# V. Выводы и заключение

Несомненным преимуществом предложенного подхода является то, что рассмотренный алгоритмом построения гладкого класса обвода, методом кривых второго порядка с заданными касательными в узлах, опирается на простые алгоритмы, не связанные с определением нужного количества производных в месте стыковки для обеспечения 2-го порядка гладкости. Но следует отметить, что требуемая форма кривой достигается итерационными методами управления формой кривой, и в случае построения обвода по большему количеству узловых точек степень автоматизации снижается.

#### Список литературы

- 1. Иванов Г. И. Начертательная геометрия / Под ред. Г.И. Иванов. М.: Машиностроение, 1995. 224 с.
- 2. Мясоедова Т. М., Панчук К. Л. Геометрическая модель генерации семейства контурно-параллельных траекторий (эквидистант) обрабатывающего инструмента // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6, № 2. С. 262–269.
- 3. Фоменко В. Т., Сидорякина В. В. Построение гладкого класса С<sup>2</sup> обвода методом кривых второго порядка с заданными касательными в узлах // Вестник Таганрогского государственного педагогического института. 2013. № 1. С. 37–41.

УДК 621.01

# МЕТОД СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕКТОРА ОБОБЩЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ РУКИ АНДРОИДНОГО РОБОТА

Ф. Н. Притыкин, В. И. Небритов Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. При планировании движения механизма руки андроидного робота в организованном пространстве существует необходимость сокращения времени расчета траектории в пространстве обобщенных координат. Указанное время значительно зависит от времени расчета вектора приращений обобщенных координат на каждом шаге расчетов. В работе проведены геометрические исследования на основе изучения закономерностей изменения среднего смещения узловых точек, которые задают положение механизма руки андроидного робота при реализации мгновенных состояний. На основе геометрического анализа указанных смещений предложен метод, позволяющий сократить время итерационного поиска вектора приращений обобщенных координат.

Ключевые слова: линейные смещения; андроидный робот; узловые точки; синтез движений; пространство обобщённых координат; движение по вектору скоростей.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-215-219

# І. Введение

Одной из задач при планировании движения механизма руки автономно функционирующего андроидного робота в организованной среде является сокращение времени расчёта траектории в пространстве обобщённых координат [1—4]. Указанное время значительно зависит от времени расчёта вектора приращений обобщённых координат на каждом шаге расчетов [5, 6].

#### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей работе приведены исследования, позволяющие сократить указанное время вычислений на примере синтеза движений механизма руки андроидного робота AR-600E по вектору скоростей. Для решения поставленной задачи определим средние смещения узловых точек механизма руки по направлениям осей инерциальной системы координат при его реализации мгновенных состояний для различных конфигураций. Указанные реализации удовлетворяют заданной точности позиционирования центра выходного звена (ВЗ). В работе предложен способ, позволяющий сократить время итерационного поиска значения вектора мгновенных обобщённых скоростей, при котором отсутствует пересечение механизма руки с запретной зоной. Исследование значения параметра, определяющего среднее смещение узловых точек механизма руки, позволили определить конфигурации, для которых достигается увеличение смещения указанных точек за одну итерацию [7, 8].

## III. ТЕОРИЯ

В работе [8] исследованы максимальные значения параметров задающих форму и положение области  $\Omega$  допустимых значений вектора обобщённых скоростей механизма руки андроидного робота для различных конфигураций.

Вектор обобщённых скоростей определяется известной зависимостью:

$$Q_N = Q_M + \sum_{i=1}^p k_i m Q_i , \qquad (1)$$

где  $Q_M$  — вектор, задающий точку  $M^Q \in \Gamma^Q$  соответствующую критерию минимизации объёма движения. Верхний индекс Q обозначает принадлежность геометрического объекта пространству обобщённых скоростей Q. Точка  $M^Q$  имеет минимальное удаление от начала координат многомерного пространства Q и задает центр репера связанного с p-плоскостью  $\Gamma^Q$  определяемой линейной системой уравнений задающей зависимость обобщённых скоростей от скоростей выходного звена (ВЗ) [7];  $k_i$  — координаты точки  $N^Q$  в p-плоскости  $\Gamma^Q$  (каждой точке  $N^Q$  соответствует определенное мгновенное состояние механизма манипулятора); m — длина единичного отрезка репера p-плоскости  $\Gamma^Q$ ;  $Q_I$  — единичные направляющие векторы осей репера; p — размерность p-плоскости  $\Gamma^Q$ . Для механизма руки андроидного робота, размерность пространства обобщённых скоростей равна пяти, а размерность p-плоскости  $\Gamma$  — двум. Синтез движений осуществляется по трех компонентному вектору линейных скоростей ВЗ. Ориентация ВЗ может быть какой угодно.

Для определения среднего значения смещений узловых точек  $O_i$  для указанной области  $\Omega$  необходимо вычислить значение параметра  $Q^{xyz}$ , который характеризует способность изменять положения указанных точек  $O_i$  механизма руки робота вдоль осей неподвижной системы координат  $O_0$ [7]:

$$Q^{xyz} = \left(\sum_{j=1}^{3} \sum_{i=1}^{mn} \left(x_{ji}^{max} - x_{ji}^{min}\right)\right) / mu , \qquad (2)$$

где  $x_{ji}^{max}$ ,  $x_{ji}^{min}$  — максимальные и минимальные значения координат узловых точек  $O_{mu}$  механизма руки в системе  $O_0$  (см. рис. 1) при реализации значений векторов обобщенных скоростей (1) из области  $\Omega$ ; j — задаёт номер координаты в системе  $O_0$  ( $1 \le j \le 3$ ); i — номер узловой точки механизма манипулятора ( $1 \le i \le mu$ ); mu — задает число узловых точек механизма манипулятора на основе задания модели кинематической цепи [6].

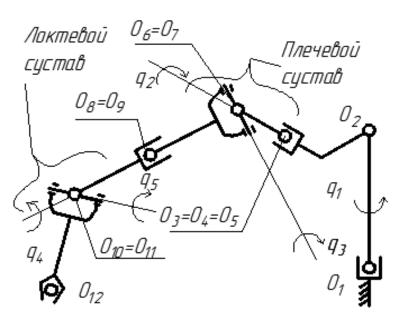


Рис. 1. Кинематическая схема механизма руки андроидного робота AR-600E

Учитывая совпадения начал систем координат связанных со звеньями механизма андроидного робота (см. рис. 1)  $O_3 = O_4 = O_5$ ,  $O_6 = O_7$ ,  $O_8 = O_9$ ,  $O_{10} = O_{11}$ , количество исследуемых узловых точек равно mu = 5.

Параметр  $\mu$ , задающий среднее смещение (приходящееся на одну конфигурацию или одну точку области  $\Omega$  [8]) определяется по формуле:

$$\mu = Q^{\text{xyz}} / K_{\delta}, \tag{3}$$

где  $K_{\delta}$  – задаёт множество точек (конфигураций), удовлетворяющих точности позиционирования  $\delta$  центра ВЗ и принадлежащих области  $\Omega$  [8].

Для изучения закономерностей изменения параметра  $\mu$  для множества конфигураций вначале задают совокупность значений векторов обобщённых координат  $q_i(0^\circ, -20^\circ, q_3, -20^\circ, q_5)$ , где компоненты вектора  $q_3$  и  $q_5$  изменяются с шагом в  $10^\circ$  в пределах  $-90^\circ \le q_3 \le 70^\circ$  и  $-90^\circ \le q_5 \le 0^\circ$  соответственно. Значения компонент вектора линейных скоростей центра ВЗ приняты V(10 мм/c, 0, 0).

Анализ значений параметра  $\mu$  для различных конфигураций выполним путем построения поверхностей, отражающих функции  $\mu = f_1$  ( $q_3$ ,  $q_5$ ),  $\mu = f_2$  ( $q_3$ ,  $q_5$ ) при  $q_2 = -20^\circ$ ,  $-40^\circ$  и  $q_4 = -20^\circ$ ,  $-40^\circ$ .

На рисунке 2 представлены зависимости  $\mu = f_1$   $(q_3, q_5)$  при  $q_2 = q_4 = {\rm const.}$  а рис. 3 зависимости  $\mu = f_1$   $(q_3, q_4)$ , при  $q_2 = q_5 = {\rm const.}$  На указанных рисунках на горизонтальной проекции изображены линии уровня соответствующие значению параметра  $\mu = 5$ .

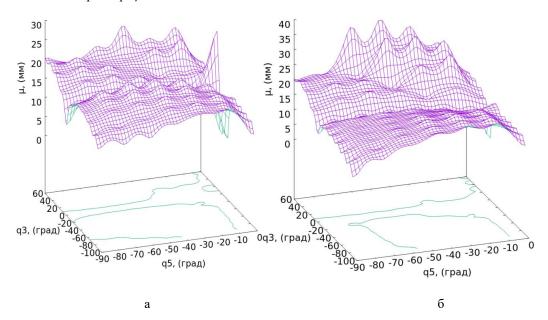


Рис. 2. Графики зависимостей: a)  $q_2 = q_4 = -20^\circ$ ,  $\mu = f_1 \ (q_3, \ q_5)$ ; б)  $q_2 = q_4 = -40^\circ$ ,  $\mu = f_2 \ (q_3, \ q_5)$ 

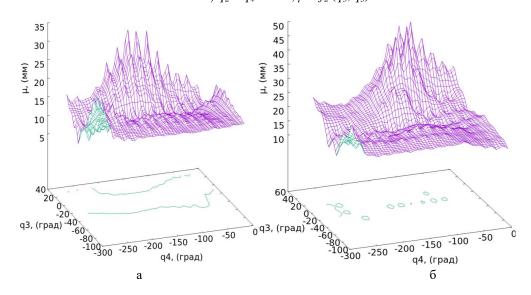


Рис. 3. Графики зависимостей: a)  $q_2=q_5=-20^\circ, \, \mu=f_1 \, (q_3,\, q_4);$  б)  $q_2=q_5=-40^\circ, \, \mu=f_2 \, (q_3,\, q_4)$ 

# IV. Результаты экспериментов

На рис. 4 представлены изображения положений некоторых звеньев руки робота при реализации вектора  $Q_N$  для максимального и минимального значений параметра  $\mu_{max} = 41,1$  и  $\mu_{min} = 5,9$ . Точки  $O_1^{12}$ ,  $O_2^{12}$ ,  $O_1^{5}$  и  $O_2^{5}$ , на рисунке соответственно определяют горизонтальные и фронтальные проекции точек  $O_1^{12}$  и  $O_2^{5}$  (см. рис. 1).

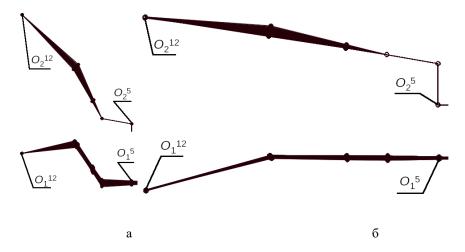


Рис. 4. Реализация вектора Q для конфигураций, заданных вектором  $q_i$ : а) для  $q_i(0^\circ, -60^\circ, 60^\circ, -60^\circ, -60^\circ)$ ,  $\mu_{max} = 41,1$ ,  $K_\delta = 43$ ,  $Q^{xyz} = 1768,5$ ; б) для  $q_i(0^\circ, -60^\circ, 0^\circ, -60^\circ, -15^\circ)$ ,  $\mu_{min} = 5,9$ ,  $K_\delta = 274$ ,  $Q^{xyz} = 1605,7$ 

## V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из расчётов и графиков функций рис. 3–4 для областей  $\Omega$ , соответствующих различным конфигурациям, значения параметра  $\mu$  имеют существенные различия. Это означает, что для конфигурации, где значения  $\mu$  минимальны (например,  $\mu$  < 5) при изменении значений  $k_i$  зависимости (1) на единицу, смещение конфигурации, полученной реализацией мгновенного состояния от исходно заданной будет незначительным. Также будет незначительно и смещение конфигурации по отношению к запретным зонам. Для данных конфигураций существует необходимость увеличения значения параметра m в зависимости (1), который задаёт длину единичного отрезка репера. Результаты расчётов тестового задания, связанного с моделированием движения механизма руки андроидного робота при наличии запретной зоны (см. рис. 5) с анализом и изменением значений параметров  $\mu$  и m (1) показали сокращения времени расчёта на  $\approx$ 20%.

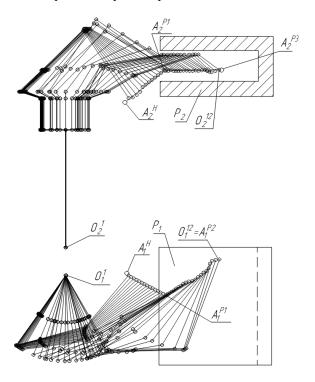


Рис. 5. Результаты моделирования движения центра ВЗ руки андроидного робота

#### VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем управления движением автономно функционирующих андроидных роботов в организованной среде без участия человека-оператора.

#### Список литературы

- 1. Gulletta G., Araújo S. M., Costa e Silva E., Costa M. F., Erlhagen W., Bicho E. Nonlinear Optimization for Human-like Synchronous Movements of a Dual Arm-hand Robotic System // International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, 2014.
- 2. Hasegawa T., Suehiro T., Takase K. A model-based manipulation system with skill-based execution // IEEE Trans. Rob. and Autom., 1992. No. 5. P. 535–544.
- 3. Karpushkin V. N., Chernavsky A. V. The reduction of the control of movement for manipulation robots from many degrees of freedom to one degree of freedom // Journal of Mathematical Sciences. 1997. P. 531–533.
- 4. Ko N. Y., Lee B. N., Ko M. S. An approach to robot motion planning for time-varying obstacle avoidanse using the view-time concept // Robotica. 1993. No. 4. P. 315–327.
  - 5. Кобринский А. А., Кобринский А. Е. Манипуляционные системы роботов. М.: Наука. 1985. 343 с.
- 6. Притыкин Ф. Н. Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 172 с.
- 7. Притыкин Ф. Н., Захаров В. А. Исследование манёвренности механизма манипулятора при заданной точности позиционирования // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 3 (109). С. 67–71.
- 8. Притыкин Ф. Н., Небритов В. И. Исследование размеров и формы области в многомерном пространстве обобщённых скоростей, задающей допустимые мгновенные состояния механизма андроидного робота // Омский научный вестник. 2016. № 5 (149). С. 29–34.

УДК 658.5.012.1

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МИКРОСКОПА UHL VMM 150

С. В. Такаюк, А. В. Тигнибидин, Е. Б. Чарушина Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен частный случай оценки точности цифрового инструментального микроскопа в условиях метрологической лаборатории в Центре подготовки высококвалифицированных инженерных кадров для ПО «Полет». Цифровым измерительным прибором (ЦИП) называют прибор, в котором измеряемая величина преобразуется в цифровой код и в соответствии с кодом представляется на отсчетное устройство в цифровой форме. Для микроскопа Uhl VMM 150 была проведена оценка погрешности, основанная на проведении многократных измерений.

Ключевые слова: точность, метрология, измерение.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-219-223

### І. Введение

Измерительные микроскопы это самые распространенными оптико-механическими приборами на производстве. Их широко применяют в измерительных лабораториях машиностроительных заводов н научно-исследовательских институтов. На них можно проводить измерения линейных и угловых размеров в прямо-угольной и полярной системах координат. Инструментальный микроскоп – это профессиональный оптический прибор, который предназначен не только для наблюдений, но и для измерений. Раньше невозможно было приобрести точный измерительный микроскоп с видеозахватом российского производства, но с 2010 года началось производство точных приборов в России. Например, инструментальный микроскоп ИМЦЛ, изготавливаемый Новосибирским приборостроительным заводом, используется на машиностроительных предприятиях для оценки линейных и угловых размеров деталей, валов, фрез, резцов и других элементов сложной техники. Данные микроскопы имеют большие возможностях и много особенностей, так как они создаются по точным техническим условиям (АЛ2.787.140 ТУ) и даже внесены в Государственный реестр средств измерения – это действи-