

4. Chernousko F. L., Bolotnik N. N., Gradeckij V. G., *Manipulyacionnye roboty. Dinamika, upravlenie, optimizaciya* (Manipulators. Dynamics, control, optimization), Moscow, Nauka, 1989, 363 p. (in Russian).
5. Gradeckij V. G., Knyazkov M. M., Kravchuk L. N., Samohvalov G. V., Chashchuhin V. G. *Ustrojstvo dlya promytki gladikih poverhnostej* (The device for plane surfaces cleaning), Patent № 132327, 27.03.2013 (in Russian).
6. Darincev O. V., Migranov A. B. *Avtonomnoe vakuumnoe zahvatnoe ustrojstvo mikrorobota* (Autonomous vacuum gripper for micro-robot), Patent RU 2266810 C1, № 36, 2005 (in Russian).
7. Barabanov G. P., Bogdanov S. V., Barabanov V. G. *Ochuvstvlennyj vakuumnij zahvat* (Vacuum gripper with feedback), Patent RU 2283751 C1, Byul. № 26, 2005 (in Russian).
8. Sysoev S. N., Kuznecov R. V., Pronin A. V., Aleksandrov I. V., Pasechnik M. A. *Vakuumnij zahvatnyj korrektruyushchij modul* (Vacuum gripper with correcting device), Patent RU 2431561 C2. Ballot № 29, 2011 (in Russian).
9. Longo D., Muscato G. Adhesion techniques for climbing robots: state of the art and experimental consideration, *Proc. of 11th Intern. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2008)*, 08–10 September 2008, Coimbra, Portugal.
10. Luk B., Collie A., Billingsley J. Robug I. I.: An intelligent wall climbing robot, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, 1991, vol. 3, pp. 2342–2347.
11. Schmidt D., Berns K., Ohr J. Analysis of sliding suction cups for negative pressure adhesion of a robot climbing on concrete walls, *Adaptive Mobile Robotics. Proc. of the 15th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR-2012)*, 23–26 July 2012, Baltimore, USA, pp. 813–820.
12. Illingworth L., Reinfeld D. Vortex attractor for planar and non-planar surfaces, U. S. A. Patent 6.619.922, Sept. 16. 2003.
13. Gradeckij V. G. *Dinamicheskie processy v miniatyurnyh mobilnyh robotah s vakuumnym kontaktom k poverhnostyam peremeshcheniya* (The dynamics of miniature mobile robots with vacuum grippers), *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2011, no. 4, vol. 2, pp. 104–105 (in Russian).
14. Gradeckij V. G., Fomin L. F. *Dinamicheskie processy v sistemah sozdaniya vakuuma miniatyurnyh mobilnyh robotov* (The dynamics in vacuum grippers of miniature robots), *Mekhatronika, Avtomatizaciya, Upravlenie*, 2013, no. 9, pp. 10–14 (in Russian).
15. Camozzi official internet page, available at: www.camozzi.com
16. Tachkov A. A., Kalinichenko S. V., Malyhin A. Y. *Modelirovanie i ocenka ehffektivnosti sistemy uderzhaniya malogabaritnogo avtonomnogo robota vertikalnogo peremeshcheniya s vakuumnymi zahvatami* (Simulation and evaluation of grasping efficiency for autonomous wall climbing robot with vacuum grippers), *Mekhatronika, Avtomatizaciya, Upravlenie*, 2016, no. 3, pp. 178–186 (in Russian).
17. Gradeckij V. G., Knyazkov M. M., Fomin L. F., Chashchuhin V. G. *Mekhanika miniatyurnyh robotov* (The mechanics of miniature robots), Moscow, Nauka, 2010, 271 p. (in Russian).
18. Gradeckij V. G., Veshnikov V. B., Kalinichenko S. V., Kravchuk L. N. *Upravlyaemoe dvizhenie mobilnyh robotov po proizvolno orientirovannym v prostranstve poverhnostyam* (Motion control of mobile robots moving over different surfaces), Moscow, Nauka, 2001, 359 p. (in Russian).
19. Apostolescu T. C., Udrea C., Duminica D., Iorasco C., Bogato L., Laurentiu A. C. Development of a climbing robot with vacuum attachment cups, *Proceedings of International Conference MECHITECH'11*, September 22–23, 2011, Bucharest, pp. 258–267.
20. Watanabe M., Tsukagoshi H. Snail inspired climbing robot using fluid adhesion to travel on rough concrete walls and ceilings, *Advanced in cooperative robotics. Proceedings of CLAWAR-2016*, 12–14 September 2016, London, UK, pp. 79–87.
21. Yamaguchi T., Go T., Yamada Y., Nakamura T. Development of negative pressure suction mechanism in omnidirectional wall-climbing robot for inspection of airplanes, *Advanced in cooperative robotics. Proceedings of CLAWAR — 2016*, 12–14 September 2016, London, UK, pp. 106–114.
22. Semiduberskij M. S. *Nasosy, kompressory, ventilyatory* (Pumps, compressors, fans), Moscow, Vysshaya shkola, 1966, 262 p. (in Russian).

УДК 621.01

DOI: 0.17587/mau.18.452-458

Ф. Н. Притыкин, д-р техн. наук., доц., pritykin@mail.ru, В. И. Небритов, магистрант, vnebritov@gmail.com, Омский государственный технический университет, Омск

Виртуальное управление движением руки андроидного робота с использованием базы знаний при синтезе перемещений с учетом положения запретных зон

Предложена организация структуры базы знаний, необходимой при осуществлении интеллектуального управления движением механизмов руки андроидного робота с учетом различного расположения известных запретных зон. Предлагаемая структура базы знаний характеризует прошлый опыт синтеза движений руки по вектору скоростей с учетом известных препятствий, а также задает ее собственные свойства. Представлены вычислительные эксперименты, связанные с виртуальным управлением движением руки андроидного робота при наличии известных запретных зон на основе использования разработанной базы знаний.

Ключевые слова: виртуальное моделирование движений роботов, запретные зоны, синтез движений роботов, база знаний, тупиковые ситуации, механизм манипулятора

Введение

При создании алгоритма управления андроидным роботом, автономно функционирующим в организованной среде, требуется учитывать множество факторов. Данный алгоритм управления реализуется в виде множества правил и соответствующего механизма логического выбора. При этом в заданные интервалы времени на протяжении всего процесса управления должны происходить соответствующие оценки определенных параметров. Данные параметры определяют условия, которые указан-

ный алгоритм должен понимать. Обычно алгоритм управления андроидным роботом сталкивается с незапланированными событиями и неизвестными ситуациями, и желательно, чтобы он разумно вел себя в этих ситуациях. Поведение автономно функционирующего андроидного робота может быть улучшено, если система управления станет учитывать и использовать базу знаний или прошлый опыт синтеза перемещений с учетом положения заранее известных запретных зон.

Формирование базы знаний

Рассмотрим методику формирования и структуры базы знаний о прошлом опыте, которая используется при виртуальном моделировании движений по вектору скоростей [1, 2]. Заметим, что виртуальное управление движением позволяет перед реализацией движений в приводах оценивать возможности механизма руки при заданном положении запретных зон и известных начальных и конечных точках синтезируемой траектории движения центра выходного звена (ВЗ) [3–7]. База знаний прошлого опыта представляет собой совокупность параметров, сгруппированных в массивы, определяющие собственные свойства механизма руки андроидного робота, а также свойства, определенные с учетом положения известных запретных зон. Данные массивы могут быть вычислены заранее в целях определения прошлого опыта, связанного с синтезом движений по вектору скоростей. Синтез движений может быть исследован как в различных точках конфигурационного пространства (с определением угла сервиса на всем множестве возможных значений обобщенных координат реализацией мгновенных состояний [8, 9]), так и по определенно заданным траекториям выходного звена (руки) в рабочем пространстве с учетом положения препятствий, приводящих к тупиковым ситуациям [10].

Наиболее часто встречающейся двигательной задачей, выполняемой андроидным роботом, является установка объектов манипулирования на стеллажи и снятие их со стеллажей. Поэтому исследуем структуру базы знаний при виртуальном управлении движением руки андроидного робота на этом примере. Пусть необходимо смоделировать движение механизма руки, позволяющее перемещать объект манипулирования из точки A^H (начальная точка синтезируемой траектории) в точку A^K (конечная точка синтезируемой траектории) с учетом положения стеллажей P_1 и P_2 (рис. 1). Положение точек A^H и A^K на рис. 1 задано их проекциями A_1^H, A_2^H, A_1^K и A_2^K . На рис. 1 нижние индексы 1 или 2 соответственно обозначают принадлежность точек горизонтальной плоскости проекции (или виду сверху) или фронтальной плоскости проекции (или виду спереди). Общий вид и кинематическая схема механизма руки андроидного робота AR-600E представлены на рис. 2 [8]. При этом необходимо выяснить с помощью виртуального моделирования, может ли рука достичь целевой точки синтезируемой траектории или нет.

На рис. 1 система координат $O^1x^1y^1z^1$ связана с туловищем андроидного робота, при этом параметры x_T, y_T и z_T определяют положение начала этой системы относительно

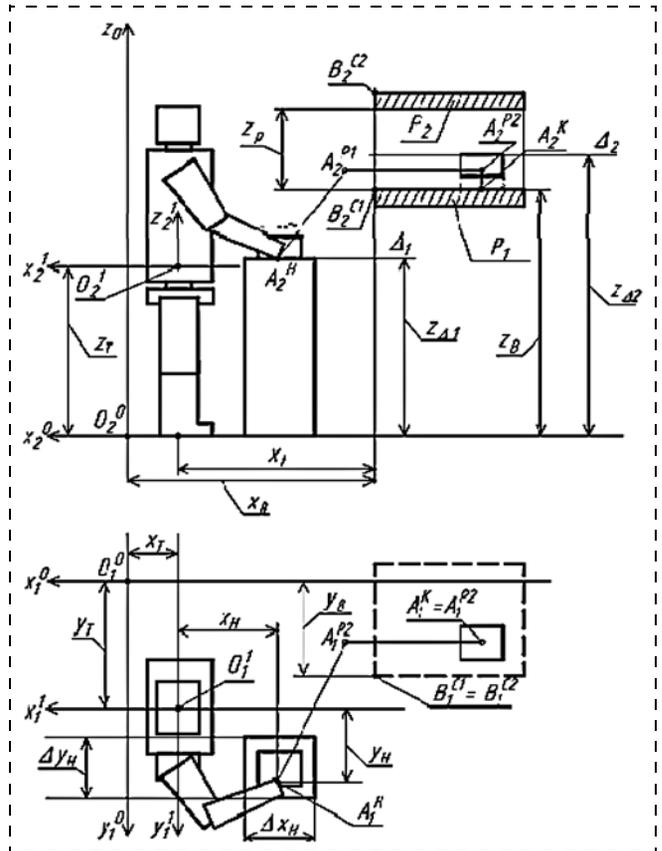


Рис. 1. Начальное и конечное положение объекта манипулирования при его установке на стеллажи андроидным роботом

инерциальной системы координат $O^0x^0y^0z^0$. Параметр x_T определяет минимальное заданное безопасное расстояние от туловища андроидного робота до стеллажей. Положение базовой точки B^{C1} нижнего стеллажа определяют координаты x_B, y_B и z_B . Решение задачи виртуального моделирования осуществим на основе использования базы знаний о прошлом опыте. На первом этапе решения двигательной задачи, связанной с переносом объекта

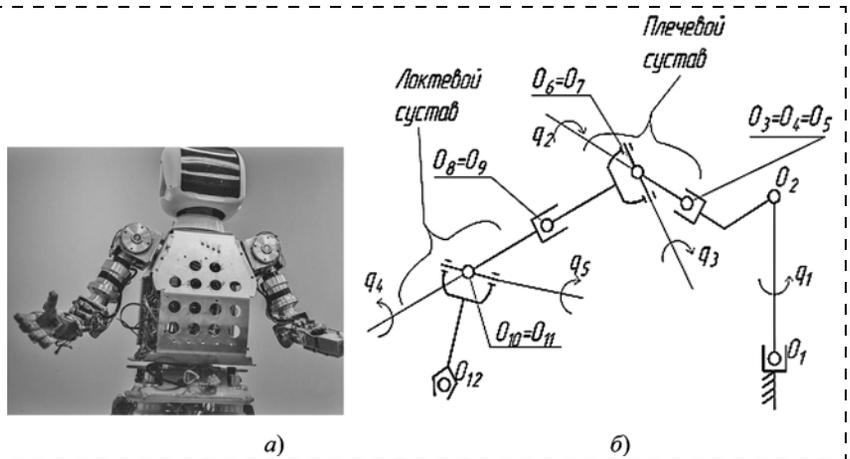


Рис. 2. Андроидный робот AR-600E: а — общий вид андроидного робота; б — кинематическая схема руки андроидного робота

манипулирования из точки A^H в точку A^{P1} , а затем в точки A^{P2} и A^C , необходимо оценить рабочую зону с учетом положения стеллажей. При этом точка O^1 считается неподвижной. Построение рабочей зоны с учетом положения стеллажей исследовано в работе [11]. Параметры, определяющие проекции рабочей зоны с учетом положения стеллажей, могут быть использованы в качестве одной из составляющих базы знаний о прошлом опыте.

Условимся первую составляющую базы знаний использовать для вычисления наиболее оптимальной исходной позиции (конфигурации) руки андроида по отношению к объекту манипулирования (по отношению к начальной точке A^H заданной траектории). Наиболее оптимальная позиция при синтезе движений по вектору скоростей, характеризуемая параметрами x_H, y_H (см. рис. 1) и обобщенными координатами q_i , задает такое положение руки и туловища андроида относительно точки A^H , при котором телесный угол U_s , полученный реализацией мгновенных состояний, принимает максимальное значение [8]. Указанное положение андроида вычисляют для каждой отдельной исследуемой плоскости уровня Δ_i , заданной с определенным шагом координаты $z_{\Delta_1}, z_{\Delta_2}$ и т. п. (см. рис. 1), для которой строят график функции:

$$U_s = f(x_H, y_H). \quad (1)$$

Рассмотрим методику определения графика функции (1) для плоскости Δ_1 . Для определения графика функции (1) и множества конфигураций, при которых центр выходного звена совпадает с какими-либо точками A^H плоскости Δ_1 , заданными с определенным интервалом сетки, задается первоначальная точка $A_H^{\Delta_1}$. Параметры x_H и y_H определяют исходное положение начальной точки $A_H^{\Delta_1} \in \Delta_1$

траектории ВЗ в системе $O^1x^1y^1z^1$ при движении точки O_{12} (рис. 2, б) в плоскости Δ_1 (знак \in определяет принадлежность точки геометрическому объекту Δ_1). Положение указанной точки $A_H^{\Delta_1}$ на рис. 1 не изображено, оно совпадает с одной из вершин исследуемого прямоугольника плоскости Δ_1 , стороны которого определяют параметры Δx_H и Δy_H .

Множество положений точек $A^H \in \Delta_1$, построенных в заданном интервале Δx_H и Δy_H (см. рис. 1) на плоскости Δ_1 , получают синтезом движения руки по критерию минимизации объема движения [10]. Шаг указанной сетки для задания точек A^H определяется модулем вектора линейной скорости движения центра выходного звена в плоскости Δ_1 . При этом первоначальное принятое значение вектора $\mathbf{q}_{\Delta_i}(q_1, \dots, q_5)$, соответствующего положению центра выходного звена в точке $A_H^{\Delta_1}$, обеспечивает максимальное значение угла U_s . Данное значение находится на основе исследования множества конфигураций руки, при которых обеспечены заданные значения параметров z_{Δ_1} и x_t . Из множества указанных конфигураций определяется конфигурация с максимальным значением угла U_s , полученным реализацией мгновенных состояний (3) [8]. Компоненты вектора \mathbf{q}_{Δ_i} , или значения обобщенных координат q_1, \dots, q_5 , задают указанную начальную конфигурацию, соответствующую положению центра выходного звена в точке $A_H^{\Delta_1}$. После синтеза движений для каждой точки A^H плоскости Δ_i , заданной с определенным шагом, считывают значение вектора \mathbf{q}_{Δ_i} и значения x_H и y_H . Телесный угол U_s , по-

лученный реализацией мгновенных состояний для различных точек A^H и значений вектора \mathbf{q}_{Δ} , приближенно определяют по формуле

$$U_s = (U_s^{\text{гор}} + U_s^{\text{фр}} + U_s^{\text{проф}}) \cdot \frac{1}{3}, \quad (2)$$

где углы $U_s^{\text{гор}}$, $U_s^{\text{фр}}$ и $U_s^{\text{проф}}$ — задающие проекции угла U_s соответственно на горизонтальной, фронтальной и профильной плоскостях проекций [8]. График функции (1) для положения плоскости Δ_i , определяемого значением $z_{\Delta_1} = 1200$ мм,

представлен на рис. 3, а. На рис. 3, б представлена реализация мгновенных состояний при $\delta < 10$ мм для конфигурации, соответствующей положе-

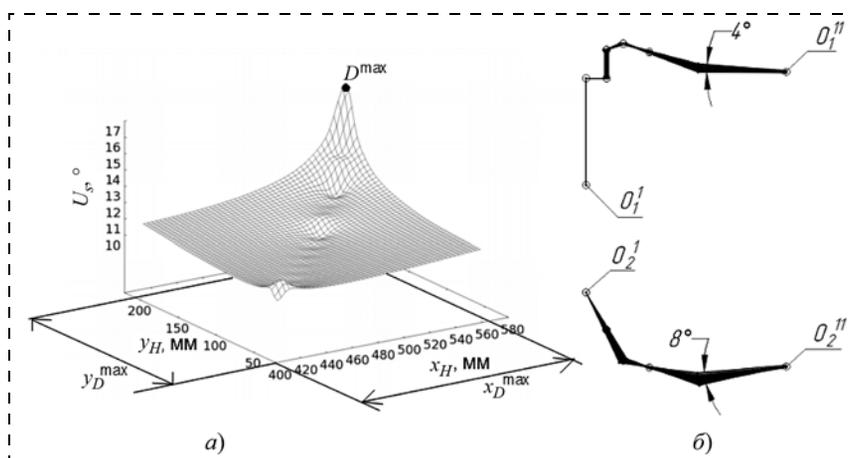


Рис. 3. Графики функций $U_s = f(x_H, y_H)$ и изображения телесных угловых для двух конфигураций при $\delta < 10$ мм:

а — $z_{\Delta_1} = 1200$ мм; б — реализация мгновенных состояний для точки, соответствующей $x_D^{\text{max}} = 564$ мм, $y_D^{\text{max}} = 207$ мм и $q_{\Delta_1}(119^\circ, 59^\circ, -54^\circ, 58^\circ, -27^\circ)$

нию центра захвата руки, принадлежащему плоскости Δ_i . В этой конфигурации обеспечено максимальное значение угла $U_s = 16^\circ$. Параметр δ задает точность позиционирования центра ВЗ.

На рис. 3, а точка D^{\max} определяет конфигурации для плоскости уровня Δ_1 , в которой обеспечено максимальное значение параметра U_s , а следовательно, в данной конфигурации манипулятивность будет максимальной. Для $z_{\Delta_1} = 1200$ мм параметры x_D^{\max} и y_D^{\max} соответственно принимают значения $x_H = x_D^{\max} = 564$ мм, $y_H = y_D^{\max} = 207$ мм и \mathbf{q}_{Δ_1} ($119^\circ, 59^\circ, -54^\circ, 58^\circ, -27^\circ$). Для $z_{\Delta_2} = 1300$ мм соответственно $x_H = x_D^{\max} = 562$ мм, $y_H = y_D^{\max} = 205$ мм и \mathbf{q}_{Δ_2} ($118^\circ, 61^\circ, -54^\circ, 59^\circ, -29^\circ$). Первая составляющая базы знаний, заданная массивом Ψ_1 , задает соответствие значений z_{Δ_i} и параметров x_H, y_H и \mathbf{q}_{Δ_i} . Эта база знаний используется для обеспечения оптимальной исходной позиции руки относительно начальной точки траектории перемещения объекта манипулирования. Данная составляющая базы знаний характеризует собственные свойства механизма руки андроидного робота.

В качестве второй составляющей базы знаний Ψ_2 выступает информация о начальных и конечных положениях точек, задающих синтезируемую траекторию движения ВЗ и положениях запретных зон (стеллажей P_1 и P_2), при которых возникают тупиковые ситуации [2,10]. На рис. 4, а приведен пример положения запретных зон P_1, P_2 и траектории движения руки андроидного робота, при котором возникает тупиковая ситуация. На рис. 4, б показан синтез движений по траектории $A^H A^{P1} A^{P2}$ при заданной точности позиционирования $\delta < 10$ мм.

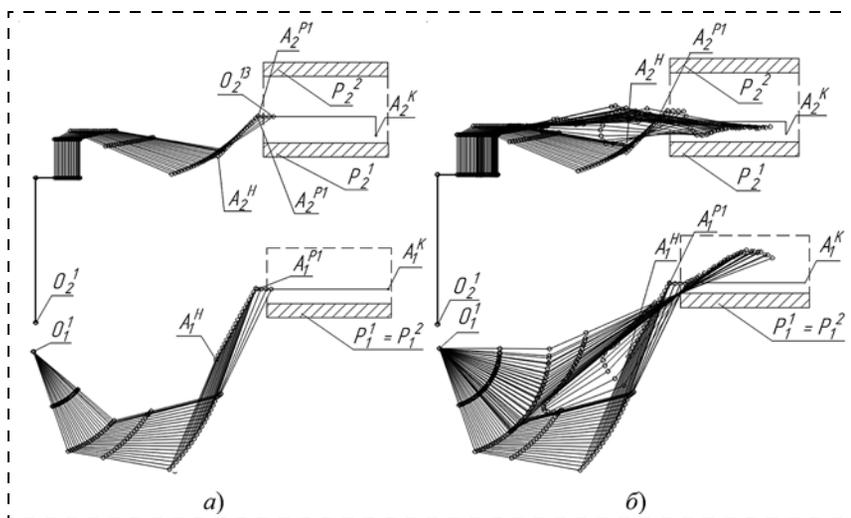


Рис. 4. Синтез движений по траектории, заданной отрезками $A^H A^{P1}$ и $A^{P1} A^{P2}$: а — с возникновением тупиковой ситуации при $\delta < 10$ мм; б — синтез движений при $\delta < 60$ мм

В этом случае возникает тупиковая ситуация. На рис. 6, б показан синтез движений по этой же траектории при $\delta < 60$ мм. Как видно из рис. 4, б, во втором случае происходит существенное отклонение от траектории, которое в общем случае может привести к столкновению объекта манипулирования со стеллажами. В этом случае при исходно заданном типе конфигурации синтез движений по вектору скоростей при $\delta < 60$ мм на участке траектории $A^{P1} A^{P2}$ невозможен. Следовательно, при обеспечении конфигурации в точке A^{P1} необходимо вначале осуществить движение руки от точки A^H к точке A^{P1} со сменой типа конфигурации при использовании значений весовых коэффициентов изменений обобщенных скоростей, не равных единице [12–14]. Тип конфигурации возможно также изменить синтезом малых движений, при котором центр выходного звена остается в заданной области, определяемой параметром $\delta < 10$ мм [9].

Использование третьей составляющей базы знаний Ψ_3 необходимо для сокращения времени расчета вектора обобщенных скоростей, когда расчетные промежуточные конфигурации пересекают запретные зоны P_1 и P_2 . Вектор обобщенных скоростей \mathbf{Q}_N для этого случая получают из уравнения

$$\mathbf{Q}_N = \mathbf{Q}_M + \sum_{i=1}^p k_i m \mathbf{Q}_i, \quad (3)$$

где \mathbf{Q}_M — вектор, задающий точку $M^Q \in \Gamma^Q$, соответствующую критерию минимизации объема движения [2, 10]. Верхний индекс Q обозначает принадлежность геометрического объекта пятимерному пространству обобщенных скоростей. Точка M^Q задает центр репера, связанного с p -плоскостью Γ^Q ; k_i — координаты точки N^Q в p -плоскости Γ^Q (каждой точке N^Q соответствует определенное мгновенное состояние механизма манипулятора); m — длина единичного отрезка репера p -плоскости Γ^Q , \mathbf{Q}_i — единичные направляющие векторы осей репера; p — размерность p -плоскости Γ^Q . Для рассматриваемого примера $p = 2$.

Для вычисления предельных значений параметров k_i^{\max} в зависимости (3) для различных конфигураций руки используется база знаний Ψ_3 . Массив параметров Ψ_3 определяет значения коэффициентов a_j^{ki} уравнений гиперповерхностей, отражающих функции $k_i^{\max} = f(q_3, q_4, q_5)$ в заданных предельных интервалах значений обобщенных координат q_1 и q_2 [8]. Параметры k_i^{\max} позволяют определять области в пространстве обобщенных скоростей, задающие допустимые значения вектора \mathbf{Q}_N , при которых обеспечена требуемая точность позиционирования $\delta < 10$ мм центра ВЗ.

Результат синтеза движения с использованием базы знаний

Схема алгоритма синтеза траектории движения руки андроидного робота на основе использования разработанной базы знаний представлена на рис. 5, где приняты следующие обозначения: 1 — ввод данных массивов l_i , smi , Kod и переменных $n_k = 0$, $A^H(x^H, y^H)$, $A^K(x^K, y^K)$, $B^{C1}(x_{BC1}, y_{BC1})$, $B^{C2}(x_{BC2}, y_{BC2})$ и X_i , где l_i — длины звеньев механизма, smi — смещения вдоль осей координат, Kod — коды преобразований систем координат [8]. Параметры l_i , smi , Kod определяют геометрическую модель кинематической цепи механизма руки андроидного робота; ввод данных массивов Ψ_1 , Ψ_2 и Ψ_3 , задающих базу знаний прошлого опыта; 2 — вычисление промежуточных точек A^{P1} и A^{P2} , задающих положение синтезируемой траектории движения точки центра ВЗ, при которых обеспечено отсутствие пересече-

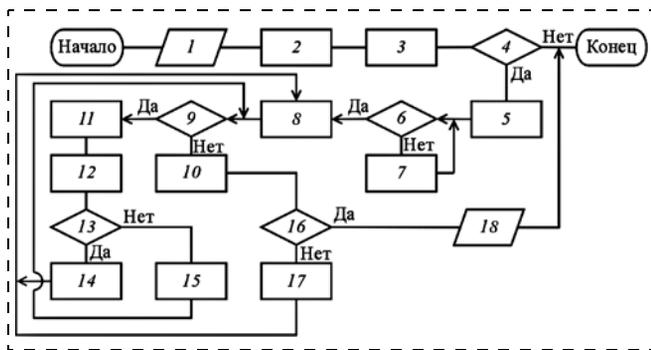


Рис. 5. Схема алгоритма виртуального моделирования движения руки андроидного робота на основе использования базы знаний

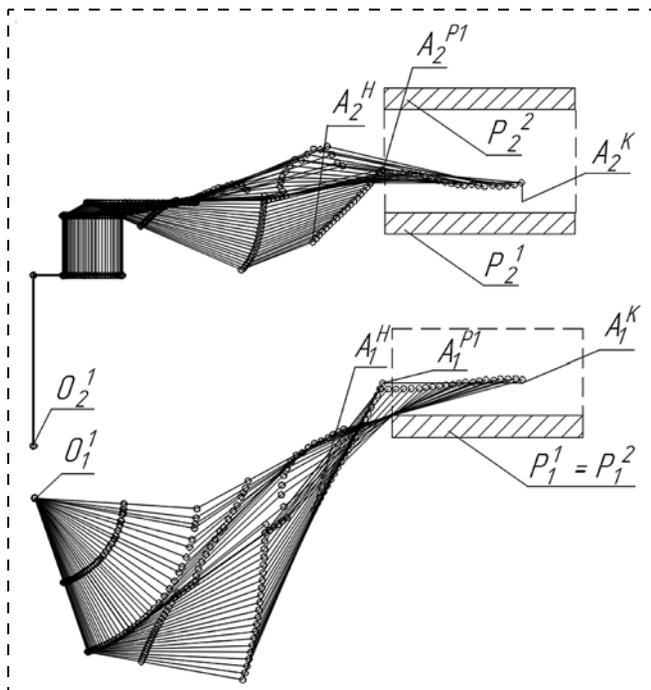


Рис. 6. Результат синтеза движения до конечной точки синтезируемой траектории

ния траектории и запретных зон P_1 и P_2 (обеспечение минимального удаления l_8 до запретных зон); 3 — определение параметров, задающих графические образы проекции рабочей зоны λ_i^0 руки на основе известных координат точек B^{C1} , B^{C2} [11]; 4 — определение принадлежности точек A^H , A^{P1} , A^{P2} и A^K рабочей зоне [11]; 5 — вычисление вектора $q_{\Delta 1}$ и значений x_H , y_H , задающих оптимальную исходную позицию руки и туловища андроидного робота (при $U_S = \max$) относительно объекта манипулирования на основе параметра $z_{\Delta i}$ и массива Ψ_1 (анализ прошлого опыта, заданного массивом Ψ_1); 6 — анализ соответствия значений $q_{\Delta 1}$, координат точек A^H , A^{P1} , A^{P2} , A^K , B^{C1} , B^{C2} значениям массива Ψ_2 , задающего тупиковые ситуации [12—14] (анализ прошлого опыта, заданного массивом Ψ_2); 7 — осуществление синтеза движения в целях изменения типа конфигураций и определение нового значения q [9]; 8 — вычисление вектора обобщенных скоростей $Q_M(\dot{q}_{1M}, \dot{q}_{2M}, \dots, \dot{q}_{iM})$ на основе критерия минимизации объема движения при синтезе движений на участках траекторий, заданных отрезками $A^H A^{P1}$, $A^{P1} A^{P2}$ и $A^{P2} A^K$ [2, 10]; 9 — определение условия пересечения конфигурации руки, определяемой значениями $q_i = q_i + \dot{q}_{iM}$ и запретных зон (при этом принято допущение $\Delta q_i \approx \dot{q}_{iM}$), \dot{q}_{iM} — компоненты вектора Q_M ; 10 — построение следующей конфигурации $q_i = q_i + \dot{q}_{iM}$ или $q_i = q_i + \dot{q}_{iN}$; 11 — определение максимальных значений k_i^{\max} на основе q_i и массива Ψ_3 (анализ прошлого опыта Ψ_3) [8]; 12 — изменение значений $k_i = k_i + 1$, используемых в векторном уравнении (3); 13 — значения k_i удовлетворяют максимальным значениям k_i^{\max} ; 14 — синтез движений при неизменном положении центра ВЗ. Движение руки в целях изменения типа конфигурации [9]; 15 — вычисление вектора обобщенных скоростей $Q_M(\dot{q}_{1N}, \dot{q}_{2N}, \dots, \dot{q}_{iN})$ (3) [8]; 16 — целевая точка на заданном отрезке достигнута; 17 — изменение значения номера следующей конфигурации $n_k = n_k + 1$; 18 — вывод результатов синтеза движения на всем участке заданной траектории, определяемой отрезками $A^H A^{P1}$, $A^{P1} A^{P2}$ и $A^{P2} A^K$.

На рис. 6 приведены результаты синтеза движений с использованием базы знаний в целях перемещения объекта манипулирования из точки A^H в точку A^K . Синтез движений со сменой типа конфигурации с использованием весовых коэффициентов значений обобщенных скоростей на этом рисунке представлен на участке траектории, заданной точками $A^H A^{P1}$.

Заклучение

Разработанный алгоритм виртуального управления движением андроидного робота на основе использования разработанной базы знаний позволяет выполнить комплексную оценку текущих ситуаций и на основе этого осуществить реализацию наиболее оптимального логического выбора. При этом выборе происходит минимальное суммарное изменение обобщенных координат.

Результаты вычислительных экспериментов показывают сокращение на порядок времени расчета тестовых заданий, связанных с постановкой объектов манипулирования на стеллажи и снятием их со стеллажей при использовании разработанной базы знаний. При этом значительно сокращается число случаев синтеза движений с возникновением тупиковых ситуаций. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем управления, автономно функционирующих андроидных роботов в заранее известной окружающей среде.

Список литературы

1. **Witney D. E.** The mathematics of coordinated control of prosthetic Arms and Manipulators // Trans. ASME, Ser G, J Dynamic, Just, Meas and Control. 1972. Vol. 94, N. 4. P. 19–27.
2. **Кобринский, А. А., Кобринский А. Е.** Манипуляционные системы роботов. М.: Наука, 1985. 343 с.
3. **Pratt J., Dilworth P., Pratt G.** Virtual model control of a bipedal walking robot // Proceedings of Int. Conf. on Robotics and Automation. 1997. Vol. 1. P. 193–198.

4. **You B., Zou Y., Xiao W., Wang J.** Telerobot control system based on dual-virtual model and virtual force // Int. Forum on Strategic Technology. 2010. P. 246–250.
5. **Hrr J., Pratt J., Chew C.-M., Herr H., Pratt G.** Adaptive virtual model control of a bipedal walking robot // Proceedings of Int. Joint Symp. on Intelligence and Systems. 1998. P. 245–251.
6. **Tsukamoto H. K., Takubo T., Ohara K., Mae Y., Arai T.** Virtual impedance model for obstacle avoidance in a limb mechanism robot // Int. Conf. on Information and Automation. 2010. P. 729–734.
7. **Hasegawa T., Suehiro T., Takase K.** A model-based manipulation system with skill-based execution // IEEE Trans. Rob. and Autom. 1992. N. 5. P. 535–544.
8. **Притыкин Ф. Н., Небритов В. И.** Исследование размеров и формы области в многомерном пространстве обобщенных скоростей, задающей допустимые мгновенные состояния механизма андроидного робота // Омский научный вестник. 2016. № 5. С. 29–34.
9. **Pritykin F., Gordeev O.** Defining a Service Angle for Planar Mechanisms of Manipulators based on the Instantaneous States Analysis // MEACS2015 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124 (2016) 012025. doi:10.1088/1757-899X/124/1/012025. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/124/1/012025>
10. **Pritykin F. N., Tevlin A. M.** Procedure for construction of manipulator motions from a given local grip path in the presence of obstacles. Soviet machine science. Allerton press ins. New York, 1987. N. 4. P. 30–33.
11. **Притыкин Ф. Н., Небритов В. И.** Построение рабочей зоны механизма руки андроидного робота с учетом положения запретных зон // Омский научный вестник. 2017. № 1. С. 5–9.
12. **Галечан В. К., Саламандра Б. Л.** К построению алгоритма работы манипулятора в среде с препятствиями // Машиноведение. 1984. № 2. С. 40–47.
13. **Корендяев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И.** Манипуляционные системы роботов. М.: Машиностроение, 1989. 472 с.
14. **Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.** Управление роботами. Основы управления манипуляционными робототехническими системами. М.: Изд. МВТУ, 2000. 400 с.

Virtual Motion Control of an Android Robot Hand Using a Knowledge Base During Synthesis of Movements with Account of the Positions of the Exclusion Zones

F. N. Pritykin, pritykin@mail.ru✉, **V. I. Nebritov**, vnebritov@gmail.com
Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russian Federation

Corresponding author: **Pritykin Fedor N.**, D. Sc.,
Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russian Federation,
e-mail: pritykin@mail.ru

Received on December 30, 2016

Accepted on January 20, 2017

The article presents organization of a knowledge base required for implementation of the intelligent control of the movement of an android robot hand with account of the positions of the exclusion zones. The proposed structure of the knowledge base characterizes the previous experience of the synthesis of the hand movements by the velocity vector with account of the known obstacles, and sets the properties intrinsic to them. The knowledge base consists of four components. The first one specifies the images, which represent a projection of the contours of the working areas of the mechanism, taking into account the exclusion zones. The second one stores configurations with the maximal values of the parameters, which define the solid angle, used to calculate the most optimal initial set position with respect to an object of manipulation. The third one contains configurations of the movement, from which a deadlock situation results. The fourth one sets the maximal values of k_i^{\max} parameters. The fourth component of the knowledge is necessary to reduce the time of calculation of the vector of the generalized velocities, when the calculated configuration crosses the exclusion zone. The algorithm of the virtual motion control of a robot android organized on the knowledge base allows us to implement the methods for evaluation of the current situation and make respectively one or another logical choice. The results of the computational experiments show a reduction of time for calculation of the test tasks associated with setting and removal of the manipulation objects on the shelves and racks with the use of the developed knowledge base.

Keywords: virtual model operation of the robots' movements, exclusion zones, synthesis of the robots' movements, knowledge base, impasses, manipulator mechanism

For citation:

Pritykin F. N., Nebritov V. I. Virtual Motion Control of an Android Robot Hand Using a Knowledge Base During Synthesis of Movements with Account of the Positions of the Exclusion Zones, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 7, pp. 452–458.

DOI: 10.17587/mau.18.452-458

References

1. **Wihtney D. E.** The mathematics of coordinated control of prosthetic Arms and Manipulators, *Trans. ASME, Ser. G, J. Dynamic, Meas. and Control*, 1972, vol. 94, no. 4, pp. 19–27.

2. **Kobriniskij A. A., Kobriniskij A. E.** Manipulacionnyye sistemy robotov (Manipulation of robots), Moscow, Nauka, 1985, 343 pp. (in Russian).

3. **Pratt J., Dilworth P., Pratt G.** Virtual model control of a bipedal walking robot, *Proceedings of Int. Conf. on Robotics and Automation*, 1997, vol. 1, pp. 193–198.

4. **You B., Zou Y., Xiao W., Wang J.** Telerobot control system based on dual-virtual model and virtual force, *Int. Forum on Strategic Technology*, 2010, pp. 246–250.

5. **Hrr J., Pratt J., Chew C.-M., Herr H., Pratt G.** Adaptive virtual model control of a bipedal walking robot, *Proceedings of Int. Joint Symp. on Intelligence and Systems*, 1998, pp. 245–251.

6. **Tsakamoto H. K., Takubo T., Ohara K., Mae Y., Arai T.** Virtual impedance model for obstacle avoidance in a limb mechanism robot, *Int. Conf. on Information and Automation*, 2010, pp. 729–734.

7. **Hasegawa T., Suehiro T., Takase K.** A model-based manipulation system with skill-based execution, *IEEE Trans. Rob. and Autom.*, 1992, no. 5, pp. 535–544.

8. **Pritykin F. N., Nebritov V. I.** Issledovanie razmerov i formy oblasti v mnogomernom prostranstve obobshhjonnykh skorostej, zadajushhej dopustimye mgnovennye sostojanija mehanizma androidnogo robota (The study of size and shape of the area in the multidimensional space of generalized velocities defining permissible instantaneous state of android robot mechanism), *Omskij nauchnyj vestnik*, 2016, no. 5, pp. 29–34 (in Russian).

9. **Pritykin F., Gordeev O.** Defining a Service Angle for Planar Mechanisms of Manipulators based on the Instantaneous States Analysis, *MEACS2015 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 124 (2016) 012025, doi:10.1088/1757-899X/124/1/012025, available at <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/124/1/012025>

10. **Pritykin F. N., Tevlin A. M.** Procedure for construction of manipulator motions from a given local grip path in the presence of obstacles. Soviet machine science, Allerton press ins. New York, 1987, no. 4, pp. 30–33.

11. **Pritykin F. N., Nebritov V. I.** Creation of a working zone of the mechanism of a hand of the android robot taking into account the provision of prohibited zones, *Omskij nauchnyj vestnik*, 2017, no. 1, pp. 5–9 (in Russian).

12. **Galechan V. K., Salamandra B. L.** K postroeniju algoritma roboty manipulyatora v srede s prepjatstvijami (Construction of the algorithm of the paddle in an environment with obstacles), *Mashinovedenie*, 1984, no. 2, pp. 40–47 (in Russian).

13. **Korendjasev A. I., Salamandra B. L., Tyves L. I.** Manipulacionnyye sistemy robotov (Manipulation of robots), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 472 p. (in Russian).

14. **Zenkevich S. L., Yushchenko A. S.** Control of robots. Bases of management of handling robotic systems, Moscow, Publishing house of, MVTU, 2000, 400 p. (in Russian).

УДК: 004.896:629.78

DOI: 0.17587/mau.18.458-468

С. Э. Чернакова, науч. сотр., s_chernakova@rambler.ru,

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО,

Л. А. Станкевич, канд. техн. наук, проф., stankevich_lev@inbox.ru,

С. В. Хлопин, канд. техн. наук, доц., hlserg@mail.ru,

Институт компьютерных наук и технологий

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,

А. И. Нечаев, нач. отдела, a_nechaev@rambler.ru,

ОАО "Научно-испытательный институт эргатических систем", Московская область, г. Жуковский

Взаимодействие оператора и роботов при обучении показом и телеуправлении гетерогенными робототехническими системами на основе модели формы движения¹

Рассматриваются задачи взаимодействия оператора и роботов, обучения и телеуправления группой различных по функциональному назначению (гетерогенных) роботов. Используется обучение показом, обеспечивающее распознавание формы естественных движений человека-оператора. Приводятся результаты экспериментальных исследований по коррекции сценариев поведения команды роботов. Предложенные подходы к обучению и телеуправлению предполагают использовать для роботов-ассистентов и антропоморфных сервисных роботов, в том числе работающих в группе.

Ключевые слова: робот, групповое управление, коррекция сценариев, реконфигурация, обучение показом, телеуправление, гетерогенные роботы

Введение

В настоящее время большой интерес вызывает задача управления автономными роботами и бес-

пилотными аппаратами в спасательных, военных или космических миссиях, а также промышленными и сервисными роботами, выполняющими различные задачи индивидуально и в группе, в том числе при непосредственном взаимодействии с человеком.

Также известны компьютерные моделирующие комплексы, игровые программы с виртуальными

¹ Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (Проект 16-08-01277-а) и Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. (0073-2015-0003).