior model should be applied. Different situations of the robot's and obstacles' relative positions with various values of the relative speed were analyzed. The strategy of the roundabout ways uses the data from the robot's sensors. The motion control algorithms for detouring of the moving and static obstacles were proposed. They envision different situations, which can happen on a wall while the robot moves to the point of destination.

Keywords: *mobile robot, horizontal and vertical surfaces, slope, external forces, unidentified environment, detouring algorithms*

For citation:

Gradetsky V. G., Knyazkov M. M., Semionov E. A., Sukhanov A. N. Mobile Robot's Movement on Vertical and Horizontal Surfaces and Slopes in the Conditions of External Disturbances and Existing Moving Objects, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2015, vol. 16, no. 3, pp. 166—173.*

DOI: 10.17587/mau.16.166-173

References

1. **Gradetsky V. G., Veshnikov V. B., Kalinichenko S. V., Kravchuk L. N.** *Upravlaemoe dvizhenie mobilnikh robotov po proizvolno raspolozhenim v prostranstve poverchnostiam* (Operated movement of mobile robots on the surfaces randomly focused in space), Moscow, Nauka, 2001, 369 p. (in Russian).

2. **Chernousko F. L., Gradetsky V. G.** Principles of movement and problem of dynamics of mobile robots, *Proceedings of International Conference "Mechatronics and Robotics"*, Saint-Petersburg, 2007, pp. 89—90.

3. **Balakguer C.** Robotics and Automation in Construction, Croatia, In-Teh, 2008, pp. 295—306.

4. **Gradetsky V. G., Knyazkov M. M., Fomin L. F., Chashchukhin V. G.** *Mechanika miniaturnikh robotov* (Mechanics of miniature robots), Moscow, Nauka, 2010, 272 p. (in Russian).

5. **Bridge B., Leon Rodriguez H. E., Mondal S. C., Sattar T. P.** Field trials of a cell of climbing cooperating robots for fast and flexible manufacturing of large scale engineering structures, *Proceedings of the CLAWAR 2009 International Conference*, Istanbul, World Scientific Publishing, pp. 801—810.

6. **Shang J., Bridge B., Sattar T., Mondal S., Brenner A.** Development of a climbing robot for the NDT of long weld lines, *Industrial Robot*, 2008, vol. 35, issue 3, pp. 217—223.

7. **Yoned K., Ota Y., Hirano K., Hirose S.** Development of a light-weight wall climbing quadruped with reduced degree of freedom, *Proceedings of the CLAWAR 2001 International Conference*, London UK, Professional Engineering Published Ltd., pp. 907—912.

8. **Luk B. L., Collie A. A., Billingsley J.** Robug II: an intelligent wall climbing robot, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Sacramento, California, USA, 1991, vol. 3, pp. 2342—2347.

9. **Grieco J. C., Prieto M., Armada M., Gonzalez de Santos P.** A six-legged climbing robot for high payloads, *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Control Applications*, Trieste, Italy, 1998, vol. 1, pp. 446—450.

10. **Akhtaruzzaman M., Izzati Bt Samsuddin N., Bt Umar N., Rahman M.** Design and development of a wall climbing Robot and its control system, *Proceedings of the 12th International Conference on Computers and Information Technology*, Dhaka, Bangladesh, 2009, pp. 309—313.

11. **Fu Y., Li Z., Wang S.** A wheel-leg hybrid wall climbing robot with multi-surface locomotion ability, *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Miami, Florida, 2008, pp. 1393—1398.

12. **Zhang Y., Dodd T., Atallah K., Lyne I.** Design and optimization of magnetic wheel for wall and ceiling climbing robot, *Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Automation*, Xi'an, China, 2010, pp. 1393—1398.

13. **Minakata H., Hayashibara Y., Ichizawa K., Horiuchi T., Fukuta M., Fujita S., Kaminaga H., Irje K., Sakamoto H.** A method of single camera robocup humanoid robot localization using cooperation with walking control, *Proceedings of the 10th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control*, Miami, Florida, 2008, pp. 50—55.

14. **Junhong J., Indiveri G., Ploeger P., Bredenfeld A.** An omnivision based self-localization method for soccer robot, *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Columbus OH, USA, 2003, pp. 276—281.

15. **Calabrese F., Indiveri G.** An Omni-Vision Triangulation-Like Approach to Mobile Robot Localization, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, 2005, pp. 604—609.

16. **Gradetsky V. G., Veshnikov V. B., Chashchukhin V. G.** Simulation using a mobile multilink robot with a virtual reality vision system, *Using Robots in Hazardous Environments*, Moscow, Woodhead Published Limited, 2011, pp. 499—519.

17. **Deport M., Floquest T., Perruquetti W., Kokosy A., Palos J.** A decentralized planning architecture for a swarm of mobile robots, *Using Robots in Hazardous Environments*, Moscow, Woodhead Published Limited, 2011, pp. 575—590.

18. **Shenata H. H., Schlattman J.** Adaptive Mobile Robot Path Planning Based Algorithm for Dynamic Environments, *Adaptive Mobile Robotics. Proceedings of 13 CLAWAR Conference*, Baltimore, USA, 2012, pp. 145—153.

19. **Burdakov S. F., Miroshnik I. V., Stelmakov R. E.** *Sistemi upravlenia dvizhenia kolesnikh robotov* (Wheel robot's movement control systems), Saint-Petersburg, Nauka, 2001, 230 p. (in Russian).

20. **Lin C.-T., George Lee C. S.** Neural Fuzy Systems a Neuro-Fuzzy Sinergism to Intelligent System, Prentice Hall PRT, Upper Saddle River, NJ, USA, 1996, pp. 795.

21. **Popov E. P.** *Teoria lineinikh sistem avtomaticheskogo regulirovania i upravlenia* (Linear systems of automatic control theory), Moscow, Nauka, 1978, pp. 144—145. (in Russian).

22. **Voronov A. A.** *Teoria nelineinikh i specialnikh sistem upravlenia* (Nonlinear and special control systems theory), Moscow, Visshaia shkola, 1986, 504 p. (in Russian).

23. **Kuleshov V. S., Lakota N. A.** *Dinamika sistem upravlenia manipulatorami* (Dynamics of manipulator's control systems), Moscow, Energia, 1971, 304 p. (in Russian).

24. **Park J. H. and Kang J. Y.** Fuzzy-Logic Controller for a two-link Flexible Manipulator, *Proceeding of 2nd Control Conference*, Seoul, Korea, 1997, vol. 3, pp. 435—438.

Corresponding author:

Gradetsky Valery G., Chief Researcher, Institute for Problems in Mechanics named A. Yu. Ishlinski of the Russian Academy of Sciences, 119526, Moscow, Russian Federation, e-mail: gradet@ipmnet.ru