

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Ларкин Е. В.,
профессор,
Акименко Т. А.,
доцент,
Стручев Д. А.,
аспирант

Тульский государственный университет, г. Тула

Представленная методика синтеза систем цифрового управления многоконтурными объектами применена для решения задачи управления группой мобильных роботов, построенных в колонну.

Ключевые слова: система управления, мобильный робот, задержка по времени, переходный процесс.

TESTING OF OBJECTS WITH A THERMAL IMAGING SURVEILLANCE SYSTEM

The presented technique for the synthesis of digital control systems for multiloop objects is applied to solve the problem of controlling a group of mobile robots built in a column.

Keywords: control system, mobile robot, time delay, transient.

Мобильные роботы (МР) в настоящее время широко используются в различных областях человеческой деятельности, таких как промышленность, антитеррористическая деятельность, ликвидация последствий техногенных аварий и природных катастроф, военное дело и т. п. Типовой мобильный робот представляет собой дистанционно управляемое или функционирующее по программе транспортное средство (наземное, воздушное, надводное, подводное), несущее на себе оборудование для сбора информации об окружающей среде и воздействия на окружающую среду.

Сложность выполняемых задач предполагает использование в структуре МР специально организованной системы управления, обладающей широкими возможностями по анализу данных, поступающих от внешней среды и бортового оборудования, а также по принятию и исполнению управленческих решений. К таковым относятся системы управления, реализованные на базе бортовой ЭВМ и/или распределенной по МР сети микропроцессорных контроллеров.

Групповое применение МР имеет значительные преимущества [1–3], по сравнению с применением одиночных роботов вследствие повышения надежности при решении целевых задач. Одним из возможных принципов организации группового движения является построение МР в колонну, по принципу «ведущий/ведомый», при котором темп движения колонны задается головным роботом, а оставшиеся наземные транспортные средства (НТС) выдерживают расстояние до предыдущего [2; 3].

Структурная схема управления группой мобильных роботов (ГМР), построенная по принципу «ведущий/ведомый», включает головную машину (HR) и N ведомых машин (DR_i), каждая НТС включает собственно робота и встроенную систему управления ($CS_0, CS_1, \dots, CS_n$).

Матричные уравнения, описывающие группу МР имеют вид

$$\begin{cases} \mathbf{V}(s) = \Phi_u(s) \cdot \mathbf{U}(s) + \Phi_r(s) \cdot \mathbf{R}(s); \\ \mathbf{Y}(s) = \Phi_0(s) \cdot \mathbf{V}(s), \end{cases} \quad (1)$$

где $\mathbf{V}(s) = [V_0(s), \dots, V_n(s), \dots, V_N(s)]^\theta$ — вектор скоростей; $\mathbf{U}(s) = [U_0(s), \dots, U_n(s), \dots, U_N(s)]^\theta$ — вектор управляющих воздействий; $\mathbf{R}(s) = [R_0(s), \dots, R_n(s), \dots, R_N(s)]^\theta$ — вектор сил сопротивления движению; $\mathbf{Y}(s) = [-V_0(s), X_0(s) - X_1(s), \dots, X_{n-1}(s) - X_n(s), \dots, X_{N-1}(s) - X_N(s)]$ — вектор сигналов обратной связи; θ — знак транспонирования.

Расчет управляющих воздействий в n -м МР сводится к решению конечно-разностного уравнения [4]:

$$U_{c,k}(s) = \Phi_{f,k}(s) \cdot F_k(s) + \Phi_{c,y,k}(s) Y_{c,k}(s) \quad (2)$$

или матричного уравнения

$$\mathbf{U}_c(s) = \Phi_f(s) \cdot \mathbf{F}(s) + \Phi_{c,y}(s) \cdot \mathbf{Y}_c(s), \quad (3)$$

где $\mathbf{U}_c(s) = [U_{c,0}(s), \dots, U_{c,n}(s), \dots, U_{c,N}(s)]^\theta$ — вектор воздействий, рассчитываемый контроллером; $\mathbf{F}(s) = [F_0(s), \dots, F_n(s), \dots, F_N(s)]^\theta$ — вектор желаемых параметров движения; $\mathbf{Y}_c(s) = [Y_{c,0}(s), \dots, Y_{c,n}(s), \dots, Y_{c,N}(s)]^\theta$ — вектор обратных связей; $\Phi_f(s) = [\Phi_{f,n,l}(s)]$ и $\Phi_{c,y}(s) = [\Phi_{c,y,n,l}(s)]$ — диагональные матрицы, в которых $\Phi_{f,n,N}(s) = \Phi_{f,n}(s)$, $\Phi_{c,y,n,N}(s) = \Phi_{c,y,n}(s)$, а остальные элементы равны нулю.

Контроллеры $CS_0, CS_1, \dots, CS_n, \dots, CS_N$ фон-неймановского типа реализуют полинг-процедуру, разворачивающуюся в реальном времени. Таким образом, при расчете управляющих воздействий возникает задержка между вводом сигнала обратной связи и выводом сигнала управления. Уравнение замкнутой системы, которое описывает динамику поддержания параметров движения группы мобильных роботов, имеет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}(s) = & \left[\mathbf{E} - \Phi_0(s) \cdot \Phi_u(s) \Phi_{c,y}(s) \cdot \mathbf{N}(s) \right]^{-1} \times \\ & \times \Phi_0(s) \cdot \Phi_u(s) \Phi_f(s) \cdot \mathbf{F}(s) + \Phi_0(s) \cdot \Phi_r(s) \cdot \mathbf{R}(s) \end{aligned} \quad (4)$$

где $\mathbf{E}$ — единичная диагональная матрица; $\mathbf{N}(s) = [N_{kl}(s)]$ — диагональная матрица фон-неймановского типа.

Перерегулирование и время регулирования зависят от характеристического уравнения, которое принимает вид:

— для системы с учетом задержек

$$\left| \mathbf{E} - \Phi_0(s) \cdot \Phi_u(s) \Phi_{c,y}(s) \cdot \mathbf{N}(s) \right| = 0; \quad (5)$$

— для системы, в которой задержки не учтены, или являются пренебрежимо малыми

$$\left| \mathbf{E} - \Phi_0(s) \cdot \Phi_u(s) \Phi_{c,y}(s) \right| = 0. \quad (6)$$

Характеристические уравнения (5), (6) отличаются только наличием матрицы задержек, но это отличие является существенным, так как в нем появляется комплексная экспонента, которая уменьшает запас по фазе в контуре управления и, следовательно, увеличивает перерегулирование и время выхода на установившийся режим движения группы мобильных роботов [5; 6].

При практической реализации процесса управления в CS_N для расчета $U_{c,n}(s)$ по введенному $Y_n(s)$ организуется процедура полинга, которая может быть описана как эргодический полумарковский процесс [4; 8].

Данный метод был протестирован на примере групп мобильных роботов: первая состоит из одного ведущего и двух ведомых МР (рис. 1а) и вторая из одного ведущего и одного ведомого МР (рис. 1б).

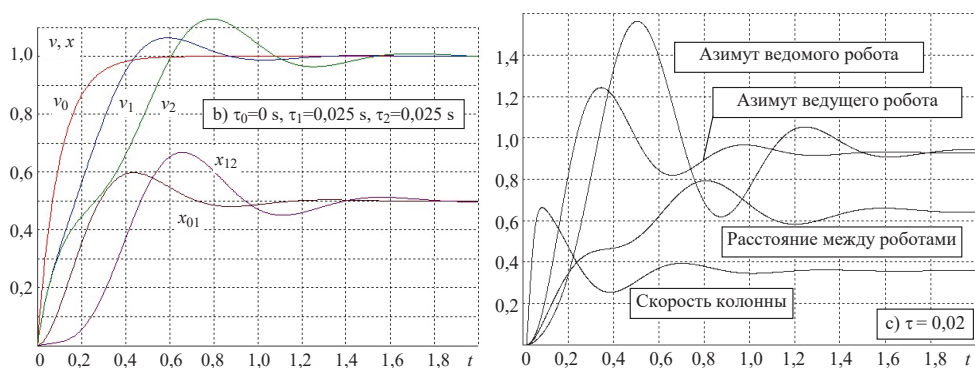


Рис. 1. Движение группы мобильных роботов

На графиках показан переходный процесс $v_0(t)$, при $\tau_0 = 0$, как некоторый опорный сигнал. После затухания переходного процесса скорости движения МР выравниваются, а расстояние между МР стремятся к желаемой величине.

Список литературы

1. *Chun Yan Yu, Ming Hui Wu, Xiao Sheng He*. Wehicle swarm motion coordination through independent local-reactive agents // *Advanced Materials research*. Vol. 108–111. Ed. by Yanween Wu. 2010. P. 619–624.
2. *Morcom J.* Optical distance measurement. US Patent No. 6753950, June 22, 2004, US CI. 356/4.01, Int. CI. G01S 17/00; G01C 3/08.
3. Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement / M. Aman et al. // *Optical Engineering*. 2001. Vol. 40, № 1. P. 10–19.
4. Управление движением колонны мобильных роботов / Е. В. Ларкин, Т. А. Акименко, Т. Р. Кузнецова и др. // *Изв. ТулГУ. Сер. Технические науки*. 2022. № 2 С. 50–57.
5. *Zhang X. M., Min W. U., Yong H. E.* Delay dependent robust control for linear systems with multiple time-varying delays and uncertainties // *Control & Decision*. 2004. Vol. 19, № 5. P. 496–500.
6. Robust predictive extended state observer for a class of nonlinear systems with time-varying input delay / R. Sanz, P. García, P. Albertos et al. // *International Journal of Control*. 2020. Vol. 93, № 2. P. 217–225.
7. *Janssen J., Manca R.* Applied Semi-Markov processes. Springer US, 2006. 310 p.