

УДК 621.865.8

Михайлов Е.П. к.т.н., Вудвуд А.Н., Кнюх А.Б., Онуфриенко В.С.

ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРАМИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В настоящее время производство все чаще строится на основе гибких производственных систем (ГПС) [1], одним из основных элементов которых являются автоматизированные транспортно-складские системы (АТСС).

Наиболее важными задачами ГПС является возможность быстрой переналадки отдельных компонент, а также снижения энергопотребления, что может быть достигнуто путем упрощения их структуры и выбора эффективных алгоритмов управления.

Использование транспортных систем с использованием автономных мобильных роботов (АМР) позволяет значительно упростить переналадку технологического процесса, так как в этом случае переналадка транспортной системы сводится к перепрограммированию мобильных транспортных роботов и изменению маршрутов их перемещения [7].

Особый интерес при этом представляют мобильные роботы-манипуляторы, способные осуществлять перемещение различных грузов.

В процессе позиционирования с помощью системы управления мобильного робота-манипулятора решаются две задачи, управление перемещением манипулятора и управление перемещением тележки робота (рис. 1).

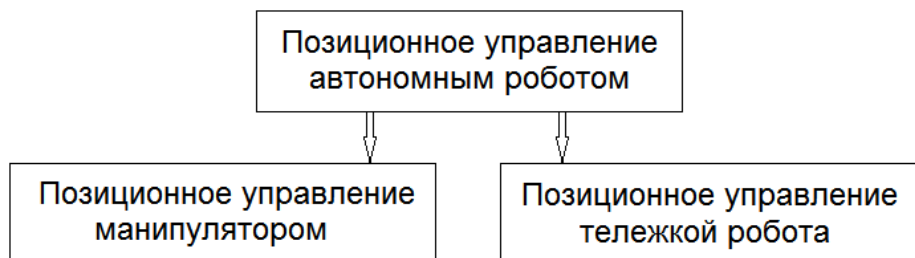


Рис. 1. Задачи позиционирования, решаемые с помощью системы управления мобильного робота-манипулятора

В составе АМР могут использоваться различные манипуляторы (рис. 2), например, многозвенные манипуляторы или манипулятор-трипод [3].

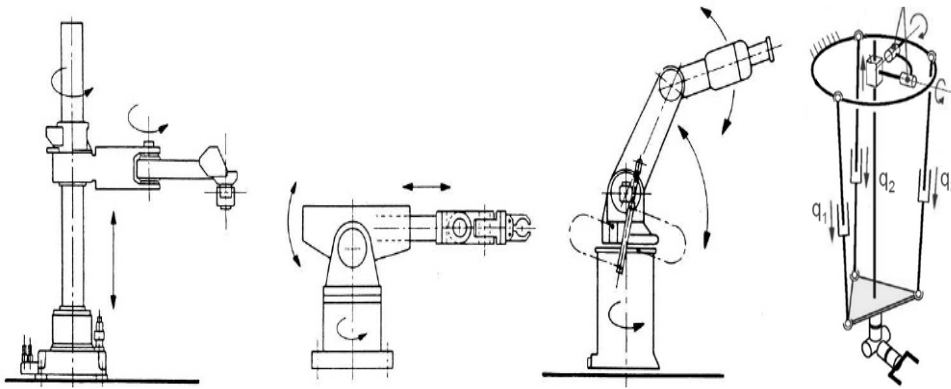


Рис. 2. Манипуляторы, используемые в составе автономных мобильных роботов

Такие манипуляторы обеспечивают перемещение рабочего органа в трехмерном пространстве, что требует использования нескольких приводов и реализации совместного их управления для позиционирования в пространстве.

Основной задачей при этом является позиционирование рабочего органа, которое решается с помощью датчиков положения и регулируемых приводов, поэтому в целях упрощения структуры и алгоритма управления АРМ необходимо минимизировать число звеньев манипулятора.

Так как перемещение рабочего органа в горизонтальной плоскости может обеспечиваться за счет перемещения тележки, то манипулятору достаточно обеспечить перемещение и ориентацию рабочего органа только по вертикальной оси, что значительно упрощает структуру мобильного робота. При использовании зажимного захватного устройства может использоваться совмещенный механизм подъема и захватного устройства с использованием манипулятора на основе пантографа [7]. При этом управление может осуществляться одним приводом [10].

Рассмотрим кинематическую схему такого АРМ (рис.3). Манипулятор состоит из следующих частей: приводного вала 1 (привод на схеме показан условно); звеньев 2.1-2.6 отвечающих за закрытие-открытие схвата; конической передачи 3, которая служит для передачи крутящего момента во взаимно-перпендикулярных плоскостях; схвата 4; звеньев 5.1-5.2, отвечающих за подъем схвата манипулятора; стойки 6.1, которая связывает манипулятор с тележкой АРМ.

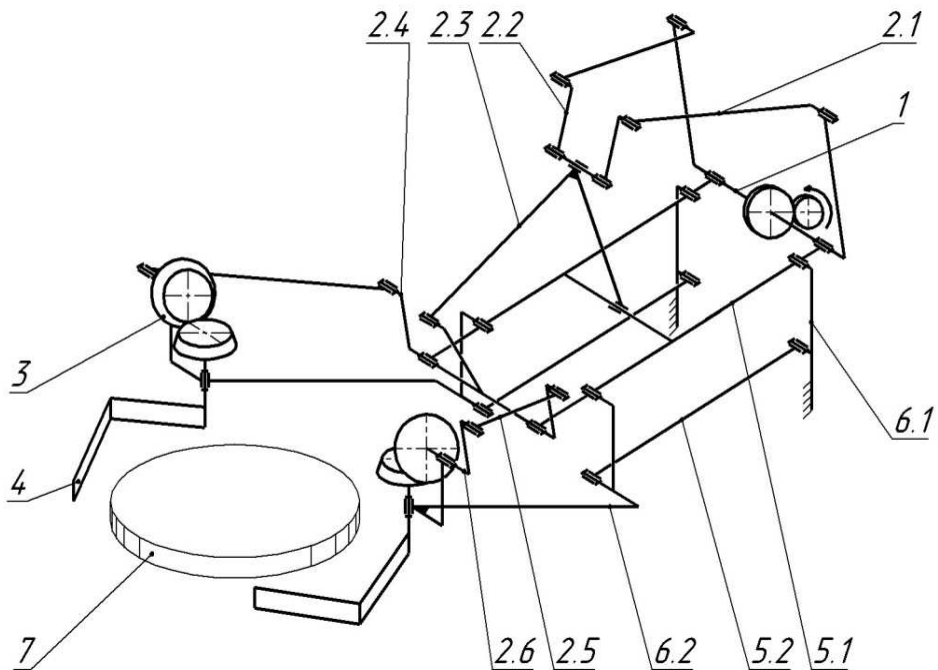


Рис. 3. Кинематическая схема манипулятора с совмещенным приводом механизма подъема и схвата.

Манипулятор работает следующим образом: при включении привода проворачивается вал 1, приводя в действие систему звеньев 2.1-2.6 (длины и конфигурация звеньев подобраны таким образом, чтобы обеспечить определенный угол поворота ведущей шестерни конической передачи 3). Затем через коническую передачу приводится в действие сам схват, тем самым зажимая объект манипулирования 7. После захвата объекта 7 звенья 2.1-2.6 фиксируются, тем самым фиксируя приводной вал 1. При этом привод продолжает работать и осуществляет подъем всей системы относительно стойки 6.1 за счет звеньев 5.1-5.2, которые образуют параллелограмм. Опускание и освобождение груза производится в обратном порядке.

Рассмотрим вопросы позиционного управления такого манипулятора. Перемещение рабочего органа в системе координат XYZ (рис. 4,а) можно разделить на перемещение тележки на плоскости, что обеспечивает перемещение рабочего органа по осям X и Y, и перемещение руки, что обеспечивает перемещение рабочего органа по оси Z и дополнительное перемещение по оси X (рис. 4,б).

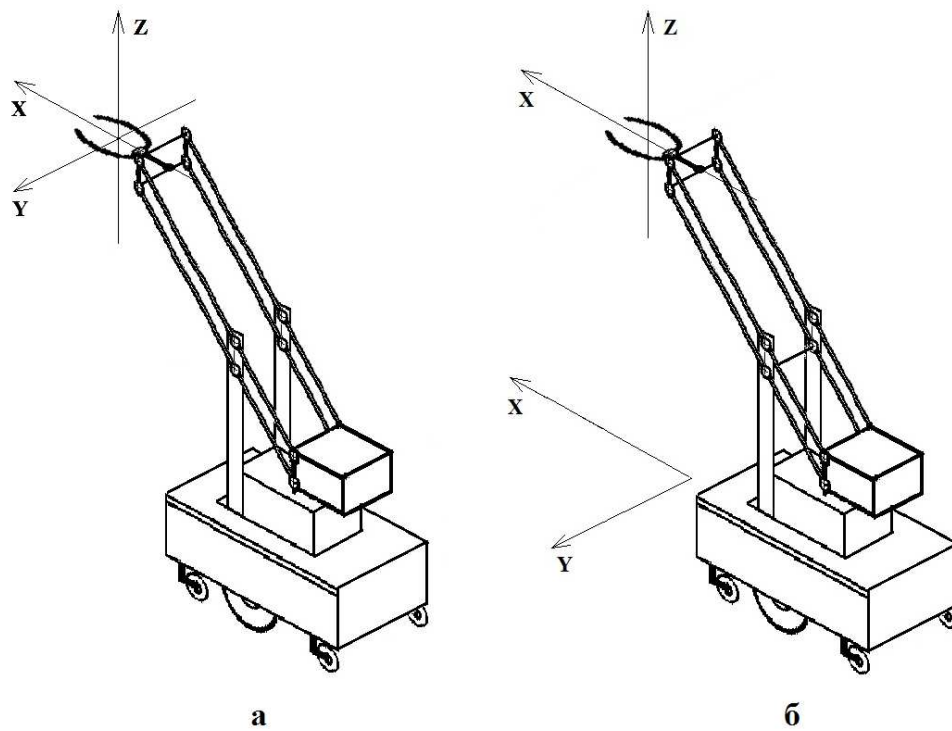


Рис. 4. Перемещение рабочего органа АМР в системе координат XYZ

Перемещение по заданному маршруту и позиционирование тележки с заданной точностью можно обеспечить с помощью средств локальной и глобальной навигации [6, 8], поэтому остановимся на вопросах позиционного управления манипулятором.

На рис. 5 показано упрощенное представление перемещения рабочего органа АМР.

Если принять за начальную точку позиционирования верхнее положение руки, что можно реализовать, например, с помощью датчика касания (рис. 5), то, как показано в [2] изменение положения рабочего органа от угла поворота руки α по вертикали $h(\alpha)$ и горизонтали $l(\alpha)$ определяются зависимостями:

$$h(\alpha) = h_0 + C \sin(\alpha_0 - \alpha),$$

$$l(\alpha) = C - C \cos(\alpha_0 - \alpha).$$

где, h_0 – высота оси поворота руки, α_0 – угол поворота для верхнего положения руки относительно горизонтального положения, C – длина руки.

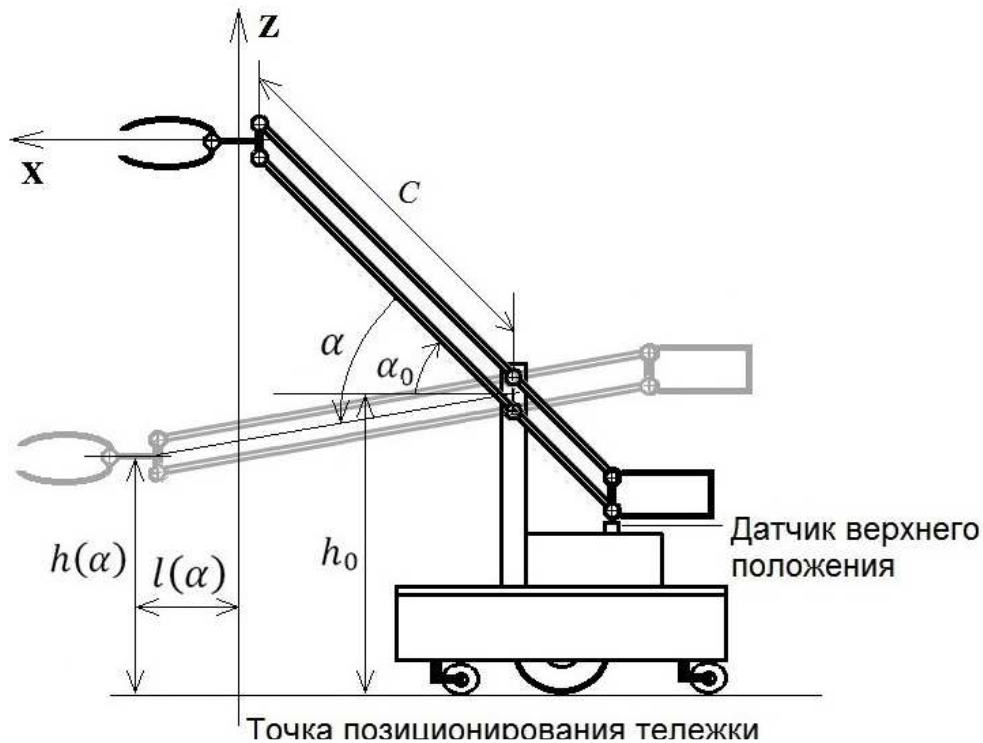


Рис. 5. Упрощенное представление перемещения рабочего органа АМР

Для позиционного управления необходимо использовать датчики положения, например, датчик угла поворота руки α . При составлении алгоритма управления перемещение рабочего органа определяется датчиком положения, поэтому необходимо знать соотношения между показаниями датчика и положением рабочего органа. При использовании фотоимпульсного датчика угла поворота это соотношение определяется числом импульсов датчика на один оборот, если датчик установлен на оси поворота руки. Если датчик установлен на оси двигателя, то необходимо учитывать передаточное отношение редуктора. Таким образом, необходимо пересчитать изменение положения руки по вертикали и изменение положения захватного устройства в соответствующее число импульсов датчика. Для перемещения по горизонтали необходимо осуществить позиционное управление линейным перемещением тележки.

Рассмотрим алгоритм управления АМР при переносе груза и установки его на стол (рис. 7).

Исходными данными для перемещения руки и захватного устройства являются зависимости вертикального и горизонтального положения от угла поворота привода переведенные в значения датчика угла поворота, а также соответствующие значения для закрытия и

открывания, исходя из передаточного отношения механизма захватного устройства.

1. С помощью средств локальной навигации АРМ перемещается до исходного состояния взятия груза.
2. Исходя из угла поворота руки, определяется расстояние перемещения для взятия груза и производится перемещение тележки.
3. Закрывается захватное устройство.
4. Рука поднимается на высоту, необходимую для установки груза на стол.
5. Осуществляется перемещение тележки для установки груза на стол.
6. Груз устанавливается на стол.
7. Открывается захватное устройство.
8. Тележка перемещается в заданную позицию.
9. Тележка возвращается в исходную позицию.

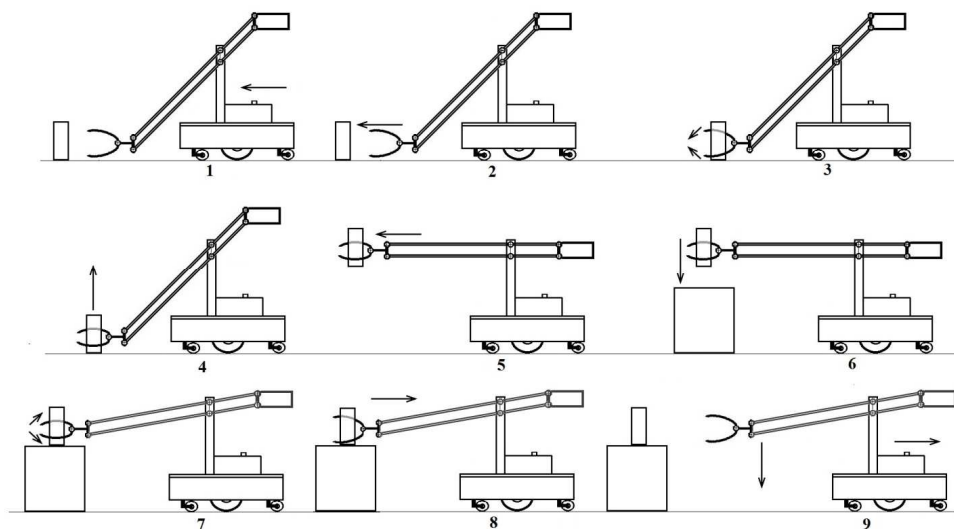


Рис. 7. Порядок установки груза

Точность позиционирования при перемещении руки по вертикали определяется точностью позиционирования углового перемещения оси привода с учетом передаточного отношения редуктора и зависимости высоты подъема рабочего органа h от угла поворота руки α .

На суммарную точность позиционирования при перемещении руки по вертикали также может влиять изменение наклона тележки под воздействием груза, что необходимо учитывать при определении угла поворота руки при подъеме и опускании (рис. б).

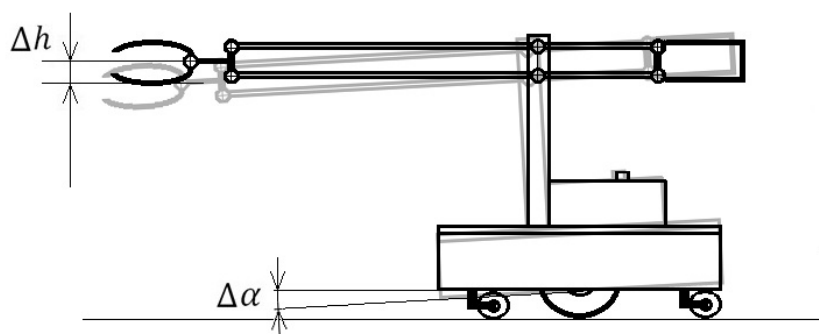


Рис. 6. Влияние изменения наклона тележки под воздействием груза на суммарную точность позиционирования при перемещении руки по вертикали

Позиционное управление манипулятором позволяет сократить до минимума перемещения руки и тем самым уменьшить затраты электроэнергии. Поскольку питание приводов осуществляется от аккумуляторов (как правило с напряжением питания 24 В или 12 В), то используются соответствующие двигатели постоянного тока. При опускании руки с последующим торможением двигатель переходит в генераторный режим, поэтому применение приводов с рекуперацией позволяет осуществить подзарядку аккумуляторов и увеличивает время их работы [4, 5].

Выводы. В работе рассмотрены вопросы позиционного управления манипулятора автономных мобильных роботов. Показано, что выбор упрощенных структур и алгоритма управления позволяет упростить процесс переналадки оборудования и уменьшить энергопотребление АМР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хватов, Б.Н. Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование : учеб. пособие / Б.Н. Хватов. – Тамбов : Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2007. – 112 с.
2. Михайлов Е.П. Позиционное управление мобильным роботом /Михайлов Е.П., Короткий И.К., Онуфриенко В.С. // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 13 (89). – с. 27–33
3. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования / [В.М.Герасун и др.] – М. : Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша, 2012. № 44. 24 с. : ил.,

табл. – (Препринт / ИПМ им. М.В.Келдыша ; 2012-44). – *Библиогр.*: с. 22 (5 назв.)

4. Семенюк В.Ф. Расчет рекуперированной энергии приводов лифтов / Семенюк В.Ф., Михайлов Е.П., Вудвуд А.Н.// Подъемно-транспортная техника. – 2013 .– №1 (37) – с. 42-49

5. Усольцев А.А. *Общая электротехника*. Учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 301 с.

6. Borenstein J., Everett H.R., Feng L., Wehe D. Mobile Robot Positioning. *Sensors and Techniques Invited paper for the Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots*. (1997) Vol. 14 No. 4, pp. 231 – 249

7. Liang, C., Ceccarelli M., Takeda Yu., Operation Analysis of a One-DOF Pantograph Leg Mechanisms. *Proceedings of the RAAD 2008. 17th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*. September 15-17, 2008, Ancona, Italy

8. Mobile Robots – Current Trends, Edited by Zoran Gacovski p. cm. ISBN 978-953-307-716-1 Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, First published September, 2011, p. 414, Printed in Croatia, A free online edition of this book is available at www.intechopen.com

9. Siegwart R., Nourbakhsh I. Introduction to autonomous mobile robots. (Intelligent robotics and autonomous agents) A Bradford book. Includes bibliographical references and index. (2004). – ISBN 0-262-19502-X

10. Valk, L. The LEGO Mindstorms NXT 2.0 discovery book : a beginner's guide to building and programming robots. (2010) p. cm. Includes index. ISBN-13: 978-1-59327-211-1