

*В. А. Егунов, А. П. Жуков, М. И. Потанов*

## ОБ УПРАВЛЕНИИ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ МЕХАНИЗМОМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Волгоградский государственный технический университет  
vegunov@mail.ru, mantis-religiosa@yandex.ru, virrav@rambler.ru

Рассматривается концепция управления манипуляционными механизмами мобильных роботов, использования сервоприводов и шаговых двигателей. Приводится расчетная схема соединения звеньев манипулятора.

*Ключевые слова:* робототехника, робот, проектирование роботов.

*V. A. Egunov, A. P. Zhukov, M. I. Potapov*

## ABOUT MANAGEMENT OF THE HANDLING MECHANISM OF THE MOBILE ROBOT

Volgograd State Technical University

The management concept by handling mechanisms of mobile robots, uses of servo-drivers and step-by-step engines is considered. The settlement scheme of connection of links of the manipulator is resulted.

*Key words:* Robotic Technology, Robot, Designing of Robots.

Наш мир идет по пути тотальной роботизации, будь то промышленность, военная и космическая отрасль, медицина или бытовая жизнь. Во всех случаях робот обязан выполнять тяжелые, сверхточные, рутинные или опасные для жизни человека работы. Для выполнения 90 % работ необходимо использование манипулятора. Это особенно относится к мобильным роботам, которые в большинстве своем работают с разборкой завалов, разминировании и т. п. Поэтому к манипуляторам мобильных роботов предъявляются повышенные требования к точности позиционирования, надежности и простоте управления [1, 2].

Все манипуляторы характеризуются грузоподъемностью, типом рабочего органа, рабочей областью и количеством степеней свободы. Степень универсальности робота определяется количеством степеней свободы.

Существует 2 вида степеней свободы – переносимые и ориентирующие. Переносные служат для перемещения рабочего органа в рабочей области манипулятора, в то время как ориентирующие – ориентируют его в пространстве. Минимальное число переносных степеней свободы должно быть равно 3. Однако для увеличения маневренности манипулятора можно расширить их число. Это позволит усложнить возможную траекторию движения рабочего ор-

гана, а также увеличить быстродействие манипулятора. Поэтому нередко манипулятору добавляется несколько избыточных степеней свободы. Современным манипуляторам обычно закладывают 4–6 степеней свободы, хотя существуют и более сложные модели.

В отличие от переносных степеней свободы, ориентирующих требуется только три (поворот относительно его продольной и двух взаимно перпендикулярных осей).

В зависимости от выбранной системы координат у манипулятора будет рабочая зона определенной формы, также от системы координат зависят возможные перемещения элементов манипулятора. Используют четыре типовых систем координат: прямоугольная, цилиндрическая, сферическая и угловая. Они соответственно образуют рабочие зоны в форме параллелепипеда, цилиндра, сферы и поверхности сложной формы, состоящей из наложенных друг на друга возможных угловых перемещений. Поскольку данные системы координат используют только 3 координаты, то в сложных роботах создаются их комбинации.

Мобильным роботам с манипуляторами наиболее подходит комбинация угловой и цилиндрической систем координат. При такой комбинации манипулятор будет иметь возможность

при необходимости принимать компактное положение, складываясь на корпусе мобильного робототехнического комплекса за счет того, что его звенья могут совершать только угловые перемещения, а также вращающаяся платформа позволит манипулятору производить работы не только впереди себя, но и по бокам от корпуса, что делает такой робототехнический комплекс более универсальным и гибким.

Для обеспечения угловых перемещений звеньев манипулятора используются сервоприводы и шаговые двигатели. Эти источники движения компактные, имеют широкий модельный ряд, высокую точность позиционирования, а также возможность управления посредством микропроцессорной системы управления.

Сервопривод имеет в своей конструкции датчик обратной связи, с помощью которого достигается высокая точность устройства. Управление происходит с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Поэтому с помощью датчика обратной связи и длительности импульса ШИМ можно однозначно определить угол поворота ротора, а значит и определить положение звена манипулятора в пространстве.

В отличие от сервопривода у шагового двигателя более простое управление из-за отсутствия датчика обратной связи, однако это же является его минусом, т. к. для точного позиционирования необходимо дополнительно организовывать счетчик шагов. Управляться шаговый двигатель может как аналоговым сигналом, так и ШИМ. Может работать в 3-х режимах – с полным шагом, с полушагом и в микрошаговом режиме. Таким образом, можно подобрать именно ту точность позиционирования звеньев манипулятора, которую требуют техническое задание и конструкция робота.

Сервоприводы и шаговые двигатели устанавливаются в сочленения отдельных звеньев. Такая конструкция образует кинематическую вращательную пару, которая имеет 1 степень свободы. Легко заметить, что каждый новый сервопривод или шаговый двигатель добавляет по одной степени свободы.

Осталось установить, как же зависят координаты от угла поворота звеньев. Для простоты рассмотрим зависимость только переносных координат в двумерном пространстве. Расчетная схема данного манипулятора изображена на рис. 1.

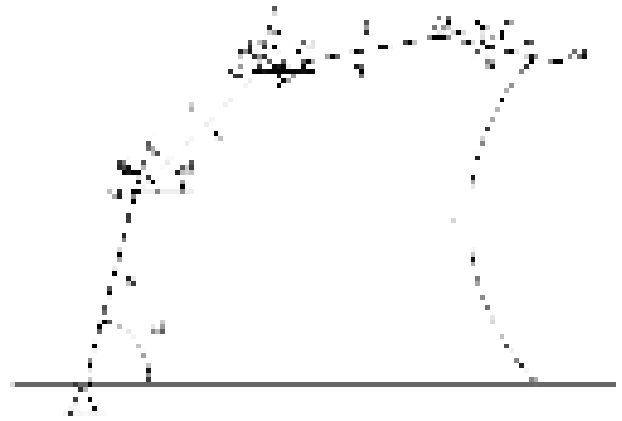


Рис. 1. Расчетная схема соединения звеньев манипулятора

Пусть у нас имеется манипулятор, состоящий из четырех звеньев, имеющих длины соответственно  $l_1, l_2, l_3$  и  $l_4$ .

Координаты в точке  $A_1$  будут определяться

$$x_1 = l_1 \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$y_1 = l_1 \cdot \sin(\alpha_1)$$

В точке  $A_2$ :

$$x_2 = x_1 + l_2 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$y_2 = y_1 + l_2 \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (1)$$

В точке  $A_3$ :

$$x_3 = x_2 + l_3 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3)$$

$$y_3 = y_2 + l_3 \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3) \quad (2)$$

И, наконец, в точке  $A_4$

$$x_4 = x_3 + l_4 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)$$

$$y_4 = y_3 + l_4 \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4) \quad (3)$$

Тогда для координаты  $x$  при количестве звеньев  $i \geq 2$  имеем

$$x_1 = l_1 \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$x_i = x_{i-1} + l_i \cdot \cos(\alpha_1 - \sum_{k=2}^i \alpha_k) \quad (4)$$

Для координаты  $y$

$$y_1 = l_1 \cdot \sin(\alpha_1)$$

$$y_i = y_{i-1} + l_i \cdot \sin(\alpha_1 - \sum_{k=2}^i \alpha_k) \quad (5)$$

И для угла  $\alpha$

$$\alpha = \alpha_1 - \sum_{k=2}^i \alpha_k \quad (6)$$

Таким образом, у нас есть следующая система уравнений

$$\begin{cases} x_i = f1(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \\ y_i = f2(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \\ \alpha = f3(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \\ g = f4(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \end{cases} \quad (7)$$

где  $g$  – некоторая функция, накладывающая на углы в сочленениях условия, при которых положение манипулятора будет оптимальным.

Фактически, распределение углов зависит от конкретной решаемой задачи, так, например, при подъеме груза с горизонтальной поверхности необходимо чтобы форма манипулятора была как можно ближе к дуге.

При наличии некоторого препятствия высотой  $H$ , расположенного вблизи мобильного робототехнического комплекса (например стенки), необходимо чтобы  $\alpha_1 = 90$ , угол на остальных сочленениях равен нулю, если суммарной длины звеньев от первого сочленения до текущего не достаточно для преодоления препятствия. Для трубы  $-\beta < \alpha_i < \beta$ , где  $\sin(\beta) = d/l_i$  ( $d$  – диаметр отверстия) – при этом условии сочленения манипулятора не будут касаться стенок трубы.

Таким образом, имея данную систему уравнений, можно вычислить оптимальные углы

сгиба звеньев манипулятора. Данные вычисления ложатся на микропроцессорную систему управления манипулятором.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Жога В. В., Гаврилов А. Е., Еременко А. В.* Оптимальный закон горизонтального перемещения мобильного робота с ортогональными шагающими движителями // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010 – с 28–33. [Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8].
2. *Шуляков Е. А.* Универсальный робототехнический комплекс движителями // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010 – с 130–132. [Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8].