

И. Ш. Н а с и б у л л а е в (Уфа, ИМех УФИЦ РАН). Алгоритм движения модулей колесного робота на плоскости.

УДК 004.942+007.52

Резюме: Представлен алгоритм второго порядка для определения траектории перемещения ведомых модулей колесного робота. Определена зависимость величины отклонения траекторий ведомых модулей от параметров траектории ведущего модуля.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, модульный колесный робот.

Существующие типы трубных роботов в основном предназначены для инспекции труб большого диаметра или горизонтальных участков трубы [1]. В настоящей работе представлен первый этап разработки робота для инспекции труб произвольного диаметра — движение модульного колесного робота вдоль нижней части трубы. Робот состоит из n последовательно соединенных с помощью шаровых шарниров модулей с координатами геометрических центров (ГЦ) модулей $(x_{j,i}, y_{j,i})$, где $j = 1, \dots, n$, а i — номер шага по времени (рис. 1 а).

Ведущий модуль движется по траектории с радиусом кривизны R . Движение каждого ведомого модуля определяется движением предыдущего. В первом алгоритме (TR, рис. 1 б) после перемещения модуля $j - 1$ модуль j в начале должен переместиться на величину $L_{j,i}$ вдоль своего направления движения $\beta_{j,i-1}$. Эта величина определяется уравнением связи (расстояние от ГЦ модуля $j - 1$ до центра шарнира модуля j равно величине выноса шарнира L_b):

$$\begin{aligned} (\Delta x_{j,i} - L_{j,i} \cos \beta_{j,i-1})^2 + (\Delta y_{j,i} - L_{j,i} \sin \beta_{j,i-1})^2 &= L_b^2, \\ \Delta x_{j,i} &= x_{j-1,i} - x_{j,i-1} - L_b \cos \beta_{j-1,i}, \quad \Delta y_{j,i} = y_{j-1,i} - y_{j,i-1} - L_b \sin \beta_{j-1,i}. \end{aligned} \quad (1)$$

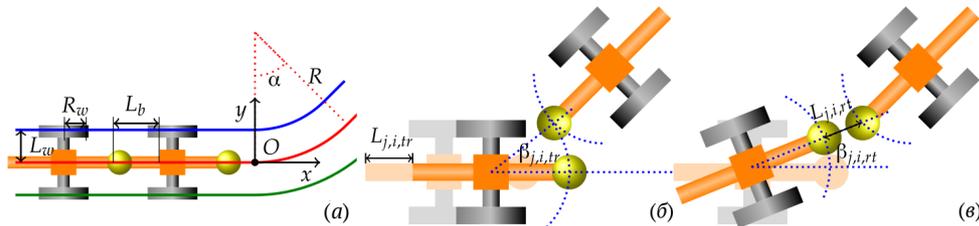


Рис. Схема перемещения робота: геометрия робота и траектория движения ведущего модуля (а); алгоритмы перемещения ведомого модуля TR (б) и RT (в)

Уравнение связи (1) имеет следующее решение:

$$\begin{aligned} L_{j,i} &= \Delta x_{j,i} \cos \beta_{j,i} + \Delta y_{j,i} \sin \beta_{j,i} - \left[L_b^2 + \Delta x_{j,i} \Delta y_{j,i} \sin(2\beta_{j,i}) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (\Delta x_{j,i}^2 - \Delta y_{j,i}^2) \cos(2\beta_{j,i}) - \frac{1}{2} (\Delta x_{j,i}^2 + \Delta y_{j,i}^2) \right]^{1/2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Перемещая модуль j на расстояние $L_{j,i}$ получим новые координаты ГЦ:

$$x_{j,i} = x_{j,i-1} + L_{j,i} \cos \beta_{j,i-1}, \quad y_{j,i} = y_{j,i-1} + L_{j,i} \sin \beta_{j,i-1} \quad (3)$$

Уравнение связи (1) представляет собой уравнение окружности с центром, совпадающим с ГЦ j -го модуля $(x_{j,i}, y_{j,i})$ определяемым формулами (3). Т.е. шарнирное соединение восстанавливается при повороте j -го модуля на угол

$$\beta_{j,i} = \arctan((y_{j-1,i} - y_{j,i} - L_b \sin \beta_{j-1,i}) / (x_{j-1,i} - x_{j,i} - L_b \cos \beta_{j-1,i})). \quad (4)$$

Второй алгоритм перемещения j -го модуля (РТ, рис. 1 в): модуль поворачивается относительно своего ГЦ таким образом, чтобы базисная линия указывала на центр шарнира модуля $j-1$; модуль перемещается на $L_{j,i}$ в новом направлении $\beta_{j,i}$. Новые координаты ГЦ модуля:

$$x_{j,i} = x_{j,i-1} + L_{j,i} \cos \beta_{j,i}, \quad y_{j,i} = y_{j,i-1} + L_{j,i} \sin \beta_{j,i}. \quad (5)$$

Третий алгоритм (TRT) является комбинацией TR и RT: перемещаем j -й модуль на $L_{j,i}^* = L_{j,i}/2$ согласно (3); поворачиваем модуль по (4); рассчитываем новое перемещение используя (2) и (5). Точность расчета траектории от шага по времени τ в TR и RT $\sim \tau^{-1}$, а в TRT — $\sim \tau^{-2}$.

С помощью алгоритма TRT методом ортогонального центрального композиционного планирования [2] было проведено исследование величины отклонения ΔH траектории ведомых модулей от траектории ведущего в зависимости от радиуса кривизны траектории R и количества модулей n . С ростом R и уменьшением n величина ΔH уменьшается. Парное взаимодействие R и n , а также квадратичный вклад n^2 незначительны. Квадратичный вклад R^2 положительный, т.е. с ростом R величина ΔH уменьшается с насыщением.

В дальнейшей работе представленные математическая и компьютерная модели будут расширены для трехмерной геометрии и движения робота внутри трубы по траектории винтовой линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ogai H., Bhattacharya B.* Pipe Inspection Robots for Structural Health and Condition Monitoring. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. Springer, New Delhi, 2018, v. 89, p. 213.
2. *Насибуллаев И. Ш.* Разработка компьютерной модели основного элемента агрегата дозирования топлива. — Вычислительные технологии, 2016, т. 21, н. 2, с. 26–41. // *Nasibullayev I. Sh.* The development of a computer model for the main element of the fuel metering unit. — Computational technologies, 2016, v. 21, n. 2, p. 26–41. (In Russian.)

UDC 004.942+007.52

Nasibullayev I. Sh. (Ufa, Mavlyutov Institute of Mechanics UFRC RAS).
Algorithm of wheeled robot modules movement on a plane.

Abstract: A second-order algorithm for determining the trajectory of the driven modules of a wheeled robot is presented. The deviations of the trajectories of the driven modules versus the parameters of the trajectory of the leading module is determined.

Keywords: mathematical and computer modeling, modular wheeled robot.