

УДК 621.865.8

doi: 10.18698/0536-1044-2021-12-11-18

Координация движений манипуляторов двурукого робота с двенадцатью степенями свободы при совместном функционировании

Л.А. Каргинов¹, Е.И. Воробьев², А.К. Ковальчук¹

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана

² ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН»

Coordination of Movements of Two-Handed 12-DOF Robot Manipulators at Their Joint Manipulation

L.A. Karginov¹, E.I. Vorobyov², A.K. Kovalchuk¹

¹ Bauman Moscow State Technical University

² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Рассмотрен двурукий робот с двенадцатью степенями свободы (по шесть на каждую руку). Приведен пример вычисления обобщенных координат для конечностей двурукого робота при их совместном манипулировании. Исходные данные для определения обобщенных координат представлены положениями и ориентациями объекта работ, представляющего собой куб. В процессе моделирования последние звенья рук робота достигают граней объекта работ с заданной ориентацией. Для получения значений обобщенных координат использован иерархический подход, основная идея которого заключается в том, чтобы положить в основу алгоритма решения реализуемое на практике движение. Разработана блок-схема такого алгоритма. Определены обобщенные координаты робота для каждого положения и ориентации объекта работ с учетом кинематических ограничений в сочленениях исполнительного механизма робота. Показана возможность получения обобщенных координат для согласованного движения исполнительных механизмов роботов с древовидными кинематическими схемами.

Ключевые слова: двурукий робот, обратная задача, древовидная кинематическая схема, обобщенные координаты, совместное функционирование

The study focuses on a two-handed robot with twelve degrees of freedom, six for each arm, and gives an example of calculating generalized coordinates for the two-armed robot limbs at their joint manipulation. The initial data for obtaining generalized coordinates are represented by the location of the work object, which is a cube. When solving the problem, the last arm links reach the faces of the work object with a given orientation. To obtain generalized coordinates, we used a hierarchical approach, which is based on an algorithm for solving the inverse problem of kinematics, and developed a control flow chart. The values of generalized robot coordinates were obtained for each location of the object of work, taking into account the kinematic constraints in the joints of the robot actuator. Findings of research show that it is possible to obtain generalized coordinates for the coordinated movement of the robot actuators with tree-like kinematic scheme.

Keywords: two-handed robot, inverse problem, tree-like kinematic scheme, generalized coordinates, joint functioning

Задача реализации согласованного движения конечностей роботов становится все более актуальной по мере того, как возникает потребность в реализации такого движения на практике. Примерами являются конечности роботов-спасателей, роботов-хирургов и пр., где несогласованная работа манипуляторов может привести к непоправимым последствиям.

Кинематические схемы исполнительных механизмов (ИМ) роботов, используемых в различных областях человеческой деятельности в подавляющем большинстве случаев далеки от кинематических схем тела человека, но имеющегося количества конечностей (если они есть) обычно достаточно для выполнения возложенных на этих роботов задач.

Тем не менее для осуществления некоторых операций роботам может потребоваться несколько конечностей, в частности, пара манипуляторов, а также система управления, позволяющая выполнять согласованное движение этих манипуляторов.

В настоящее время ведется активная разработка методов управления подобными роботами [1–10]. При этом для получения законов управления необходимо решать обратную задачу кинематики (ОЗК) [11, 12]. При малом числе степеней свободы (не более шести [1–3]) для

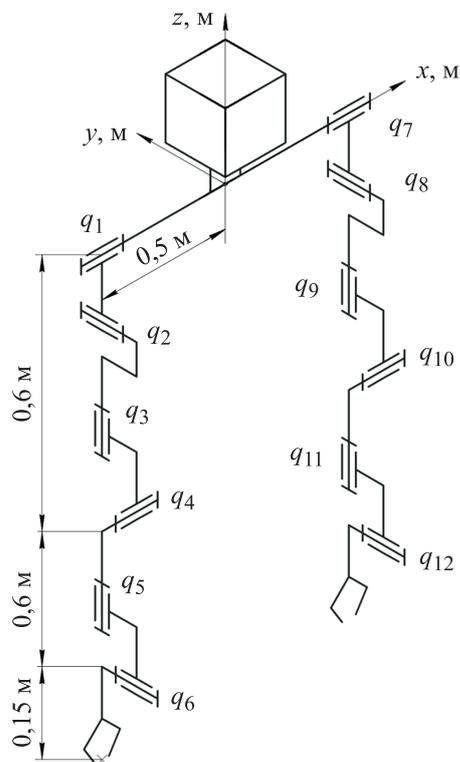


Рис. 1. Кинематическая схема ИМ двурукого робота

некоторых схем ОЗК можно решить в аналитическом виде [1, 2]. При большем числе степеней свободы или при наличии связей [3] найти решение значительно сложнее.

Цель работы — решить ОЗК для согласованной работы двух конечностей робота, имитирующих руки человека, с использованием иерархического подхода [13, 14]. При этом обе конечности должны достигнуть граней объекта работ (далее объект), положения и ориентации которого заданы матрицами размером 4×4 .

Ось последнего звена каждой из конечностей при достижении предназначенной для нее грани объекта должна быть перпендикулярна последней.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выбран двурукий робот, кинематическая схема ИМ которого приведена на рис. 1.

Для решения ОЗК использована модифицированная система координат Денавита — Хартенберга [15], учитывающая разветвление древовидных кинематических схем. Кинематическая схема рассматриваемого робота имеет двенадцать вращательных сочленений.

Модель ИМ двурукого робота в начальном положении приведена на рис. 2.

Здесь же показаны положения объекта, которые будут использованы в процессе моделирования. Указанному положению ИМ двуруко-

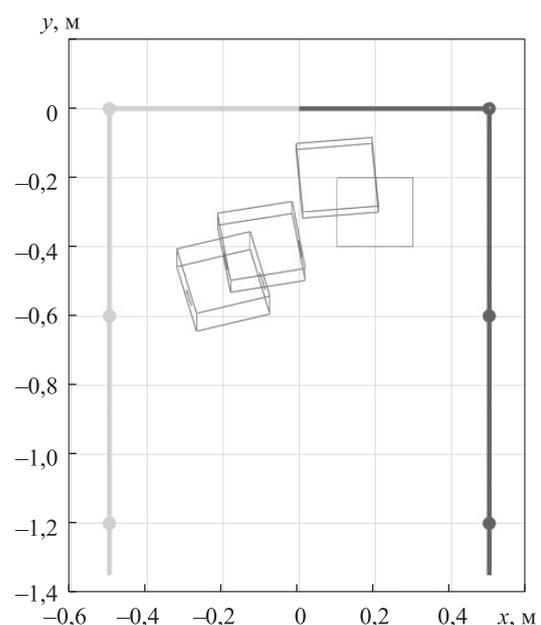


Рис. 2. Начальное положение ИМ двурукого робота

го работа соответствуют следующие матрицы перехода:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{T}_1 &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & -0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_2 &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{T}_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -0,5 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_4 &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & -0,5 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{T}_5 &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_6 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1,35 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{T}_7 &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_8 &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{T}_9 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0,5 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_{10} &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0,5 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{T}_{11} &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & \mathbf{T}_{12} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1,35 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Для более полного представления на рис. 3 положения объекта показаны вместе с моделью ИМ двурукого робота в трехмерном варианте.

Объект представляет собой куб со стороной 0,2 м, положение и ориентация которого заданы обобщенными координатами, приведенными в табл. 1.

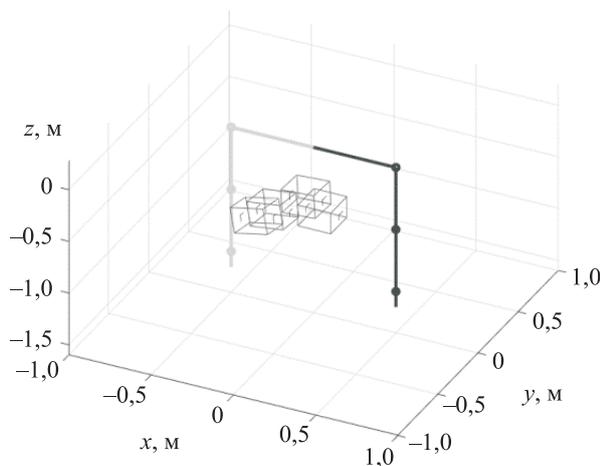


Рис. 3. Схема расположения модели ИМ двурукого робота относительно положений объекта

Таблица 1

Обобщенные координаты объекта

Номер положения объекта	$q_1, \text{ м}$	$q_2, \text{ м}$	$q_3, \text{ м}$	$q_4, \text{ рад}$	$q_5, \text{ рад}$	$q_6, \text{ рад}$
1	-0,5	0,3	0,2	$\pi/12$	$\pi/12$	0
2	-0,4	0,3	0,1	$\pi/18$	$\pi/18$	0
3	-0,2	0,3	-0,1	$\pi/36$	$\pi/36$	0
4	-0,3	0,3	-0,2	0	0	0

Первому положению соответствует крайнее левое положение объекта на рис. 2, четвертому — крайнее правое.

Метод исследования. Чтобы достичь поставленной цели, необходимо получить значения обобщенных координат обоих ИМ двурукого робота для каждого положения и ориентации объекта.

После выбора движений формируют наборы сочленений ИМ, которые будут задействованы в их реализации, таких как поворот руки к объекту, сближение с ним, захват и т. д. Для каждого набора сочленений назначают последовательность изменения соответствующих обобщенных координат.

Процесс решения ОЗК является циклическим, на каждом шаге цикла обобщенные координаты перебираются в указанной последовательности. При этом знаки и значения приращений обобщенных координат корректируются в зависимости от расстояния до объекта, его ориентации и кинематических ограничений в сочленениях.

Примем, что в реализации любого движения участвуют все сочленения ИМ двурукого робота. Последовательность изменения обобщенных координат назначим для обеих рук от кисти до плеча. При этом по аналогии с человеческими руками положим, что два последних сочленения каждой из них предназначены для ориентации схватов, остальные отвечают за сближение с целью.

Ограничения обобщенных координат зададим от начального положения, показанного на рис. 2. Значения ограничений обобщенных координат ИМ двурукого робота приведены в табл. 2.

Блок-схема алгоритма решения ОЗК для одного ИМ двурукого робота приведена на рис. 4. Для другого ИМ блок-схема будет аналогичной.

Таблица 2

Ограничения обобщенных координат ИМ двурукого робота

Номер сочленения	Ограничение, град		Номер сочленения	Ограничение, град	
	минимальное	максимальное		минимальное	максимальное
1	-45	90	7	-90	45
2	-135	45	8	-45	135
3	-90	45	9	-45	90
4	0	135	10	0	135
5	-90	45	11	-45	90
6	-45	45	12	-45	45

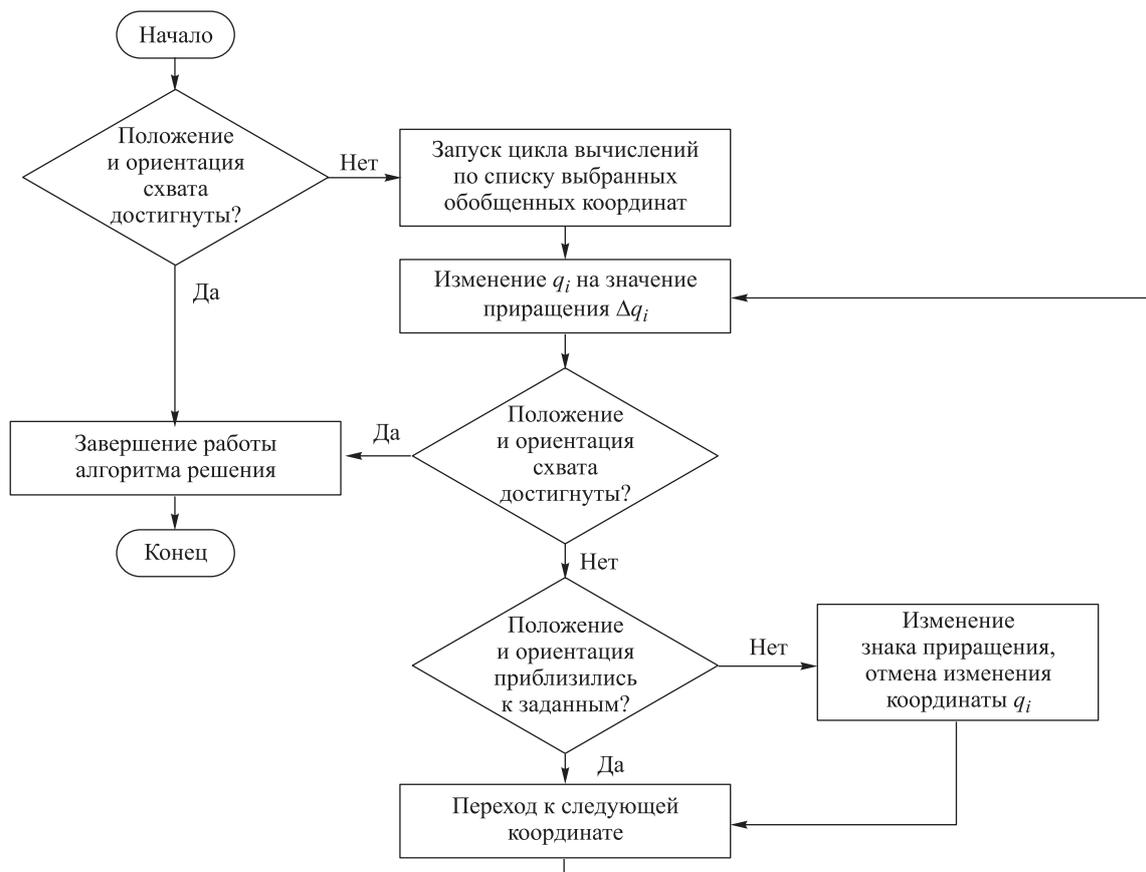


Рис. 4. Блок-схема алгоритма решения ОЗК для одного ИМ двурукого робота

В процессе моделирования ИМ двурукого робота должны достигнуть целевых точек на гранях объекта, причем оси последних звеньев ИМ должны быть перпендикулярны указанным граням. Это означает задание последним звеньям ИМ пяти независимых обобщенных координат.

Так как процессы решения ОЗК для обоих ИМ протекают одновременно, их можно считать параллельными.

Результаты моделирования. На рис. 5, а и б показаны моменты, когда оба ИМ двурукого

робота достигают объекта в первом и последнем положениях (см. табл. 1).

Отрезки внутри куба показывают направления, перпендикулярные граням объекта (не являются частями ИМ робота).

Приведенным на рис. 5, а и б положениям соответствуют графики обобщенных координат для правого (рис. 6, а) и левого (рис. 6, б) ИМ двурукого робота.

Следует отметить, что графики на рис. 6 не содержат шкалу времени, они построены относительно положения объекта. Это сделано по

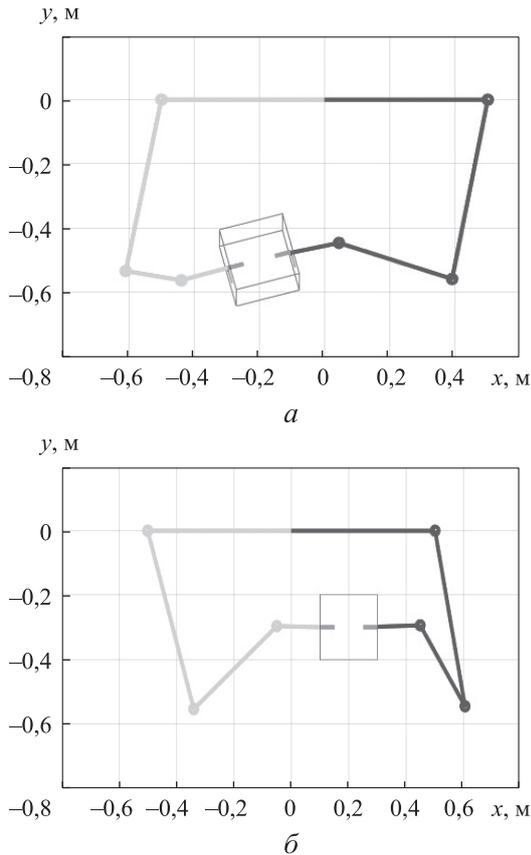


Рис. 5. Достижение ИМ двурукого робота первого (а) и последнего (б) положений объекта

нескольким причинам. Во-первых, скорость вычислений зависит не только от их алгоритма, но и от оборудования, на котором их выполняют. Во-вторых, в постановке задачи не было

условия уложиться в определенные временные рамки.

Последние звенья ИМ робота не всегда идеально параллельны отрезкам внутри куба, приведенным на рис. 5, а и б. Это связано с погрешностями вычислений (по сути, иерархический подход является численным методом), которые зависят от приращений обобщенных координат.

Как указывалось ранее, в процессе решения ОЗК с использованием иерархического подхода может возникать необходимость коррекции приращений обобщенных координат в процессе сближения конечностей с объектом. Для определения необходимости коррекции приращений разработчики могут использовать любые критерии, которые сочтут нужными. Так, в данном исследовании при первом сближении с целью на расстояние менее 10 см приращения уменьшались в 2 раза. Уменьшение приращений повышает точность решения, но снижает скорость вычислений.

Уменьшение приращений при сближении с целью на определенное расстояние выбрано неслучайно — такой подход имеет прямой аналог в природе. Если человек пытается что-то взять рукой, то в большинстве случаев снижается скорость при достаточном сближении с целью, особенно когда он собирается взаимодействовать с легко повреждаемым объектом.

Представим, что играем в шахматы: быстро переносим руку на небольшое расстояние, сближаемся с определенной фигурой и берем ее

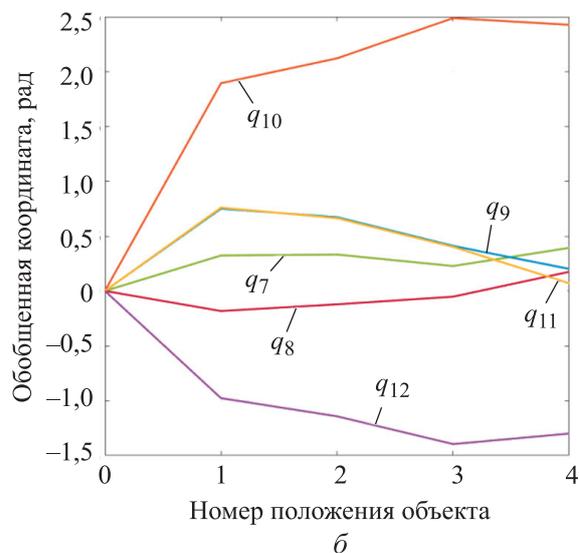
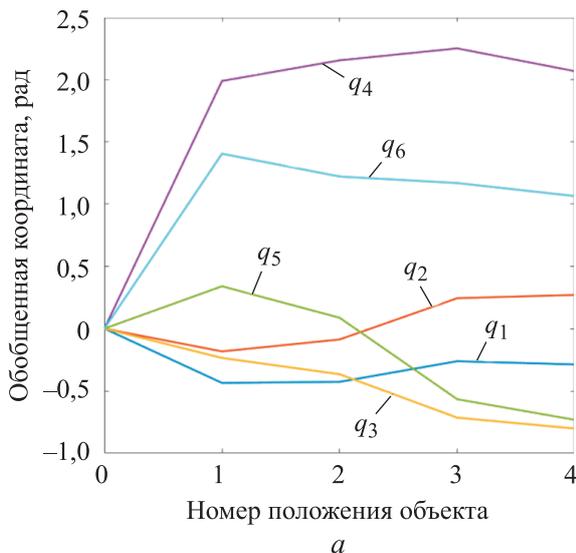


Рис. 6. Обобщенные координаты для правого (а) и левого (б) ИМ двурукого робота при различных положениях объекта

с меньшей скоростью, стараясь не смахнуть соседние фигуры.

Для простоты и наглядности изложения материала выбрано четыре положения объекта. В реальных условиях соседние положения и ориентации объекта различались бы незначительно, т. е. на траектории перемещения объекта были бы выбраны десятки положений, близких друг к другу.

Выводы

1. Предложен метод координации движений манипуляторов двурукого робота при совместном функционировании на основе решения ОЗК одновременно для обеих конечностей.

2. Результаты моделирования подтвердили возможность решения этой задачи с помощью предложенного метода.

Литература

- [1] Воробьев Е.И. Метод построения программных относительных движений двуруких робототехнических систем. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2020, № 4, с. 3–10, doi: <https://doi.org/10.31857/S023571192004015X>
- [2] Воробьев Е.И., Михеев А.В., Моргуненко К.О. Построение программных движений механизмов относительного манипулирования с тремя степенями свободы. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2019, № 6, с. 41–48, doi: <https://doi.org/10.1134/S0235711919060105>
- [3] Воробьев Е.И. Осуществление заданного относительного движения двух твердых тел двуруким роботом. *Известия РАН. МТТ*, 2018, № 2, с. 122–128.
- [4] Лесков А.Г., Калеватых И.А. Экспериментальные исследования алгоритмов управления связанным движением двурукого манипуляционного робота. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2012, № 4, с. 33–43.
- [5] Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А. и др. Планирование, моделирование и экспериментальное исследование типовой манипуляционной операции. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2016, № 4, с. 57–70, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0236-3941-2016-4-57-70>
- [6] Богданова Ю.В., Гуськов А.М. Численное моделирование задачи позиционирования инструмента хирургического Робота-Манипулятора при движении по заданной траектории. *Наука и образование: научное издание*, 2013, № 6, URL: <http://engineering-science.ru/doc/574314.html>
- [7] Лесков А.Г., Селиверстова Е.В. Алгоритм планирования и выбора способа захвата деформируемого объекта. *Экстремальная робототехника*, 2017, т. 18, № 11, с. 739–744, doi: <https://doi.org/10.17587/mau.18.739-744>
- [8] Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А. и др. Аппаратно-программный комплекс для решения задач автоматического захвата объекта манипуляторами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, № 1, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2015-1-1361>
- [9] Бажинова К.В., Лесков А.Г., Селиверстова Е.В. Автоматический захват объектов манипулятором, оснащенный многопалой кистью. *Известия РАН. Теория и системы управления*, 2019, № 2, с. 166–176, doi: <https://doi.org/10.1134/S0002338819020033>
- [10] Лесков А.Г., Бажинова К.В., Морошкин С.Д. и др. Построение моделей кинематики исполнительных механизмов манипуляционных роботов с использованием блочных матриц. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 9, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2013-9-954>
- [11] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. *Робототехника*. Москва, Мир, 1989. 624 с.
- [12] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. *Основы управления манипуляционными роботами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.
- [13] Каргинов Л.А. Иерархический подход к решению обратной задачи кинематики. *Наука и образование. Научное издание*, 2016, № 3, URL: <http://engineering-science.ru/doc/835545.html>
- [14] Каргинов Л.А. Пример синтеза управляющих воздействий для шестиногого шагающего робота при передвижении по неровной поверхности. *Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация*, 2015, № 3, с. 70–88.

- [15] Ковальчук А.К. Модифицированная система координат Денавита-Хартенберга для исполнительных механизмов роботов с древовидной кинематической структурой. *Наука и образование. Научное издание*, 2015, № 11. URL: <http://engineering-science.ru/doc/826673.html>

References

- [1] Vorob'yev E.I. A technique for configuring the relative program movements of robotic systems with two arms. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2020, no. 4, pp. 3–10, doi: <https://doi.org/10.31857/S023571192004015X> (in Russ.). (Eng. version: *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2020, vol. 49, no. 4, pp. 273–279, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618820040159>)
- [2] Vorob'yev E.I., Mikheev A.V., Morgunenko K.O. Construction of program motions of relative manipulation mechanisms with three degrees of freedom. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2019, no. 6, pp. 41–48, doi: <https://doi.org/10.1134/S0235711919060105> (in Russ.). (Eng. version: *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2019, vol. 48, no. 6, pp. 510–516, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618819060104>)
- [3] Vorob'yev E.I. Realization of a given relative motion of two rigid bodies by a two-armed robot. *Izvestiya RAN. MTT*, 2018, no. 2, pp. 122–128. (In Russ.). (Eng. version: *Mech. Solids.*, 2018, vol. 53, no. 2, pp. 221–227, doi: <https://doi.org/10.3103/S0025654418020139>)
- [4] Leskov A.G., Kalevtykh I.A. Experimental studies of algorithms for control of coordinated motion of two-manipulator cooperative system. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2012, no. 4, pp. 33–43. (In Russ.).
- [5] Leskov A.G., Illarionov V.V., Kalevtykh I.A. et al. Planning, simulation and experimental research into typical robotic manipulator operation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2016, no. 4, pp. 57–70, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0236-3941-2016-4-57-70> (in Russ.).
- [6] Bogdanova Yu.V., Gus'kov A.M. Numerical simulation of surgical robotic manipulator in point-to-point motion. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2013, no. 6. URL: <http://engineering-science.ru/doc/574314.html> (in Russ.).
- [7] Leskov A.G., Seliverstova E.V. Algorithm for planning and selection of deformable object grasp by multi-finger gripper of robotic manipulator. *Ekstremal'naya robototekhnika*, 2017, vol. 18, no. 11, pp. 739–744, doi: <https://doi.org/10.17587/mau.18.739-744> (in Russ.).
- [8] Leskov A.G., Illarionov V.V., Kalevtykh I.A., et al. Hardware-software complex for solving the task of automatic capture of the object with manipulatorssss. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2015, no. 1, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2015-1-1361> (in Russ.).
- [9] Bazhinova K.V., Leskov A.G., Seliverstova E.V. Automatic grasping of objects by a manipulator equipped with a multifinger hand. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2019, no. 2, pp. 166–176, doi: <https://doi.org/10.1134/S0002338819020033> (in Russ.). (Eng. version: *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2019, vol. 58, no. 2, pp. 317–327, doi: <https://doi.org/10.1134/S1064230719020035>)
- [10] Leskov A.G., Bazhinova K.V., Moroshkin S.D., et al. Modeling of robotic arms kinematics by means of block matrixes. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, no. 9, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2013-9-954> (in Russ.).
- [11] Fu K.S., Gonzalez R., Lee C.S.G. Robotics. *Control sensing, vision, and intelligence*. McGraw-Hill, 1987. (Russ. ed.: *Robototekhnika*. Moscow, Mir Publ., 1989. 624 p.)
- [12] Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. *Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami* [Fundamentals of control on manipulation robots]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. 480 p. (In Russ.).

- [13] Karginov L.A. Hierarchical approach to solving an inverse problem of kinematics. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2016, no. 3. URL: <http://engineering-science.ru/doc/835545.html> (in Russ.).
- [14] Karginov L.A. Example of control actions for a six-leg walking robot on a rough surface. *Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya*, 2015, no. 3, pp. 70–88. (In Russ.).
- [15] Koval'chuk A.K. Modified Denavit-Hartenberg coordinate system for robot actuating mechanisms with tree-like kinematic structure. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2015, no. 11. URL: <http://engineering-science.ru/doc/826673.html> (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 08.09.2021

Информация об авторах

КАРГИНОВ Леонид Андреевич — инженер кафедры «Робототехнические системы и мехатроника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, Госпитальный пер., д. 10, e-mail: herstellung@mail.ru).

ВОРОБЬЕВ Евгений Иванович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории динамики человеко-машинных систем. ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский пер., д. 4, e-mail: evgeniv36@mail.ru).

КОВАЛЬЧУК Александр Кондратьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидropневмоавтоматика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: 89857845534@yandex.ru).

Information about the authors

KARGINOV Leonid Andreevich — Engineer, Department of Robotics and Mechatronics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, Gospitalny Pereulok, Bldg.10, e-mail: herstellung@mail.ru).

VOROBYOV Evgeny Ivanovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Chief Researcher, Laboratory for Biomechanical Systems Research. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101000, Moscow, Russian Federation, Maly Kharitonyevsky Pereulok, Bldg. 4, e-mail: evgeniv36@mail.ru).

KOVALCHUK Alexandr Kondratyevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: 89857845534@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Каргинов Л.А., Воробьев Е.И., Ковальчук А.К. Координация движений манипуляторов двурукого робота с двенадцатью степенями свободы при совместном функционировании. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 12, с. 11–18, doi: 10.18698/0536-1044-2021-12-11-18

Please cite this article in English as:

Karginov L.A., Vorobyov E.I., Kovalchuk A.K. Coordination of Movements of Two-Handed 12-DOF Robot Manipulators at Their Joint Manipulation. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 12, pp. 11–18, doi: 10.18698/0536-1044-2021-12-11-18