

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА

С.А. Будков, Е.В. Ларкин

Исследуется вопрос выполнения механических операций мобильным роботом. Получены зависимости, связывающие угловые положения звеньев манипулятора и пространственное положение рабочего органа. Разработана конфигурация сенсорной системы, обеспечивающая определение пространственного положения рабочего органа.

Ключевые слова: мобильный робот, платформа, манипулятор, рабочий орган, матрица направляющих косинусов, инклинометр, энкодер.

Мобильные манипуляционные роботы в настоящее время широко применяются в промышленности, экологии, военном деле и других отраслях [1, 2]. Особенностью мобильных роботов является то, что их манипулятор размещен на подвижном поддрессоренном основании, которое может перемещаться в пространстве относительно движителей во время выполнения технологических операций. С учетом того, что с помощью системы очувствления робота положение манипулятора может быть измерено относительно подвижной платформы, а объект манипуляции, как правило, располагается на поверхности Земли, возникает проблема определения Земных координат объекта с использованием информации, получаемой от бортовой сенсорной системы.

Кинематическая схема мобильного робота [3] приведена на рис. 1. Мобильный робот включает платформу с размещенным на ней оборудованием и множество колес, каждое из которых имеет свою собственную вязкоупругую подвеску. Платформа транспортного средства является абсолютно жестким телом. Конструктивно корпус связан с вязкоупругими опорами, которые, в свою очередь, через колеса опираются на Земную поверхность. Подвески крепятся к платформе на одном уровне таким образом, что через точки подвески можно провести плоскость, Подвески расположены симметрично по левому (l) и правому (r) бортам платформы, причем плоскостью симметрии является плоскость, проходящая через центр масс машины, и перпендикулярная к плоскости расположения точек

где x_p, y_p, z_p - Земные координаты центра масс робота; A - матрица поворотов.

На платформе робота в продольной плоскости симметрии установлен манипулятор на расстоянии L_M от центра масс. Манипулятор расположен в плоскости $x''O''z''$ таким образом, что ось $O''z''$ параллельна оси Oz' , а ось $O''x''$ поворачивается относительно оси $O''z''$ на угол ψ . В плоскости манипулятора первое звено длиной a поворачивается на угол ϑ , а второе звено длиной b поворачивается относительно первого на угол β . Вращение осуществляется с помощью соответствующих приводов, не показанных на рис. 1.

Поворот плоскости $x''O''z''$ определяется матрицей направляющих косинусов A' , определяемой в виде

$$A' = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где ψ - угол вращения относительно оси $O''z''$, отсчитываемый против часовой стрелки от положительного направления оси $O'x'$.

Пространственное положение точки B в связанной системе координат определяется зависимостью

$$\begin{pmatrix} x'_B \\ y'_B \\ z'_B \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} \cos \vartheta & 0 & \sin \vartheta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \vartheta & 0 & \cos \vartheta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_M \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где ϑ - угол вращения относительно оси $O''y''$, отсчитываемый против часовой стрелки от положительного направления оси $O''x''$; a - длина первого звена манипулятора; L_M - расстояние от центра масс до центра вращения звена.

Второе звено манипулятора длиной b поворачивается в плоскости манипулятора на угол β , поэтому пространственное положение точки K в связанной системе координат определяется зависимостью

$$\begin{pmatrix} x'_K \\ y'_K \\ z'_K \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x'_B \\ y'_B \\ z'_B \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где β - угол вращения звена манипулятора относительно оси $O''y''$, отсчитываемый против часовой стрелки от положительного направления оси $O''x''$; b - длина второго звена манипулятора.

Рассмотрим платформу, установленную на разновысотное основание (рис. 1). Если платформа установлена на ровной горизонтальной поверхности, то оси x' и y' лежат в горизонтальной плоскости. При изменении высот точек касания колес платформа меняет свое положение. Будем считать, что высоты точек касания Земной поверхности колесами левого

(правого) ряда имеют индивидуальные значения: $h_{ln}, h_{rn} \quad 1 \leq n \leq N$.

Для определения приращения высоты центра масс δ_z , а также приращений углов δ_ϑ и крена δ_γ платформы в Земной системе координат для симметричной машины может быть получена следующая система уравнений [5]:

$$\sum_{n=1}^N \left[(\delta_z + L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{ln}) c_{ln} + (\delta_z' - L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{rn}) c_{rn} \right] = 0;$$

$$\sum_{n=1}^N \left[(\delta_z + L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{ln}) c_{ln} - (\delta_z - L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{rn}) c_{rn} \right] = 0; \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N \left[(\delta_z + L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{ln}) L_{xn} c_{ln} + (\delta_z - L_y \delta_\gamma + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{rn}) L_{xn} c_{rn} \right] = 0,$$

где h_{ln} (h_{rn}) - высоты точек касания Земной поверхности колесами левого (правого) ряда; c_{ln} - жесткость подвесок левого ряда опор; c_{rn} - жесткость подвесок правого ряда опор, $1 \leq n \leq N$; L_{xn}, L_y - координаты подвесок в связанной системе координат, показанные на рис. 1.

Для симметричной машины справедливы условия $c_{ln} = c_{rn} = c, 1 \leq n \leq N$. В этом случае уравнения (5) принимают вид

$$\sum_{n=1}^N [\delta_z + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{ln} + \delta_z + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{rn}] = 0; \quad \sum_{n=1}^N [2L_y \delta_\gamma - h_{ln} + h_{rn}] = 0;$$

$$\sum_{n=1}^N \left[(\delta_z + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{ln}) L_{xn} + (\delta_z + L_{xn} \delta_\vartheta - h_{rn}) L_{xn} \right] = 0. \quad (6)$$

Решение (6) относительно $\delta_z, \delta_\vartheta$ и δ_γ дает:

$$\delta_z = \frac{\left[\sum_{n=1}^N (h_{ln} + h_{rn}) \right] \sum_{n=1}^N L_{xn}^2 - \left[\sum_{n=1}^N (h_{ln} + h_{rn}) L_{xn} \right] \sum_{n=1}^N L_{xn}}{2 \left[N \sum_{n=1}^N L_{xn}^2 - \left(\sum_{n=1}^N L_{xn} \right)^2 \right]};$$

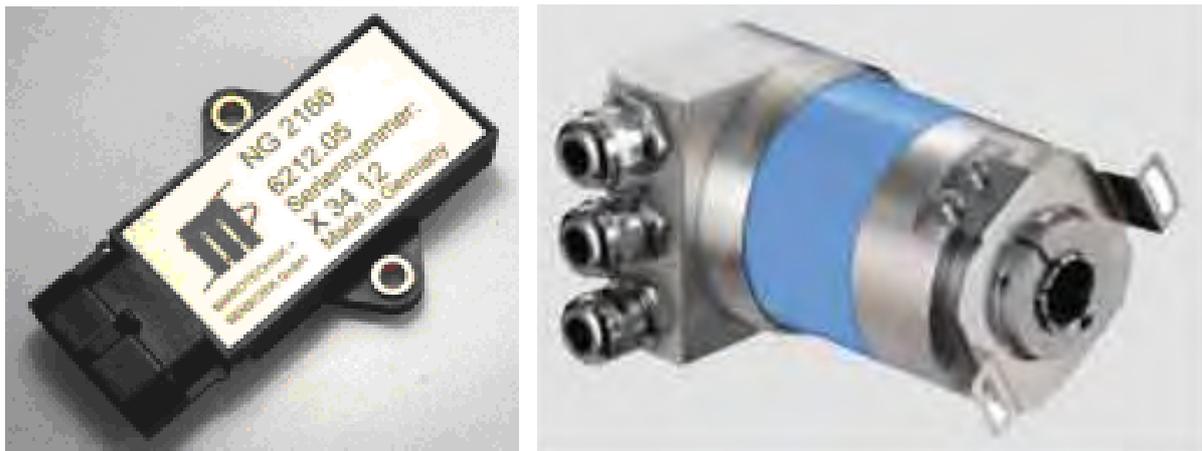
$$\delta_\vartheta = \frac{\left[\sum_{n=1}^N (h_{ln} + h_{rn}) L_{xn} \right] N - \left[\sum_{n=1}^N (h_{ln} + h_{rn}) \right] \sum_{n=1}^N L_{xn}}{2 \left[N \sum_{n=1}^N L_{xn}^2 - \left(\sum_{n=1}^N L_{xn} \right)^2 \right]};$$

$$\delta_\gamma = \sum_{n=1}^N \frac{h_{ln} - h_{rn}}{2N}.$$

Матрица поворотов связанной системы координат относительно Земной системы имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} \cos \delta_{\theta} & 0 & \sin \delta_{\theta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \delta_{\theta} & 0 & \cos \delta_{\theta} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_{\gamma} & -\sin \delta_{\gamma} \\ 0 & \sin \delta_{\gamma} & \cos \delta_{\gamma} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Для определения углового положения платформы в сенсорную систему мобильного робота вводят датчики определения углового положения платформы. Одним из распространенных типов датчиков измерения углового положения является инклинометр, предназначенный для измерения угла наклона различных объектов, относительно гравитационного поля Земли. Инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика имеют высокую точность и небольшие размеры. Для решения задач управления достаточно использовать двухосевой датчик, позволяющий измерять углы δ_{ϑ} и δ_{γ} . Пример инклинометра приведен на рис. 2 а. Для определения углов поворота звеньев манипулятора используются абсолютные энкодеры (рис. 2 б).



а **б**
Рис. 1. Инклинометр (а) и абсолютный энкодер (б)

Сигналы с инклинометра и энкодеров вводятся в блок определения координат точки K манипулятора, где:

по показаниям энкодеров углы ψ , ϑ и β пересчитываются в координаты (x'_K, y'_K, z'_K) точки K связанной системы координат $x'O'y'z'$;

по координатам (x'_K, y'_K, z'_K) и по показаниям инклинометра углы δ_{ϑ} и δ_{γ} пересчитываются в координаты (x_K, y_K, z_K) точки K Земной системы координат $xOyz$.

Точность определения координат зависит от точности инклинометра и энкодеров. Для повышения точности захвата предметов, расположенных на Земной поверхности в сенсорную систему вводят ТВ-камеры сис-

темы технического зрения, которые позволяют наблюдать сцену на экране монитора и корректировать работу системы управления манипулятора.

Список литературы

1. Ларкин Е.В., Нгхиа В.З. Трассировка движения мобильного робота по пересеченной местности // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Вып. 8. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 257 - 261.
2. Акименко Т.А., Ларкин Е.В., Лучанский О.А. Оценка «смаза» изображения в системе технического зрения мобильного колесного робота // Вестник РГРТУ. Рязань: РИЦ РГРТУ, 2008. С. 77 - 80.
3. Ларкин Е.В., Феофилов Д.О. Моделирование поперечных колебаний транспортного средства в тренажерах // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. С. 143 - 150.
4. Будков С.А., Клинецов Г.Н., Ларкин Е.В. Математическая модель сложного мехатронного комплекса // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 320 - 328.
5. Ларкин Е.В., Рудианов Н.А. Математическая модель поперечных колебаний подвижного наземного объекта // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. № 3 (Вып. 37). 2011. С. 43 - 47.

Будков Сергей Анатольевич, аспирант, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

Ларкин Евгений Васильевич, зав. кафедрой, докт. техн. наук, профессор, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

DETERMINATION OF OPERATIONAL UNIT SPACE POSITION

S.A. Budkov, E.V. Larkin

A question of execution of mechanical operations by mobile robot is investigated. Dependencies, which link angle positions of manipulator units with space position of operational unit, are obtained. The configuration of sensor system for determination of operational unit space position is worked out.

Key words: mobile robot, base, manipulator, operational unit, direction cosine matrix, inclinometer, encoder.

Budkov Segrey Anatolyevich, postgraduate, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

Larkin Eugene Vasilyevich, head of chair, doctor of technical science, professor, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University