

Обобщенный метод исследования мобильности плоских механизмов манипуляторов

Ф.Н. Притыкин, Д.И. Нефедов, В.А. Захаров, А.В. Рингельман

Омский государственный технический университет, Омск

Аннотация: Исследована мобильность плоского четырехзвенного механизма манипулятора в заданной области рабочего пространства. Предложен метод определения максимальных скоростей по заданным направлениям для механизмов манипуляторов, имеющих двигательную избыточность.

Ключевые слова: собственные свойства механизмов манипуляторов, мобильность манипуляторов, синтез движений роботов по вектору скоростей.

При автоматизации технологических процессов с использованием робототехнических комплексов часто необходимо задавать скорость движения центра выходного звена с заданной скоростью. Например, при нанесении покрытий, контроле и сварке изделий движение выходного звена происходит в заданном диапазоне скоростей. Указанное собственное свойство механизмов манипуляторов характеризует свойство называемое мобильностью [1,2]. В связи с этим остается актуальной задача разработки универсальных алгоритмов позволяющих обеспечить оценку возможных скоростей характерной точки выходного звена, которая неподвижно связана с инструментом. При этом оценку скоростей проводят по заданным направлениям с учетом максимальных скоростей в приводах и заданной точности позиционирования центра выходного звена [1,2]. В настоящей работе предложен алгоритм определения максимально возможных скоростей выходного звена по заданным направлениям в различных точках рабочего пространства. При этом исследуется плоский четырехзвенный механизм манипулятора, имеющий двигательную избыточность. Разработанная методика может быть использована для манипуляторов имеющих другую структуру кинематических цепей и различное число степеней подвижностей.

На рисунке 1а представлены изображения механизма манипулятора и заданная область Ω исследуемого рабочего пространства. Длины звеньев механизма манипулятора l_i приняты равными следующим значениям $O_1O_2 = O_2O_3 = O_3O_4 = 900\text{мм}$. Минимальные и максимальные значения обобщенных координат, соответственно, равны $q_i^{min}(0^\circ, -120^\circ, -120^\circ)$ и $q_i^{max}(120^\circ, 120^\circ, 120^\circ)$. Интервал, определяющий положение исследуемых точек области Ω рабочего пространства принят равным $\Delta x = \Delta y = 200\text{мм}$. Положение области Ω и её размеры соответственно определяют параметры $x_A = 1300\text{мм}$, $y_A = 900\text{мм}$ и $x_{op} = y_{op} = 1000\text{мм}$ (см. рис. 1а). Предельные значения обобщенных скоростей приняты равными следующим значениям $q_i^{max} = 4$ град/сек. На рис. 1б представлено множество M_{A_i} конфигурации, при которых центр выходного звена занимает одно и тоже положение соответствующее точке A_i с интервалом изменения обобщенной координаты Δq_1 равным двадцати градусам. Заметим, что количество конфигураций составляющих множество M_{A_i} для различных точек A_i ($1 \leq i \leq 25$) различное. Например для точек A_1 и A_2 параметр M_{A_i} соответственно равен шести и трем. Определим среди данных конфигураций такие при которых мгновенная скорость центра выходного звена по направлениям осей $O_o x_o$ и $O_o y_o$ принимает максимальные значения. Схема алгоритма определения максимальной скорости по заданным направлениям и заданной точности позиционирования центра выходного звена для заданной конфигурации приведена на рисунке 2. Алгоритм основан на использовании линейной системы уравнений, задающей в многомерном пространстве обобщенных скоростей p -плоскость $\Gamma [1,3]$:

$$V = JAQ, \quad (1)$$

где $V(V_x, V_y)$ – вектор скоростей выходного звена. Ориентация выходного звена для этого случая не учитывается. Исследуются значения $V_x(V_x, 0)$ и

$V_x(0, V_y)$ (см. рис. 1а) Значения компонент V_x и V_y первоначально принимаются равными 5мм/сек и далее на каждой итерации увеличиваются с шагом равным 5мм/сек до определения максимально возможного значения); J – матрица частных передаточных отношений, размерность которой равна $r \times k$ [4,5]. Где r размерность вектора V , k – номер звена механизма ($k = 1, 2, \dots, n$). Элементы J_{rk} матрицы J определяются на основе элементов матриц $M_{01}, M_{0k}, \dots, M_{0n}$, задающих положения звеньев в неподвижной системе O_0 [6]. A – матрица значений весовых коэффициентов a_1, a_2, \dots, a_n диагонального вида (при проведении исследований значения коэффициентов приняты равными единице); Q – вектор обобщенных скоростей размерности n . Точность позиционирования принята равной $\delta^{max} = 5$ мм.

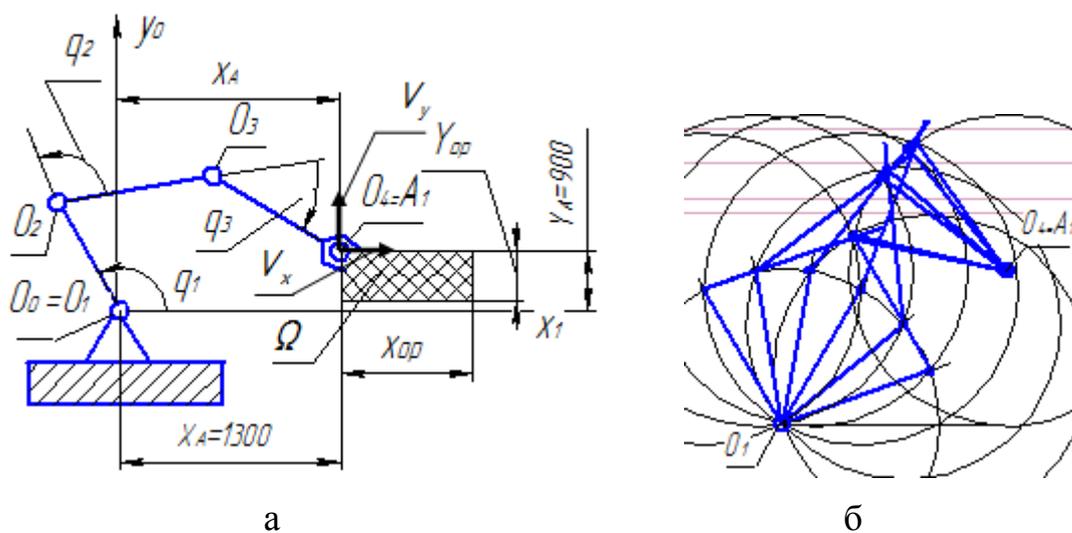


Рис. 1 Четырехзвенный плоский механизм манипулятора:

а – взаимное положение манипулятора и области Ω , б – множество M_{A1} конфигураций с одним и тем же положением центра выходного звена совпадающим с точкой A_1

Вектор обобщенных скоростей Q при решении системы (1) и невыполнении условий $q^{\bullet}_1 < q^{\bullet max}_1$; $q^{\bullet}_2 < q^{\bullet max}_2$; $q^{\bullet}_3 < q^{\bullet max}_3$ вычисляется по зависимости (где $q^{\bullet max}_i$ – заданные максимальные скорости в приводах):

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_M + \sum_{i=1}^p k_i^Q m \mathbf{Q}_{li}, \quad (2)$$

где \mathbf{Q}_M – вектор обобщенных скоростей соответствующий критерию минимизации объема движения [1,3]; $k_1^Q, k_2^Q, \dots, k_p^Q$ – координаты точки N^Q в p -плоскости Γ заданной линейной системой уравнений (1) (для случая когда двигательная избыточность $n - r > 1$). Максимальные значения указанных координат определяют параметры $k_p^{Q \max}$; m – длина единичного отрезка репера p -плоскости Γ . Орты $\mathbf{Q}_1, \mathbf{Q}_2, \dots, \mathbf{Q}_p$, задающие направления осей этого репера в пространстве обобщенных скоростей Q [3,7].

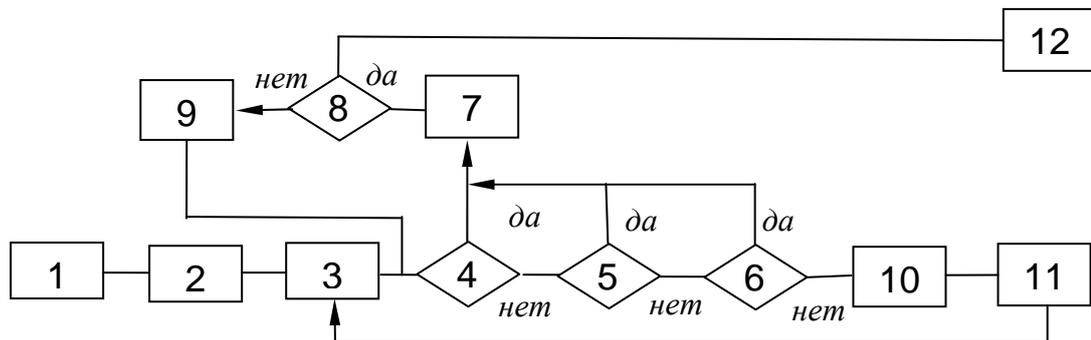


Рис. 2. Схема алгоритма определения максимальных модулей векторов скоростей V_x^{max} и V_y^{max} по направлениям осей $O_o x_o$ и $O_o y_o$

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: 1 – ввод данных $l_k, q_i, q_i^{max}, k_p^{Q \max}, V_x$ и δ^{max} ; 2 – задание положения точки A_i и множества M_i ; 3 – вычисление q_i^{\bullet} – скоростей изменения обобщенных координат в соответствии с линейной системой уравнений (1) по критерию минимизации объема движений [1]; 4 – $q_1^{\bullet} > q_1^{max}$; 5 – $q_2^{\bullet} > q_2^{max}$; 6 – $q_3^{\bullet} > q_3^{max}$; 7 –

изменение параметров k_p^Q задающего совокупность значений вектора Q [1]; 8 – $k_i > k_p^{Q_{max}}$; 9 – вычисление скоростей q_i^{\bullet} по зависимости (2); 10 – $V_x^{max} = V_x$; 11 – $V_x = V_x + 5$; 12 – вывод значения V^{max} максимальной скорости в заданной точке A_I рабочего пространства по направлению оси x_o . При определении максимальной скорости по направлению оси y_o в пунктах 10, 11 и 12 используется модуль вектора V_y^{max} и компонента V_y .

Определим максимально возможные скорости центра выходного звена V_x и V_x для каждой из множества конфигураций M_{AI} представленных на рисунке 1б по алгоритму представленному на рис. 2 с обеспечением $\delta < \delta^{max}$ [7-10]. В таблице 1 представлены значения обобщенных координат и значения модулей векторов скоростей V_x и V_y при совпадении центра выходного звена с точкой A_I .

Таблица 1

Значения компонент векторов скоростей V_x и V_y для множества конфигураций M_{AI}

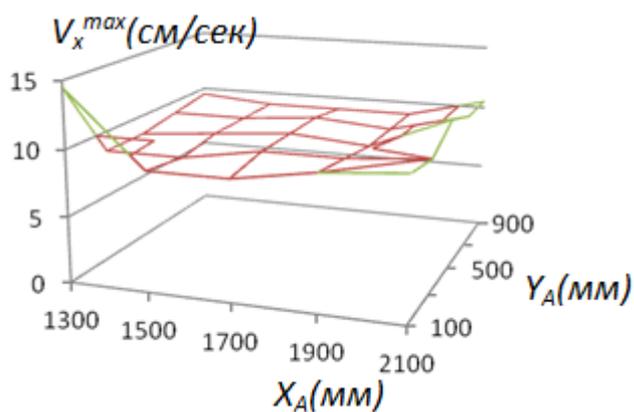
X_A, Y_A (мм)	Значения обобщенных координат			V_x (см/сек)	V_y (см/сек)
	$q_1(\text{град})$	$q_2(\text{град})$	$q_3(\text{град})$		
1300, 900	20	99	-132	65	45
	40	55	-136	75	60
	60	7.5	-123	75	65
	80	-28	-102	80	80
	100	-62	-73	95	85
	120	-101	-31	60	80

Надпись значений параметров таблицы, задающей конфигурацию с максимальными возможными значениями скорости V_x^{max} , выделена жирным шрифтом. По аналогичной методике указанные таблицы вычислены для всех двадцати пяти точек A_I области Ω . В таблице 2 представлены значения максимальной скорости V_x^{max} для различных точек A_I заданных координатами X_A и Y_A . По результатам расчетов построены графики функций $V_x^{max} = f_1(X_A, Y_A)$, $V_y^{max} = f_2(X_A, Y_A)$ представленные на рис. 3аб.

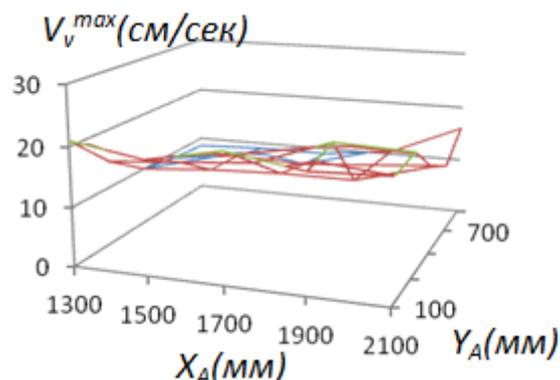
Таблица 2

Максимальные значение компоненты скорости V_x^{max} (мм/сек) для различных точек A_I рабочего пространства

X_A (мм)	Y_A (мм)				
	900	700	500	300	100
1300	95	90	85	85	145
1500	90	90	90	85	90
1700	90	95	95	95	90
1900	90	90	90	95	100
2100	105	105	115	100	105



а



б

Рис. 3 Графики-функции: а – $V_x = f_1(X_A, Y_A)$; б - $V_y = f_2(X_A, Y_A)$

На основе полученных данных для каждой точки A_I (см. табл. 1) получены три таблицы, аналогично таблице 2, где вместо значений V_x^{max} и V_y^{max} заданы соответственно значения первой, второй и третьей обобщенных координат для первой, второй и третьей таблиц. Указанные значения обобщенных координат соответствуют конфигурациям, при которых компоненты V_x и V_y принимают максимальные значения V_x^{max} и V_y^{max} .

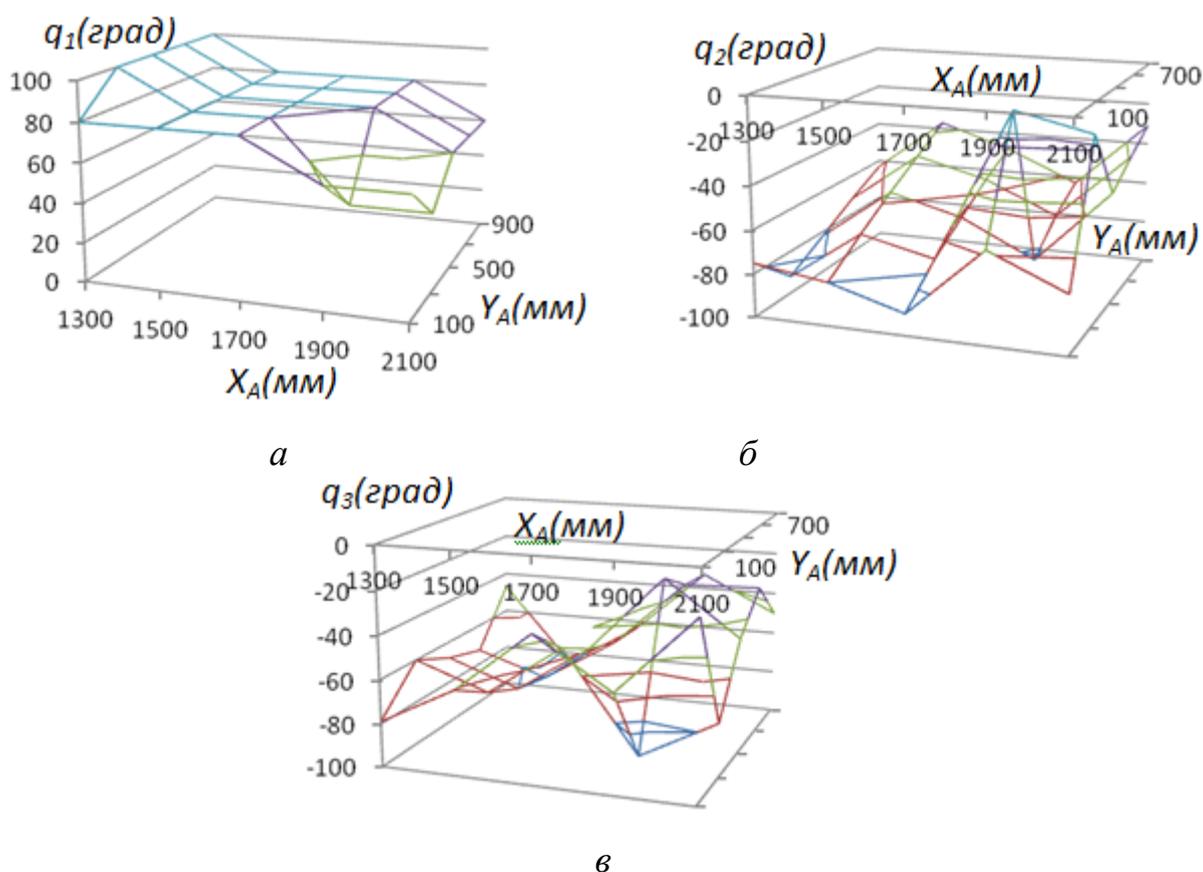


Рис. 4 Графики-функции изменения обобщенных координат обеспечивающих максимальную скорость V_x по направлению оси x_o :

$$а - q_1 = f_3(X_A, Y_A); б - q_2 = f_4(X_A, Y_A), в - q_3 = f_5(X_A, Y_A)$$

На основе указанных таблиц на рисунке 4а-в построены графики отражающие зависимости:

$$\begin{aligned}q_1 &= f_3(X_A, Y_A), \\q_2 &= f_4(X_A, Y_A), \\q_3 &= f_5(X_A, Y_A).\end{aligned}\tag{3}$$

По графикам представленным на рис. 4 для каждой точке $A_i (X_A, Y_A)$ области Ω рабочего пространства определим единственную конфигурацию и значения q_1 , q_2 и q_3 , обеспечивающие максимально возможную скорость центра ВЗ совпадающего с точкой $A_i (X_A, Y_A)$. Использование функций (2) позволяет осуществлять синтез движений с обеспечением максимальных скоростей центра выходного звена по вертикальным или горизонтальным направлениям. Для вычисления значений q_1 , q_2 и q_3 могут быть использованы полиномы Лагранжа.

Литература

1. Кобринский, А. А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов. – М.: Наука. 1985. – 343 с.
2. Чакаров, С. Уменьшение динамических нагрузок в механизмах промышленных роботов выбором рационального закона изменения скорости // Машиноведение. 1987. – № 1. – С. 56–61.
3. Притыкин, Ф. Н. Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей: монография; ОмГТУ – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 172 с.: ил.
4. Denavit, J. Cinematic notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices / J. Denavit, R. S. Hartenberg // J. Appl. Mech. – 1955. – Vol. 77. – P. 215–221.
5. Wihtney, D. E. The mathematics of coordinated control of prosthetic Arms and Manipulators // Трoнс. ASME, Ser G, J Dymamic, Just, Meas and Control. – 1972. – Vol. 94, № 4. – P.19–27.

6. Корендясев, А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Манипуляционные системы роботов. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.

7. Притыкин, Ф. Н., Чукавов Е. А. Анализ показателей маневренности механизмов манипуляторов, имеющих различную структуру кинематических цепей // Мехатроника, автоматизация, управление, 2013. – № 1. – С. 35–39.

8. Притыкин, Ф. Н., Осадчий А.Ю. Способ кодирования информации при задании геометрических моделей исполнительных механизмов роботов // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: indon.ru/magazine//archive/n2y2014/2363/.

9. Притыкин, Ф. Н., Осадчий А.Ю. Исследование областей, задающих множества разрешенных конфигураций при нахождении механизма мобильного манипулятора в близости от запретных зон // Инженерный вестник Дона, 2015, № 2., Часть 2, URL: indon.ru/magazine//archive/n2y2015/3007/.

10. Зенкевич, С. Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными робототехническими системами. – М: МВТУ, 2000. – 400 с.

References

1. Kobrinskiy A. A., Kobrinskiy A. E. Manipulyatsionnye sistemy robotov [Manipulation of robots]. М.: Nauka. 1985. 343 p.

2. Chakarov, S. Mashinovedenie. 1987. № 1. pp. 56–61.

3. Pritykin, F. N. Virtual'noe modelirovanie dvizheniy robotov, imeyushchikh razlichnuyu strukturu kinematicheskikh tsepey: monografiya [Virtual modeling movements of robots with different structures kinematic chains]. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2014. 172 p. : il.

4. Denavit, J. J. Appl. Mech. 1955. Vol. 77. pp. 215–221.



5. Wihtney, D. E. Tpons. ASME, Ser G, J Dymamic, Just, Meas and Control. 1972. Vol. 94, № 4. pp.19–27.

6. Korendyasev A. I., Salamandra B. L., Tyves L. I. Manipulyatsionnye sistemy robotov [Manipulation of robots]. M. : Mashinostroenie, 1989. 472 p.

7. Pritykin, F. N., Chukavov E. A. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2013. № 1. pp. 35–39.

8. Pritykin, F. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 2. URL: indon.ru/magazine//archive/n2y2014/2363/.

9. Pritykin, F. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, № 2. Chast' 2, URL: indon.ru/magazine//archive/n2y2015/3007/.

10. Zenkevich S. L., Yushchenko A.S. Upravlenie robotami. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robototekhnicheskimi sistemami [Robot control. Fundamentals of management manipulation robotic systems]. M: MVTU, 2000. 400 p.