

10, октябрь 2015

УДК 621.865:004.021

Управление системы «кость-рука» по вектору скоростей

Мамедов Т. А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Лесков А.Г., д.т.н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

kafsm7@sm.bmstu.ru

В настоящее время внимание специалистов в области робототехники привлечено к решению задач автоматического захвата объектов манипуляционными роботами, оснащенными многопальмыми захватными устройствами. Одной из задач в этой области является управление движением системы «кость-рука» при подходе манипулятора к точкам предзахвата. Эти точки расположены вблизи объекта и соответствуют расположению кончиков пальцев кисти в начальной фазе операции захвата. Обычно [4] решение этой задачи осуществляется путем планирования движения, собственно, «руки» манипулятора в предположении, что координаты сочленений кисти остаются неизменными. Это увеличивает общее время выполнения операции захвата.

В статье предлагается алгоритм управления движением манипулятора как единой системы «кость-рука». При этом планирование траекторий движения осуществляется одновременно и для пальцев кисти и для «руки» манипулятора.

Исполнительный механизм рассматривается как n -звенный механизм, звенья которого образуют линейную разомкнутую кинематическую цепь.

Задача робота в данном случае состоит в том, чтобы привести пальцы кисти в соответствующие предзахватные точки для дальнейшего захвата. Точки предзахвата располагаются по нормали на некотором расстоянии к точкам захвата на объекте. Расстояние до точек захвата и сами точки определяются системой технического зрения, исходя из массогабаритных свойств объекта.

Алгоритм управления по векторы скоростей рассмотрим на примере 6-звенного промышленного робота Kawasaki FS020N, оснащенного трехпалой кистью Schunk SDH2.

Кинематическая схема данной системы представлена на рис. 1, где а,в,с - это три пальца кисти.

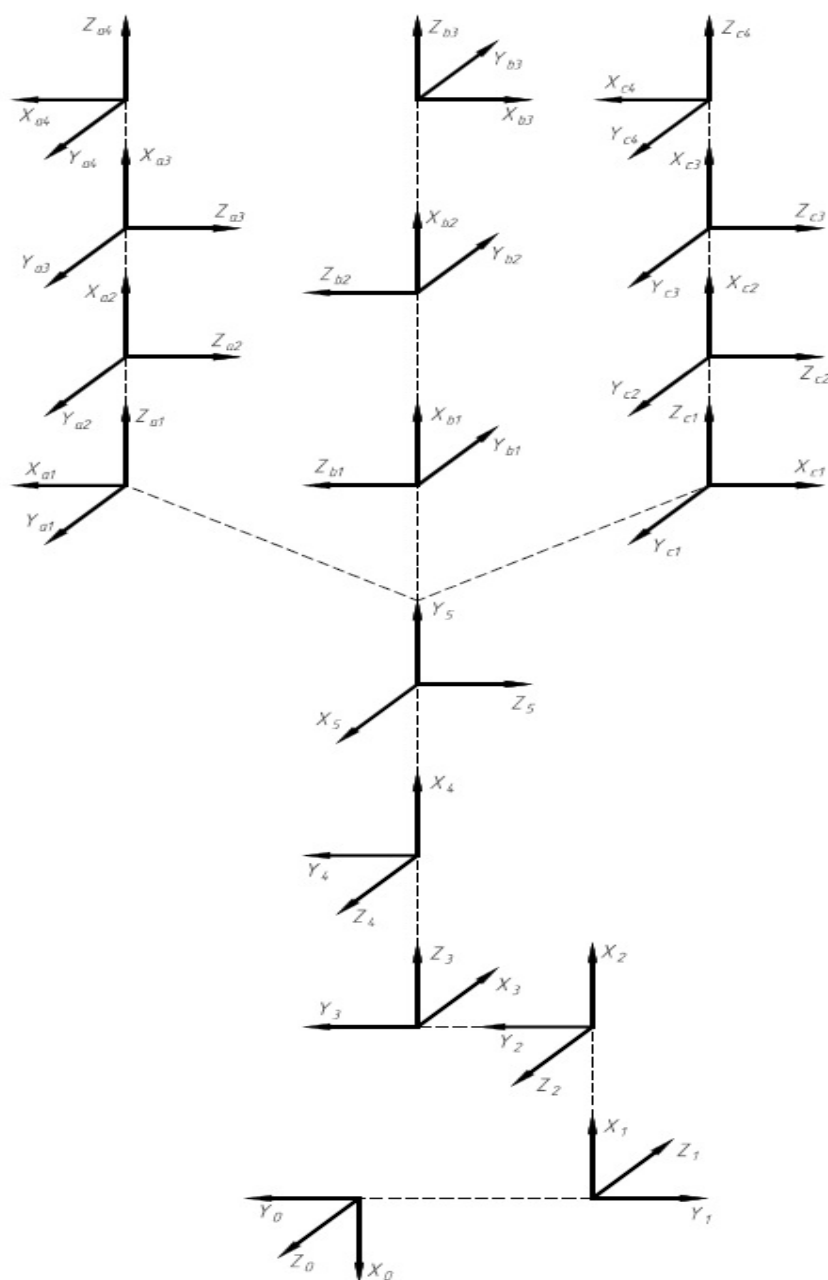


Рис. 1. Кинематическая схема системы «кисть-рука»

Задача перехода трех пальцев кисти к точкам предзахвата реализуется в виде следящей системы, структура которой показана на рис. 2.

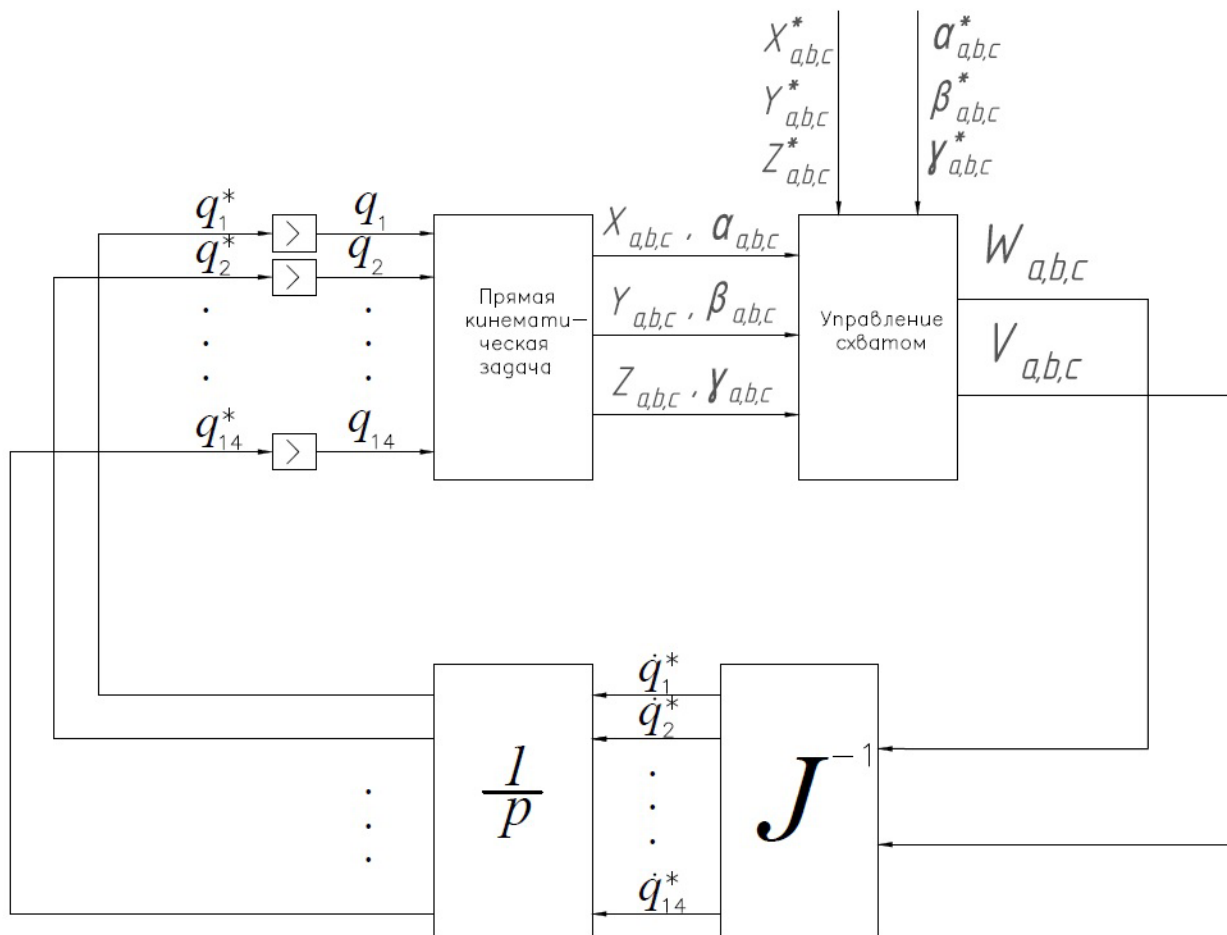


Рис. 2. Структура системы управления системы «кисть-рука»

Обобщенные координаты положений звеньев манипулятора ($q_1, q_2, \dots, q_{14}$), представляющие собой углы поворота звеньев манипулятора относительно предыдущего звена, снимаются в начальный момент положения робота, и по ним решается прямая кинематическая задача.

Вычисляются координаты трех пальцев манипулятора:

$$t_{0(0)}^{(a4)} = \tau_{01}l_1 + \tau_{02}l_2 + \tau_{03}l_3 + \tau_{04}l_4 + \tau_{05}l_5 + \tau_{0_{a1}}l_{a1} + \tau_{0_{a2}}l_{a2} + \tau_{0_{a3}}l_{a3} + \tau_{0_{a4}}l_{a4},$$

$$t_{0(0)}^{(b3)} = \tau_{01}l_1 + \tau_{02}l_2 + \tau_{03}l_3 + \tau_{04}l_4 + \tau_{05}l_5 + \tau_{0_{b1}}l_{b1} + \tau_{0_{b2}}l_{b2} + \tau_{0_{b3}}l_{b3},$$

$$t_{0(0)}^{(c4)} = \tau_{01}l_1 + \tau_{02}l_2 + \tau_{03}l_3 + \tau_{04}l_4 + \tau_{05}l_5 + \tau_{0_{c1}}l_{c1} + \tau_{0_{c2}}l_{c2} + \tau_{0_{c3}}l_{c3} + \tau_{0_{c4}}l_{c4},$$

где $t_{0(0)}^{(a4)}, t_{0(0)}^{(b3)}, t_{0(0)}^{(c4)}$ – вектора, состоящие из координат схвата манипулятора, τ_{0i} – матрица поворота из i -й системы координат в нулевую, l_i – длина i -го звена.

В блок «Управление схватом» подаются начальные ($X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma$) и желаемые ($X^*, Y^*, Z^*, \alpha^*, \beta^*, \gamma^*$) координаты трех пальцев. Далее управляющим компьютером выдаются 3 угловые и 3 линейные скорости для каждого из трех пальцев манипулятора.

Следующим шагом является получение желаемых координат шарниров.

В этих целях рассчитаем, а затем обернем якобиан:

$$J = \begin{bmatrix} C_1^{(0)} & C_2^{(0)} & C_3^{(0)} & C_4^{(0)} & C_5^{(0)} & C_{a1}^{(0)} & C_{a2}^{(0)} & C_{a3}^{(0)} & C_{a4}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ D_{a4_1}^{(0)} & D_{a4_2}^{(0)} & D_{a4_3}^{(0)} & D_{a4_4}^{(0)} & D_{a4_5}^{(0)} & D_{a4_a1}^{(0)} & D_{a4_a2}^{(0)} & D_{a4_a3}^{(0)} & D_{a4_a4}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_1^{(0)} & C_2^{(0)} & C_3^{(0)} & C_4^{(0)} & C_5^{(0)} & C_{b1}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & C_{b2}^{(0)} & C_{b3}^{(0)} & 0 & 0 & 0 \\ D_{b3_1}^{(0)} & D_{b3_2}^{(0)} & D_{b3_3}^{(0)} & D_{b3_4}^{(0)} & D_{b3_5}^{(0)} & D_{b3_b1}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & D_{b3_b2}^{(0)} & D_{b3_b3}^{(0)} & 0 & 0 & 0 \\ C_1^{(0)} & C_2^{(0)} & C_3^{(0)} & C_4^{(0)} & C_5^{(0)} & C_{c1}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{c2}^{(0)} & C_{c3}^{(0)} & C_{c4}^{(0)} \\ D_{c4_1}^{(0)} & D_{c4_2}^{(0)} & D_{c4_3}^{(0)} & D_{c4_4}^{(0)} & D_{c4_5}^{(0)} & D_{c4_c1}^{(0)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{c4_c2}^{(0)} & D_{c4_c3}^{(0)} & D_{c4_c4}^{(0)} \end{bmatrix},$$

где вектор $C_i^{(0)}$ – вектор проекции орта $Z_{j-1}^{(0)}$ на оси базовой системы координат,

вектор $D_{ij}^{(0)}$ – векторное произведение орта Z оси Z_{j-1} и вектора, связывающего начало системы координат $j-1$ с точкой на звене i .

Вектор $D_{ij}^{(0)}$ находим по формуле: $D_{ij}^{(0)} = \lambda(C_j^{(0)})R_{ij}^{(0)}$, где $\lambda(C_j^{(0)})$ – матрица(3x3) векторного произведения, которая находится в следующем виде:

$$\lambda(C) = \begin{pmatrix} 0 & -C_z & C_y \\ C_z & 0 & -C_x \\ -C_y & C_x & 0 \end{pmatrix}.$$

$R_{ij}^{(0)}$ – вектор, связывающий начало координат $j-1$ с точкой на звене с номером i .

Вектор $R_{ij}^{(0)}$ можно найти по формуле:

$$R_{ij}^{(0)} = \sum_{k=j}^i \tau_{0k} l_k.$$

Так как в результате у нас получился якобиан размером 18x14, то полагая нуль-пространство матрицы J пустым, воспользуемся псевдообращением матрицы:

$$J^{-1} = (J^T J)^{-1} J^T.$$

Вектор скоростей шарниров вычисляется путем умножения вектора декартовых скоростей на обращенный якобиан:

$$\begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \dot{q}_5 \\ \dot{q}_6 \\ \dot{q}_7 \\ \dot{q}_8 \\ \dot{q}_9 \\ \dot{q}_{10} \\ \dot{q}_{11} \\ \dot{q}_{12} \\ \dot{q}_{13} \\ \dot{q}_{14} \end{pmatrix} = J^{-1} \begin{pmatrix} \omega_{ax} \\ \omega_{ay} \\ \omega_{az} \\ V_{ax} \\ V_{ay} \\ V_{az} \\ \omega_{bx} \\ \omega_{by} \\ \omega_{bz} \\ V_{bx} \\ V_{by} \\ V_{bz} \\ \omega_{cx} \\ \omega_{cy} \\ \omega_{cz} \\ V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} \end{pmatrix},$$

где $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3, \dot{q}_4, \dot{q}_5, \dot{q}_6$ – скорости в шарнирах манипулятора до схвата, $\dot{q}_7, \dot{q}_8, \dot{q}_9$ – скорости в шарнирах пальца “а”, $\dot{q}_{10}, \dot{q}_{11}$ – скорости в шарнирах пальца “б”, $\dot{q}_{12}, \dot{q}_{13}, \dot{q}_{14}$ – скорости в шарнирах пальца “с”.

Интегрируя вычисленные скорости, получим желаемые углы шарниров, при которых система находится в состоянии предзахвата.

Данное исследование проводилось в среде для программирования и моделирования роботов ROS. На рисунке 3 видно начальное положение системы, на рисунке 4 показано положение, при котором все три пальца находятся в точках предзахвата.

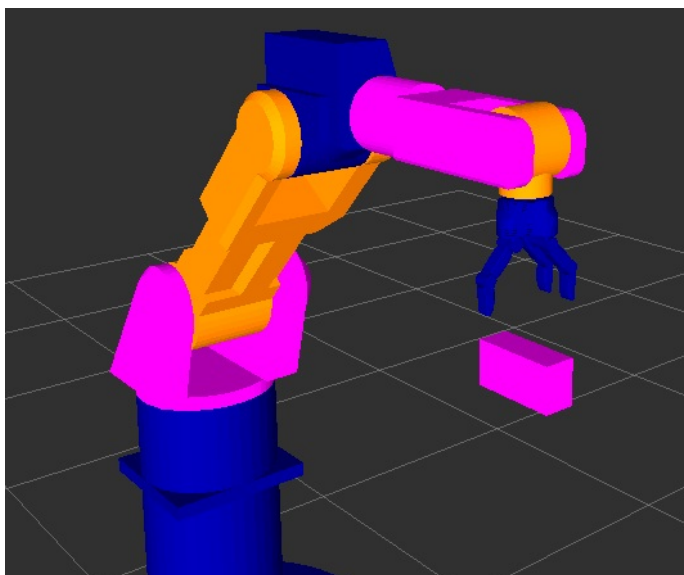


Рис. 3. Начальное положение робота

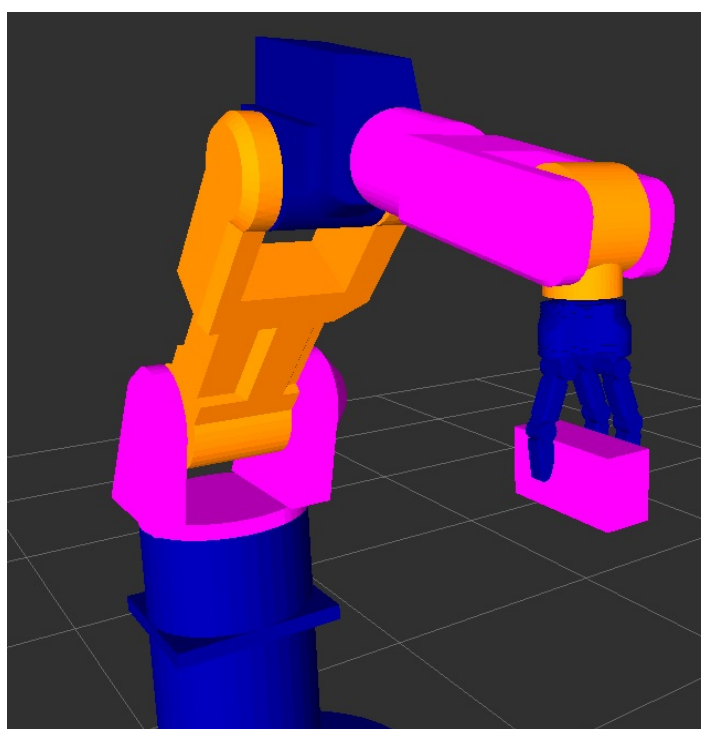


Рис. 4. Положение в состоянии предзахвата

Выводы

Особенностью метода является управление движением манипулятора как единой системой «кисть-рука». При этом планирование траекторий движения осуществляется одновременно и для пальцев кисти и для «руки» манипулятора. Лабораторные исследования показали работоспособность предложенного алгоритма управления, главным плюсом которого является увеличение быстродействия, но также выявили и

недостатки, связанные со сложной формой объекта, где управление движением единой системой «кисть-рука» является невозможным.

Список литературы

1. Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. М.: Наука, 1978. 416с.
2. Лесков А.Г., Морошкин С.Д. Исследование динамики системы управления манипуляционными роботами двустороннего действия // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. № 2. 2013. С. 66–78.
3. Лесков А.Г., Калеватых И.А. Экспериментальные исследования алгоритмов управления связанным движением двурукого манипуляционного робота // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. № 4. 2012. С. 33–43.
4. Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А., Морошкин С.Д., Бажинова К.В., Феоктистова Е.В. Аппаратно-программный комплекс для решения задач автоматического захвата объекта манипуляторами // Инженерный журнал: наука и инновации, Электрон. журн. 2015. Вып. 1(37). Режим доступа:
<http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/1361.html> (дата обращения 01.05.2015).