УДК 681.51.011

О задачах управления роботами-манипуляторами в условиях неполноты информации

В.И. Ширяев, А.А. Брагина
Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Челябинск
vis@prima.susu.ac.ru

Работа посвящена разработке алгоритма управления движением манипуляционного робота (МР) в точку программной траектории прямым методом Ляпунова. Рассмотрен один из подходов к решению задачи управления МР в условиях неопределенности.

Ключевые слова: робот-манипулятор, управление, условия неопределенности, прямой метод Ляпунова.

Динамическая модель многозвенного МР с распределенными массами звеньев получена в форме уравнений Лагранжа-Максвелла. Функция Ляпунова построена в фазовом пространстве переменных динамической системы как связка интегралов ее возмущенного движения. Синтезирован алгоритм управления динамической системой, обеспечивающий ее устойчивость и асимптотическое убывание ошибки управления [1].

При анализе построенного закона управления учтено, что в процессе убывания ошибка управления может принимать достаточно большие значения. Кроме того, при функционировании МР наряду с внешними возмущениями, вызванными непредсказуемым изменением моментов нагрузки на выходных валах приводов, воздействием сил сухого и вязкого трения, усилением дестабилизирующего влияния подсистем, присутствуют возмущения, обусловленные ошибками измерения составляющих вектора состояния системы, ухудшающие качество управления. Способность МР функционировать в различных средах [3] зачастую не позволяет получить полные данные, характеризующие его работу. Поскольку невозможно построить достаточно точную математическую модель внешних возмущений и ошибок измерения, они представлены как некоторые функции, значения которых поддаются ограничениям в каждом конкретном случае. Получение аналитических оценок качества управления динамической системой при заданном уровне возмущений непосредственно связано с задачей оценивания ее вектора состояния [2]. Рассмотрен алгоритм оценивания параметров системы при ее функционировании в условиях неполноты информации. Предложена схема построения информационного множества, гарантированно содержащего вектор состояния системы при действии возмущений в реальном времени. Проведен переход от нелинейных уравнений, описывающих динамику МР, к разностным дифференциальным уравнениям в пространстве состояний [4], линеаризованным в окрестности точки программной траектории

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + \Gamma_k w_k + C_k \xi_k \;, \quad k = 0,1,\ldots,N-1. \qquad (1)$$

Так как данные измерений вектора состояния x_k системы (1) содержат ошибки, при формировании обратной связи использован не вектор состояния, а функция измерений y_k - выходная функция информационной системы, описываемой уравнением

$$y_{k+1} = G_{k+1} x_{k+1} + H_{k+1} v_{k+1} + \eta_{k+1}, \quad k = 0,1,\ldots,N-1 \;, \qquad (2)$$

где x_k, u_k, w_k - векторы состояния системы, управления, и неопределенных детерминированных воздействий на систему, соответственно, v_k - вектор ошибок измерений. Векторы $w_k \in W, v_k \in V$ заранее неизвестны, имеется информация лишь о замкнутых, ограниченных, выпуклых множествах W и V. В моменты времени t_k, $k = 0,\ldots,N$ с помощью информационной системы (2) осуществляется измерение вектора состояния x_k с ошибками. Здесь ξ_k, η_k - независимые гауссовские последовательности с положительно определенными матрицами ковариаций Q_k, R_k и нулевыми математическими ожиданиями $M\xi_k = 0$, $M\eta_k = 0$. Матрицы $A_k, B_k, C_k, \Gamma_k, G_k, H_k$ соответствующей размерности будем считать известными, а систему (1), (2) управляемой и наблюдаемой. Начальное состояние $x_0 = x_{co} + x_{no}$ системы (1) - гауссовский n - вектор, не зависящий от ξ_k, η_k, с известной положительно определенной матрицей ковариаций, но с неизвестным заранее средним значением $x_{n0} = Mx_0 \in X_0$, где X_0 - известный выпуклый компакт.

Для данных условий на каждом k-том шаге функционирования системы (1), (2) необходимо найти оценку x_k^* вектора x_k по совокупности измерений $y_k(\cdot) = \{y_1, ..., y_k\}$.

Гарантированное оценивание состояния динамической системы состоит в построении последовательности информационных множеств $\bar{X}_k$:
$$\bar{X}_k = X_{k/k-1} + \Lambda_k(y_k - G_k X_{k/k-1} - H_k V_k), \quad (3)$$
где $X_{k/k-1} = A_{k-1}\bar{X}_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1} + \Gamma_{k-1}W_{k-1}, k = 1, 2, ..., N$ - множество прогнозов, $\Lambda_k = P_k G_k^T R_k^{-1}$ - коэффициент усиления фильтра Калмана. За оценку x_k^* принимается чебышевский центр информационного множества $\bar{X}_k$, сумма множеств в (3) рассматривается в смысле Минковского [2].

Так как в интервале между моментами времени t_k и t_{k+1} надо найти сумму множеств $\bar{A}_k\bar{X}_k + \Gamma_k W_k$, при поступлении результатов измерения y_{k+1} следует построить множество $\bar{X}_{k+1}$, а затем получить оценку x_{k+1}^*. Приведем (3) к виду, удобному для расчетов в реальном времени. Для симметричных множеств $\bar{X}_0, W_k, V_{k+1}, k = 0, 1, ..., N$, с учетом обозначений $\bar{A}_{k-1} = (I - \Lambda_k G_k)A_{k-1}$, $\bar{\Gamma}_{k-1} = (I - \Lambda_k G_k)\Gamma_{k-1}$, получим уравнения эволюции множеств $\bar{X}_k$ и оценок x_k^*:
$$\bar{X}_k = \bar{A}_k X_{k-1} + B_k u_k + \Gamma_{k-1}W_{k-1} + \Lambda_k(y_k - H_k V_k), \quad (4)$$
$$x^*_k = \bar{A}_{k-1}x^*_{k-1} + B_k u_k + \bar{\Gamma}_{k-1}w_{k-1} + \Lambda_k(y_k - Hv_k), \quad (5)$$
или

$$\bar{x}_k = \breve{x}_k + z_k, \quad k = 1, 2, \ldots, N, \tag{6}$$

$$\breve{x}_k = \bar{A}_{k-1}\breve{x}_{k-1} + \bar{\Gamma}_{k-1}w_{k-1} + \Lambda_k H_k(-v_k), \qquad k = 1, 2, \ldots, N,$$

$\breve{x}_0 = \bar{x}_0$, а множество $\breve{X}_k$, построено по априорным данным,

$$x^*_k = \breve{x}_k + z_k, k = 1, 2, \ldots, N, \tag{7}$$

$$\breve{x}_k = \bar{A}_{k-1}\breve{x}_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1}, \ k = 1, 2, \ldots, N, \ x_0^* = \bar{x}_0,$$

$$z_k = \bar{A}_{k-1}z_{k-1} + \Lambda_k y_k, \ k = 1, 2, \ldots, N, \ z_0 = 0,$$

где z_k - вектор, вычисляемый по результатам измерений y_k, Λ_k - коэффициент усиления фильтра Калмана, $\bar{A}_{k-1}$, $\bar{\Gamma}_{k-1}$ -матрицы, которые могут быть вычислены заранее.

Предложенный алгоритм управления обеспечивает величину отклонений составляющих вектора состояния системы от заданных значений в пределах, допустимых для качественной работы МР. Решение задачи построения информационных множеств для реализации алгоритмов оценивания вектора состояния системы в реальном времени при действии на систему разного рода возмущений приводит к уменьшению неопределенности и позволяет повысить оптимальность синтезированного управления.

Библиографический список

1. Ширяев В.И, Брагина А.А. Синтез алгоритма сигнальной адаптивной стабилизации манипуляционного робота с электроприводами. Тр. Междунар. конф. с элементами научной школы для молодежи. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. –С.219-227.

2. Ширяев В.И. Задачи управления динамическими системами при неполной информации //Мехатроника, 2001, №8. –С.2-5.

3. Лопота А.В., Юдин В.И., Юревич Е.И. Исследования и разработки ЦНИИ РТК по экстремальной робототехнике //Сб. докл. Междунар. научн.-техн. конф. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. –С.21-25.

4. Еругин Н.П., Штокало И.З., Бондаренко П.С. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений. – Киев: Изд-во «Вища школа», 1974. 472с.

УДК 681.51.011

About problems of control of robots manipulators in the conditions of incompleteness of information

V. I. Shiryaev, A.A. Bragina

South Ural State University
vis@prima.susu.ac.ru

Work is devoted to development of algorithm of movement control of the handling robot (HR) in a point of a program trajectory by a direct method of Lyapunov. One of approaches to the solution of the HR control problem in the conditions of uncertainty is considered.

Keywords: handling robot, control, uncertainty conditions, direct method of Lyapunov.

References

1. Shiryaev V. I., Bragina A.A. Sintez algoritma signal’noy adaptivnoi stabilizatsii manipulyatsionnogo robota s elektroprivodami. Mat. mezhdunar. konf. [Synthesis of Algorithm of Alarm Adaptive Stabilization of the Handling Robot with Electric Drives]. Proc. of Int. conf., S.-Pb., Polyequipment Service Publ. House, 2010, pp. 219-227.
2. Shiryaev V. I. [Problems of Control of Dynamic Systems at Incomplete Information]. *Mechatronics*, , 2001, № 8, pp 2-5. (in Russ.)
3. Shovel A.V., Yudin V. I., Yurevich E.I. Issledovaniya i razrabotki TsNII PTK po ekstremal’noy robototechniki. Sbornik dokladov mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf. [Researches and Development of Central Research Institute RTK on an Extreme Robotics. Proc. of Int. Sc.-techn. Conf.]. Polyequipment Service Publ. House, 2010, pp. 21-25.
4. Erugin N. P., Shtokalo I.Z., Bondarenko P. S. *Kurs obyknovennykh differentsial’nykh uravneniy* [Course of the Ordinary Differential Equations]. Kiev, Publ. house "Vishcha school”, 1974. 472 p.