

Управление сдвоенным манипулятором на подвижном основании

Орлов Игорь Викторович

НИУ «МЭИ»

Доцент

Аннотация

Построены уравнения движения двух манипуляторов в цилиндрической системе координат на общем подвижном основании. Алгоритм построения управлений для каждого манипулятора заключается в том, что программные движения схвата каждого манипулятора, рассматриваются как кинематические связи, реакции которых представлены в уравнениях Аппеля с помощью неопределённых множителей. Отыскание этих множителей необходимо для определения управляющих воздействий. Рассмотрена возможность совместного движения манипуляторов, для реализации поступательного движения перемещаемого тела.

Ключевые слова: неголономные связи, уравнения Аппеля, неопределенные множители, сдвоенный манипулятор.

Dual manipulator control on a moving base

Orlov Igor Viktorovich

NRU «MPEI»

associate professor

Abstract

The equations of motion of two manipulators in a cylindrical coordinate system on a common movable base are constructed. Algorithm for the construction of offices for each of the manipulator is that software the movement of the gripper each manipulator are considered as kinematic constraints, the reaction of which is presented in the Appel equations with undetermined multipliers. Finding these factors is necessary to determine the control actions. The possibility of joint movement of manipulators for the implementation of translational motion of the moving body is considered.

Keywords: nonholonomic restrictions, equations Appel, indeterminate multipliers, a dual manipulator.

Вопросы применения и управления мобильными манипуляторами в различных ситуациях представляют интерес для исследований. Обычно рассматриваются конструкции, в которых на подвижном основании установлен один манипулятор, работающий в той или иной системе координат. Если на платформе установлено два манипулятора, уравнения движения и управления для каждого манипулятора с учетом движения

основания строятся по методике, подробно рассмотренной в работах [1, 2, 3, 4, 5]. Также определенный интерес представляют два манипулятора на неподвижных основаниях взаимодействующие между собой [6].

Исследования устройств на подвижном основании осложняются большим числом степеней свободы, высоким порядком и громоздкостью системы уравнений [7]. Кроме того, при функционировании мобильного манипулятора в автономном режиме возникает необходимость минимизации энергетических затрат. В случае, когда колеса платформы мобильного манипулятора не проскальзывают, рассматриваемая механическая система является неголономной. Исследование подобных систем представляет определенный интерес [4, 5]. В данной работе рассматривается система, состоящая из двух манипуляторов, на общем подвижном основании.

1. Модель сдвоенного мобильного манипулятора

Рассматриваемый робот с двумя манипуляторами на общем подвижном шасси моделируется в предположении, что все элементы конструкции абсолютно твёрдые тела (см. рисунок 1). Предполагается, что движение платформы *1* осуществляется по горизонтальной плоскости. Ведущие колёса *6* и *7* с независимым электроприводом (двигатели на рисунке не показаны) катятся без проскальзывания; колесо *8* пассивное роляльное.

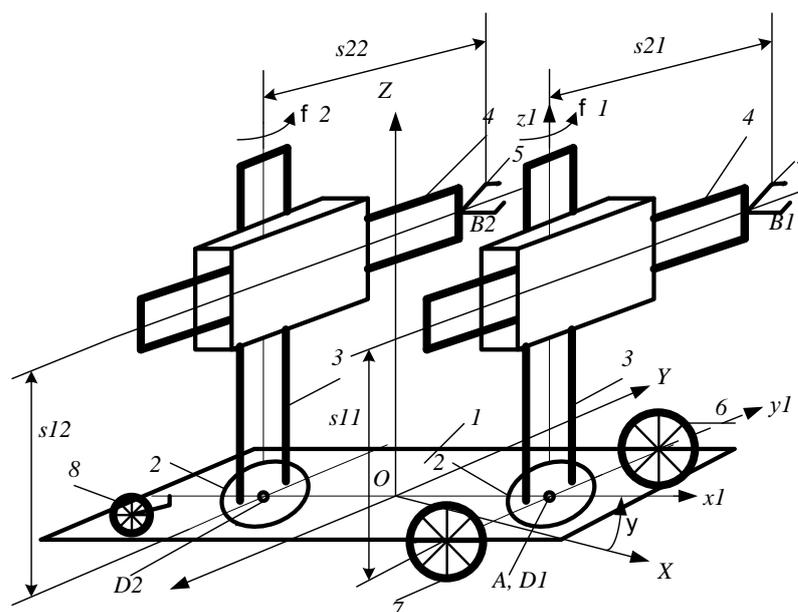


Рисунок 1 - Два манипулятора на подвижном основании

На платформе располагается два манипулятора, имеющие по одной угловой и две поступательные степени свободы. Вертикальные оси, относительно которых вращается основание каждого манипулятора, проходят через точки D_1 , D_2 . Штанга *4* каждого манипулятора, на которой закреплён схват *5*, перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях относительно вертикальной стойки *3*, жестко соединённой с вращающимся основанием *2*.

Введём подвижную прямоугольную систему координат $Ax_1y_1z_1$, связанную с платформой (см. рисунок 1), точка A — середина отрезка, соединяющего центры ведущих колес; расположим ось Ay_1 вдоль указанного отрезка, ось Ax_1 — вдоль продольной оси платформы, ось Az_1 параллельна вертикальной оси неподвижной системы координат $OXYZ$. Центр масс C платформы и точки D_1 и D_2 находится оси Ax_1 , причём их абсциссы равны $x_{1C} = -a_1$, $x_{D1} = 0$ и $x_{D2} = -a_{D2}$, соответственно.

Управляющими воздействиями служат:

$M_{\partial\epsilon 1}$, $M_{\partial\epsilon 2}$ — моменты, развиваемые электроприводами колёс 6 и 7;

$M_{осн1}$, $M_{осн2}$ — моменты, развиваемые приводами вращения оснований 2 относительно платформы 1;

F_{11} , F_{12} , F_{21} , F_{22} — усилия, развиваемые приводами линейных перемещений штанг каждого манипулятора (соответственно, подъёма и выдвигания).

Для определения положения робота введём девятимерный вектор обобщённых координат $\mathbf{q} = (x \ y \ \psi \ \varphi_1 \ \varphi_2 \ s_{11} \ s_{12} \ s_{21} \ s_{22})^T$, где T — символ транспонирования,

x, y — абсцисса и ордината точки A в неподвижной системе отсчёта $OXYZ$;

ψ — курсовой угол платформы (угол между осями OX и Ax_1);

φ_1, φ_2 — углы поворота оснований манипуляторов относительно платформы;

s_{11}, s_{12} — вертикальные перемещения штанг;

s_{21}, s_{22} — выносы схватов в горизонтальном направлении.

Координаты точек B_1, B_2 центров схватов (см. рисунок 2) определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} x_{B_1} &= x - a_2 \cos \psi + s_{12} \cos(\psi + \varphi_1), \\ y_{B_1} &= y - a_2 \sin \psi + s_{12} \sin(\psi + \varphi_1), \\ z_{B_1} &= s_{11}, \\ x_{B_2} &= x - a_3 \cos \psi + s_{22} \cos(\psi + \varphi_2), \\ y_{B_2} &= y - a_3 \sin \psi + s_{22} \sin(\psi + \varphi_2), \\ z_{B_2} &= s_{21}. \end{aligned} \tag{1}$$

Условие отсутствия проскальзывания колес, заключается в равенстве нулю проекции скорости точки A на ось Ay_1 и определяет неголономную связь следующим равенством:

$$-\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0 \tag{2}$$

Введем в рассмотрение вектор псевдоскоростей (квазискоростей), учитывая равенство $V = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi$ - проекция скорости точки A на ось Ax_1 . Принимая во внимание (2), выпишем кинематические уравнения, устанавливающие связь между обобщенными скоростями и псевдоскоростями:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \psi, & \dot{s}_{11} &= V_{S11}, & \dot{s}_{12} &= V_{S12}, \\ \dot{y} &= V \sin \psi, & \dot{s}_{21} &= V_{S21}, & \dot{s}_{22} &= V_{S22}, \\ \dot{\psi} &= \Omega_{\psi}, & \dot{\phi}_1 &= \Omega_{\phi1}, & \dot{\phi}_2 &= \Omega_{\phi2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для описания динамики мобильного манипулятора используем уравнения Аппеля, которые в матричной форме [2] имеют вид

$$\left(\frac{\partial S}{\partial \dot{\pi}} \right)^T = \mathbf{P}. \quad (4)$$

Здесь используется операция дифференцирования скалярной функции Аппеля S по вектору псевдоускорений

$$\dot{\pi} = \left(\dot{V} \quad \dot{\Omega}_{\psi} \quad \dot{V}_{S11} \quad \dot{V}_{S12} \quad \dot{V}_{S21} \quad \dot{V}_{S22} \quad \dot{\Omega}_{\phi1} \quad \dot{\Omega}_{\phi2} \right)^T,$$

$\mathbf{P} = \left(\Pi_V \quad \Pi_{\psi} \quad \Pi_{S11} \quad \Pi_{S12} \quad \Pi_{S21} \quad \Pi_{S22} \quad \Pi_{\phi1} \quad \Pi_{\phi2} \right)^T$ - вектор обобщенных сил.

Функция Аппеля будет иметь вид:

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \left\{ m_1 \left[\left(\dot{V} + a_1 \dot{\Omega}_{\psi} \right)^2 + \left(a_1 \dot{\Omega}_{\psi}^2 - V \Omega_{\psi} \right)^2 + \rho_C^2 \dot{\Omega}_{\psi}^2 \right] \right\} + \\ &+ \frac{1}{2} \left\{ m_2 \mathbf{w}_{B_1}^2 (\dot{\pi}, \pi, \mathbf{q}) + m_3 \mathbf{w}_{B_2}^2 (\dot{\pi}, \pi, \mathbf{q}) \right\}, \end{aligned} \quad (5)$$

где m_1, m_2, m_3 - массы платформы и схватов (остальные элементы конструкции считаем невесомыми), ρ_C - радиус инерции платформы относительно вертикальной оси, проходящей через её центр масс C , $\mathbf{w}_{B_1}^2 (\dot{\pi}, \pi, \mathbf{q})$, $\mathbf{w}_{B_2}^2 (\dot{\pi}, \pi, \mathbf{q})$ - квадраты абсолютных ускорений схватов манипуляторов.

С учетом веса схватов компоненты вектора обобщенных сил в (4) определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \Pi_V &= \frac{1}{r} (M_{\partial \epsilon 1} + M_{\partial \epsilon 2}), \quad \Pi_{\psi} = \frac{l}{r} (M_{\partial \epsilon 1} - M_{\partial \epsilon 2}), \\ \Pi_{S11} &= F_{11} - m_2 g, \quad \Pi_{S12} = F_{12}, \quad \Pi_{\phi1} = M_{\text{осн1}}, \\ \Pi_{S21} &= F_{21} - m_3 g, \quad \Pi_{S22} = F_{22}, \quad \Pi_{\phi2} = M_{\text{осн2}} \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь r - радиус ведущих колес, l - половина расстояния между центрами ведущих колес платформы, g - ускорение свободного падения.

После выполнения всех необходимых преобразований уравнения (4) примут вид [1].

$$\mathbf{A}(\mathbf{q})\dot{\boldsymbol{\pi}} + \mathbf{f}(\boldsymbol{\pi}, \mathbf{q}) = \mathbf{\Pi} \quad (7)$$

где $\mathbf{A}(\mathbf{q})$ — положительно определённая матрица, $\mathbf{f}(\boldsymbol{\pi}, \mathbf{q})$ — столбец нелинейных слагаемых, представляющих собой квадратичные формы от псевдоскоростей.

Система уравнений (3), (7), (6) описывает движение мобильных манипуляторов на общем подвижном основании. Условия «неопрокидываемости» (положительные вертикальные составляющие реакций колес платформы) не выписываются, но при движения устройства считаются выполненными. Также не рассматривается вопрос о пересечении рабочих областей манипуляторов, т.к. в работе строятся управления для манипуляторов не приводящие к взаимным конфликтам.

Вопросы об учете ограничений на вынос схвата манипулятора, вертикальное перемещение и угол поворота относительно платформы, приводящие к ограничениям:

$$\begin{aligned} s_{12}^{\min} \leq s_{12} \leq s_{12}^{\max}, \quad s_{11}^{\min} \leq s_{11} \leq s_{11}^{\max}, \\ s_{22}^{\min} \leq s_{22} \leq s_{22}^{\max}, \quad s_{21}^{\min} \leq s_{21} \leq s_{21}^{\max}, \\ \varphi_1^{\min} \leq \varphi_1 \leq \varphi_1^{\max}, \quad \varphi_2^{\min} \leq \varphi_2 \leq \varphi_2^{\max} \end{aligned} \quad (8)$$

рассматриваются в работе [2].

2. Решение обратной задачи динамики мобильного манипулятора

Предположим, что с помощью двух манипуляторов, установленных на общем подвижном основании необходимо обеспечить поступательное движение тела удерживаемого схватами манипуляторов (предполагается, что схваты за счет шарнирных соединений, имеют некоторую подвижность относительно горизонтальных звеньев манипуляторов), тогда задаем закон движения, например, первого схвата B_1

$$\mathbf{r}_{B_1} = \mathbf{r}_{B_1}(t) \quad (9)$$

где $\mathbf{r}_{B_1}(t) = (x_{B_1}(t) \ y_{B_1}(t) \ z_{B_1}(t))^T$ - известная векторная функция времени. Требуется определить управляющие воздействия $M_{\delta\delta 1}(t)$, $M_{\delta\delta 2}(t)$, $M_{осн1}(t)$, $F_{11}(t)$ и $F_{12}(t)$, под действием которых будет реализован заданный закон движения схвата первого манипулятора (9). Поскольку необходимо обеспечить поступательное движение перемещаемого тела, то закон движения схвата B_2 должен быть аналогичным, поэтому управляющие воздействия для него должны совпадать с аналогичными воздействиями для первого схвата:

$$M_{осн2} = M_{осн1}(t), \quad F_{21} = F_{11}(t), \quad F_{22} = F_{12}(t).$$

Процедура определения указанных воздействий подробно описана в работах [1, 2]. Аналогично можно определить управляющие воздействия,

обеспечивающие движение второго схвата по заданному закону, а потом использовать их для реализации движения первого схвата.

Библиографический список

1. Мартыненко Ю.Г., Орлов И.В. Алгоритмы управления мобильным манипулятором // Материалы научной школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы» Москва, Россия 2 – 3 декабря 2002 г. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. С. 142-155.
2. Адамов Б.И., Орлов И.В. Управление мобильным манипулятором, работающим в цилиндрической системе координат // Вестник Московского энергетического института. № 1. С. 28-35
3. Адамов Б.И., Орлов И.В. Решение обратной задачи динамики мобильного манипулятора методом неопределённых множителей // Материалы международной молодежной научно-практической конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы», Изд-во Моск. ун-та М, 2011 г., С. 14-18
4. Мартыненко Ю.Г. Матричная форма уравнений неголономной механики. Сборник научно-методических статей. Теор. механика: Под редакцией академика РАН К.С. Колесникова. М.: Изд-во МГУ, 2000. Вып. 23. С. 9-21.
5. Зацепин М.Ф., Мартыненко Ю.Г., Тиньков Д.В. Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов. М.:Изд. МЭИ, 2005 г.
6. Ahmed Omar, Pan Ri, Yajun Zhang Control Algorithm Trajectory Planning for Dual Cooperative Manipulators with Experimental Verification // MATEC Web of Conferences , ICMIE. 2016 5, 1-5.
7. Freddi A., Longhi S., Monteriu A., Ortenzi D. Redundancy analysis of cooperative dual-arm manipulators // International Journal of Advanced Robotic Systems, 2016, 1–14.