

АНАЛИЗ МАНЕВРЕННОСТИ МЕКАНУМ-КОЛЕС МОБИЛЬНОГО ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОГО РОБОТА

Павлюковец С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современное наукоемкое производство в последнее время подталкивает к разработке интеллектуальных мобильных роботов. Спрос на радиоуправляемые или автономные колесные мобильные роботы постоянно растет, так как роботы могут выполнять задачи в сложных и агрессивных рабочих средах [1]. Наиболее интересной с точки зрения конструкции платформы является использование меканум-колес, что позволяет реализовывать всенаправленное движение на плоскости только за счет согласования направления и скорости вращения колёс без изменения угла поворота корпуса. По этой причине изучение мобильных роботов на меканум-колёсах актуальной научной задачей.

Целью настоящей статьи является исследование влияния всевозможных топологических вариантов компоновки меканум-колёс четырёхколесного мобильного робота на его динамику.

Для описания подвижность и манёвренность робота, а также удовлетворения условиям реализации всенаправленного движения использовалась инверсная кинематическая модель [2]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ – производные от угла поворота 1, 2, 3, 4 колеса соответственно; M – матрица Якоби инверсной кинематики пространства состояний; \dot{x} – производная от координаты робота по оси x ; \dot{y} – производная от координаты робота по оси y ; $\dot{\theta}$ – производная от угла поворота центра масс робота.

Матрица Якоби пространства состояний M имеет размерность 3×4 :

$$M = -\frac{1}{r} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_1} & \frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_1} & b - \frac{a}{\sin \gamma_1} \\ \cos \gamma_1 & \sin \gamma_1 & \operatorname{tg} \gamma_1 \\ \frac{\sin \gamma_2}{\sin \gamma_2} & \frac{\sin \gamma_2}{\sin \gamma_2} & -b - \frac{a}{\sin \gamma_2} \\ \cos \gamma_2 & \sin \gamma_2 & \operatorname{tg} \gamma_2 \\ \frac{\sin \gamma_3}{\sin \gamma_3} & \frac{\sin \gamma_3}{\sin \gamma_3} & -b + \frac{a}{\sin \gamma_3} \\ \cos \gamma_3 & \sin \gamma_3 & \operatorname{tg} \gamma_3 \\ \frac{\sin \gamma_4}{\sin \gamma_4} & \frac{\sin \gamma_4}{\sin \gamma_4} & b + \frac{a}{\sin \gamma_4} \\ \cos \gamma_4 & \sin \gamma_4 & \operatorname{tg} \gamma_4 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где r – радиус колеса; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ – углы наклона ролика относительно оси вращения 1, 2, 3, 4 колеса соответственно; a – расстояние от оси вращения колеса до точки половины длины робота; b – расстояние от оси вращения колеса до точки половины ширины робота.

В работе было изучено 16 пространственных топологий меканум-колёс на основе оценки всенаправленной подвижности по рангу матрицы Якоби инверсной кинематики.

Согласно исследованию [3] топология может обеспечить всенаправленность движения, если матрица Якоби является полноранговой и оси направления наклона роликов колёс пересекаются минимум в двух точках.

Маневрирование мобильного робота с различными топологиями меканум-колёс проводилось по траектории лемнискаты.

Проведя оценку управляемости мобильного робота на основе сравнительного анализа данных можно утверждать, что по совокупности факторов, включающих динамические и кинематические показатели маневрирования, наилучшими топологиями размещения меканум-колёс в четырёхколёсном роботе являются симметричные топологии а матрицы их состояний – полноранговыми, показавшие наименьшие среди всех проведённых экспериментов ошибки позиционирования, угол отклонения корпуса робота относительно начала координат и рассогласование угловой скорости вращения колёс.

Остальные 14 симметричных и асимметричных топологий продемонстрировали низкие динамические показатели маневрирования, высокие рассогласования параметров, что привело к худшей управляемости и могут иметь ограниченное распространение, например, в случаях, когда преобладает однонаправленное движение по траектории, а не реализуется всенаправленное движение мобильного робота.

1. Li Y., Dai S., Zhao L., Yan X., Shi Y. Topological Design Methods for Mecanum Wheel Configurations of an Omnidirectional Mobile Robot // Symmetry. 2019. Vol. 11(10):1268. DOI: 10.3390/sym11101268.
2. Радкевич А.А., У С., Вельченко А.А., Павлюковец С.А. Математическая модель движения мобильного робота с колесами всенаправленного типа // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22. № 1. С. 82–90. DOI: 10.35596/1729-7648-2024-22-1-82-90.
3. Радкевич А.А., Павлюковец С.А. Исследование динамических характеристик голономного робота с колесами типа меканум на основе 3D параметрической имитационной модели // Наука и техника. 2024. Т. 23. № 5. С. 359–369. DOI: 10.21122/2227-1031-2024-23-5-359-369.