
**УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ХОЗЯЙСТВА**

УДК 62-529

А. В. Еременко, А. В. Малолетов, В. Н. Скакунов

A. Yeryomenko, A. Maloletov, V. Skakunov

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТИЗИРОВАННЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ
THE ROBOTIZED MANIPULATORS GROUP CONTROL SYSTEM**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ecmsys@vstu.ru

В статье «Микропроцессорная система управления роботизированными манипуляторами» рассмотрены принципы построения систем позиционирования и управления механическими манипуляторами, а также – способы их объединения в группы для решения общей задачи. В работе приводится описание системы, позволяющей управлять несколькими механическими манипуляторами с тремя степенями свободы. На основе разработанной системы управления была решена задача позиционирования и перемещения объекта в пространстве с использованием двух манипуляторов.

Ключевые слова: система управления, манипулятор, модульный робот, вращение объекта в пространстве, распределенная система.

In article «The robotized manipulators group control system» construction's principles of positioning and control systems for mechanical manipulators are shown. Also ways of their association in groups for the decision of the general problem are considered. Within the limits of article the system, allowing to operate several mechanical three-degrees-of-freedom, has been realized. On the basis of the developed control system the problem of positioning and moving of object in space by two manipulators has been solved.

Key words: control system, manipulator, modular robot, rotation an object in space, distributed system.

Современные механические манипуляторы представляют собой пространственные механизмы со многими степенями свободы. Одной из основных проблем управления манипуляторами является позиционирование и перемещение по заданной траектории материального объекта. Задача усложняется, если в этих операциях участвуют два или группа манипуляторов. Как правило, в структуре управления наиболее распространенных манипуляторов можно выделить две основные подсистемы: управление приводом по всем степеням свободы и систему определения текущего положения мани-

пулятора. Каждая из подсистем характеризуется рядом существенных признаков. Например, к показателям, прямо влияющим на систему управления, относят: тип привода робота, число степеней подвижности, рабочую зону манипулятора и ряд других [1].

Для реализации системы управления группой манипуляторов был выбран стандартный механический манипулятор УМР-2 [3]. Манипулятор УМР-2 построен по модульному принципу и состоит из трех мехатронных модулей линейного перемещения, изображенных на рис. 1.



Рис. 1. Мехатронный модуль линейного перемещения

Мехатронный модуль состоит из подвижной платформы, перемещающейся по валу. Преобразование вращательного движения вала в поступательное движение платформы производится с помощью резьбовой передачи. Вал приводится в движение двигателем постоянного тока МН-145А. Начальным считается положение мехатронного модуля у двигателя, конечным – противоположное положение [3].

Дифференциальные уравнения поступательного движения модуля могут быть записаны в виде:

$$m\ddot{x} = P,$$

где m – масса подвижной части манипулятора, расположенной на модуле; x – обобщенная координата положения мехатронного модуля; P – обобщенная сила.

В случае программного движения модуля, обобщенная сила определяется сигналами отрицательной обратной связи по данной обобщенной координате и соответствующей обобщенной скорости:

$$P = k_x(x - x_{pr}) + k_v(\dot{x} - \dot{x}_{pr}),$$

где k_x, k_v – коэффициенты обратной связи; x_{pr} – программное значение координаты [2].

При разработке системы управления группой роботизированных манипуляторов по за-

данной в аналитической форме траектории перемещения твердого тела (объекта) учитывались следующие требования:

- система должна управлять группой, состоящей, как минимум, из двух ортогональных манипуляторов УМР-2, с возможностью последующего расширения группы;
- система управления должна быть распределенной с автономным управлением отдельными манипуляторами и обеспечивать связь между ними через стандартную магистраль по заданному протоколу; подключение к центральной ЭВМ через интерфейс USB;
- локальные устройства управления (контроллеры) должны обеспечивать точное позиционирование манипулятора;
- траектория движения должна задаваться аналитическим описанием, реализованным программно и хранимым в центральной ЭВМ.

Структура разработанной системы приведена на рис. 2. Персональный компьютер задает траектории движения всех манипуляторов. Дополнительная обработка данных распределена между ведущим и ведомыми контроллерами. При этом ведущий контроллер (ВщК), выполняющая основные функции по позиционированию манипуляторов, управляет ведомыми контроллерами (ВмКх) и собственным манипулятором.

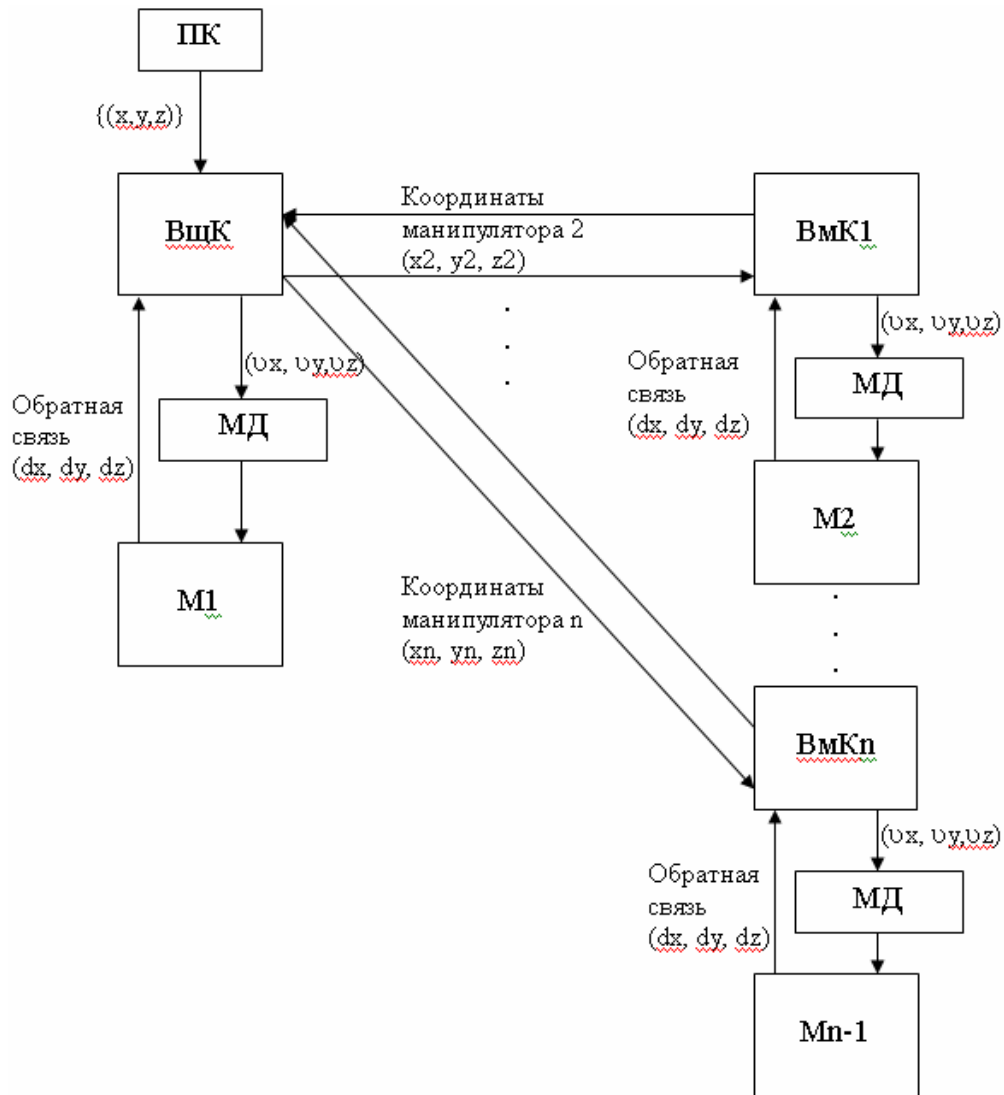


Рис. 2. Структура системы управления группой манипуляторов

Каждый из контроллеров управляет одним манипулятором УМР-2 (M_x) с помощью модулей драйверов (МД). Модули драйверов обеспечивают включение серводвигателей манипуляторов в заданном направлении (X, Y, Z) с определенной скоростью (v_x, v_y, v_z). Управление скоростью серводвигателей в модуле драйверов производится с помощью ШИМ-сигналов, поступающих с контроллеров манипуляторов. В свою очередь, каждый из модулей манипуляторов формирует сигналы смещения относительно текущего положения (dx, dy, dz), обрабатываемые контроллером манипулятора.

Связь между ведущим и ведомыми контроллерами производится по последовательно-асинхронному интерфейсу в мультипроцессорном режиме. Ведущий контроллер принимает от управляющей программы на персо-

нальном компьютере траекторию перемещения по всем манипуляторам $\{(x, y, z)\}$. Для каждой из точек траектории ведущий контроллер устанавливает собственный манипулятор в заданную позицию, производит пересчет координат манипуляторов, управляемых ведомыми контроллерами, и посылает им команды на установку в новые позиции.

Функциональная схема ведущего контроллера приведена на рис. 3. Схема построена на микроконтроллере общего назначения (МК). Микроконтроллер управляет серводвигателями (М) всех модулей ортогонального манипулятора (X, Y и Z) с помощью мостовых усилителей (МУ). Скорость и направление вращения каждого серводвигателя, определяющего положение платформы, задаются блоком ШИМ микроконтроллера.

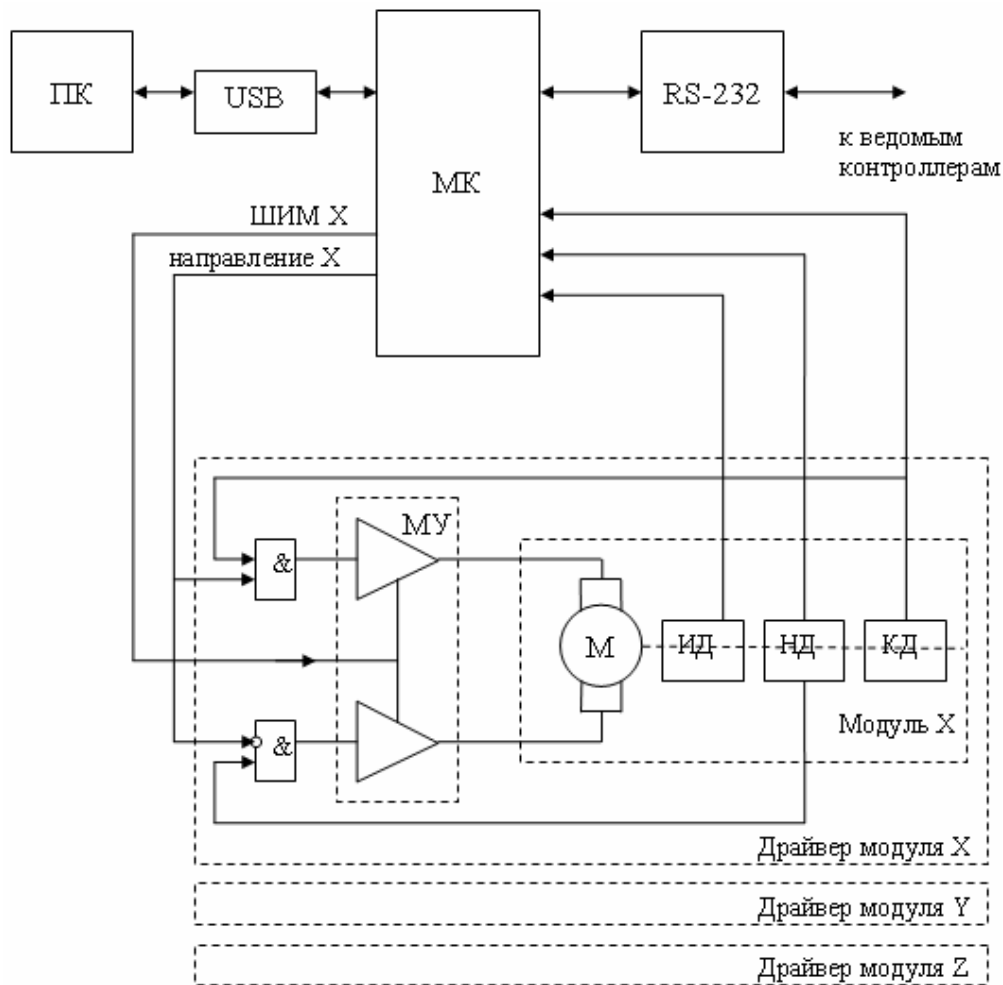


Рис. 3. Функциональная схема ведущего контроллера

Микроконтроллер отслеживает состояние инкрементного датчика (ИД), датчика начального положения (НД) и датчика конечного положения (КД) каждого модуля. Импульсы, поступающие с инкрементного датчика, сообщают о положении платформы соответствующего модуля, учитывая направление вращения вала серводвигателя этого модуля. Датчики начального и конечного положений предоставляют микроконтроллеру ссылки на абсолютные положения платформы: при срабатывании НД – $X = 0$, а при срабатывании КД – $X = \text{длина модуля } X$. Кроме того, датчики КД и НД управляют ключами выбора направления включения МУ, и при срабатывании одного из них МУ блокируется в соответствующем направлении, что предотвращает выход из строя серводвигателей модулей.

В качестве устройства управления ведущим контроллером был выбран 32-разрядный мик-

роконтроллер AT91SAM7S256 [4], отвечающий всем требованиям разрабатываемой системы.

Принципиальная схема модуля управления двигателями X и Y приведена на рис. 4. Схема построена на основе одной микросхемы L293B (DA3) и использует оба канала в двунаправленном включении для управления двигателями X и Y. Входная логика на микросхемах DD1 и DD2 формирует сигналы управления двигателями X и Y, соответственно. Модуль управления двигателем Z построен по идентичной схеме.

Взаимодействие между ведущим и ведомыми контроллерами обеспечивает перемещения манипулятора, управляемого ведомым контроллером, по траектории заданной ведущим контроллером. При этом обмен инициирует ведущий контроллер, в то время как ведомый контроллер передает только данные в ответ на некоторые команды.

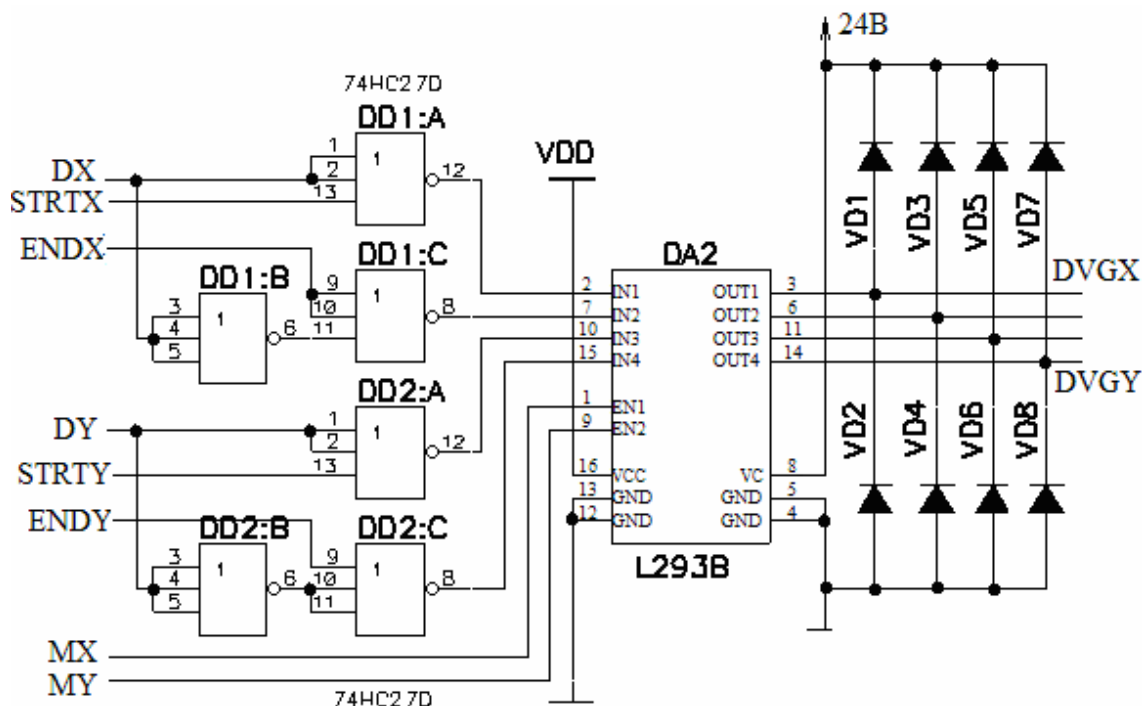


Рис. 4. Принципиальная схема модуля управления двигателями

Все команды ведущего контроллера имеют общий формат:

Код команды (1 байт)	Аргументы (6 байт)
----------------------	--------------------

Сообщения от ведомого контроллера также имеют фиксированную длину (6 байт) и содержат текущие координаты X , Y , Z (16-битные целые знаковые числа):

X	Y	Z
-----	-----	-----

К числу основных в наборе макрокоманд можно отнести:

- 1) `setPosition(X , Y , Z)` – установка новой позиции манипулятора;
- 2) `getPosition()` – получение текущей позиции манипулятора;
- 3) `calibrate()` – калибровка ведомого манипулятора: измерение длины модуля, максимальной и минимальной скорости перемещения платформы модуля;
- 4) `setSpeeds(X , Y , Z)` – установка нового вектора скорости перемещения манипулятора (в десятых долях миллиметра в секунду);
- 5) `getSpeeds()` – получение текущего вектора скорости перемещения манипулятора;
- 6) `setMaxTime(T)` – установка времени выполнения команды перемещения (T – в миллисекундах).

Возможности разработанной системы управления группой манипуляторов рассмотрим на простом примере позиционирования объекта и

перемещения его в пространстве с помощью двух манипуляторов.

Первый манипулятор, управляемый ведущим контроллером, обеспечивает позиционирование одного из концов объекта (X , Y , Z). Второй манипулятор, управляемый ведомым контроллером, производит позиционирование второго конца объекта относительно точки начала координат первого манипулятора. Положение второго конца тела задается в сферических координатах относительно положения первого манипулятора:

$$(X_2, Y_2, Z_2) \Rightarrow \begin{cases} \theta = \arccos \frac{Z_2 - Z}{\rho}, \\ \varphi = \arctg \frac{Y_2 - Y}{X_2 - X}, \\ \rho = \text{const}, \end{cases} \quad (1)$$

где θ – зенитный угол наклона; φ – азимутальный угол наклона; ρ – длина объекта, неизменная в данном случае (рис. 5).

Таким образом, положение объекта в пространстве определяется пятью координатами – (X , Y , Z , θ , φ). Для обратного преобразования координат второго манипулятора используются выражения:

$$(X, Y, Z, \theta, \varphi) \Rightarrow \begin{cases} X_2 = X + \rho \sin \theta \cos \varphi, \\ Y_2 = Y + \rho \sin \theta \sin \varphi, \\ Z_2 = Z + \rho \cos \theta. \end{cases} \quad (2)$$

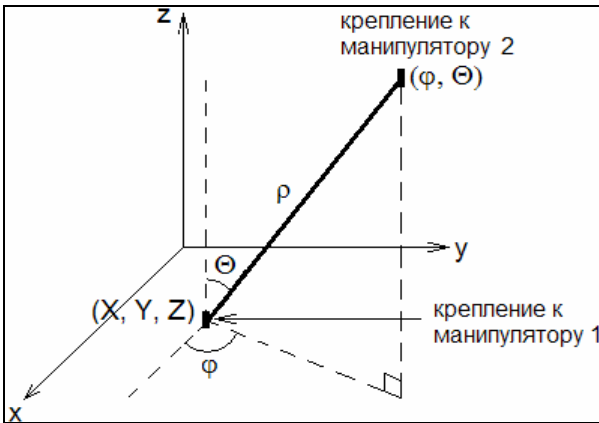


Рис. 5. Определение положения объекта в пространстве

Для задания траектории перемещения произвольного вида $f(X, Y, Z, \theta, \varphi) = 0$ используется приведение аналитического представления траектории к совокупности функций от общего параметра t по каждой координате, где пара-

метр t может быть привязан к реальному параметру (например, времени перемещения или углу поворота для вращательных движений объекта).

После преобразования траектории к виду с общим параметром можно, выбрав достаточно малый шаг (исходя из разрешающей способности манипулятора), получить дискретные значения функций по всем координатам $\{X, Y, Z, \theta, \varphi\}$ в каждый момент времени t . Далее, воспользовавшись уравнениями (2), можно вернуться к координатам манипуляторов в декартовой системе координат.

Рассмотрим реализацию алгоритма для случая вращения твердого предмета, удерживаемого захватами двух манипуляторов, вокруг собственного центра (рис. 6). Для задания траектории движения предмета по каждой из пяти координат будем использовать строковые представления функций $(F_x, F_y, F_z, F_\theta, F_\varphi)$.

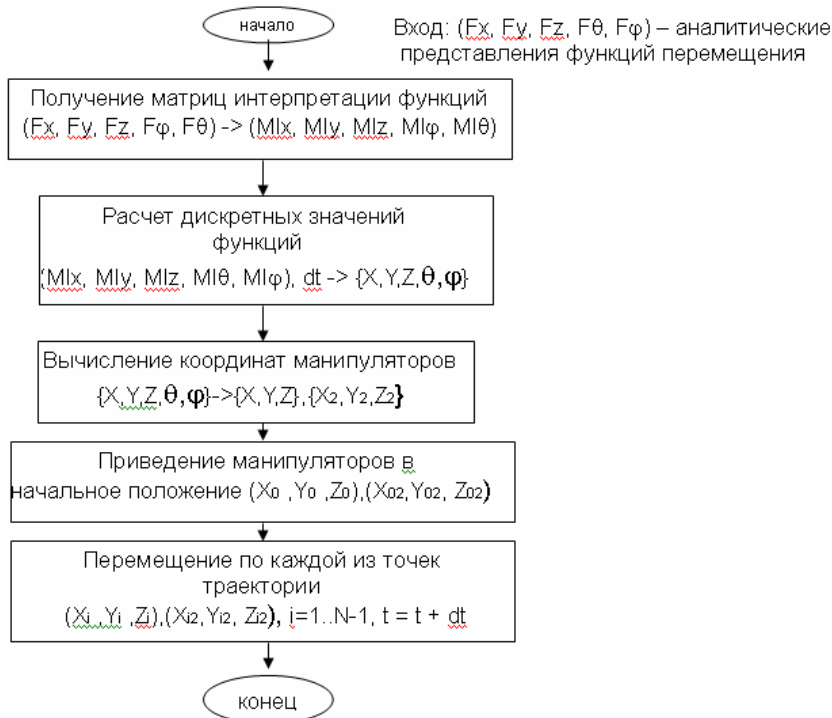


Рис. 6. Обобщенный алгоритм работы программы задания траектории

После ввода всех строковых представлений функций производится трансляция их в матрицы интерпретации $(MI_x, MI_y, MI_z, MI_\varphi, MI_\theta)$ по формальной грамматике математических функций, разработанной для рассматриваемого примера. Затем, по полученным матрицам интерпретации с заданным шагом dt можно произвести дискретизацию введенных функций. Для

приведения в начальное положение обоих манипуляторов запрашиваются их текущие координаты и рассчитываются промежуточные точки перемещения предмета в новое положение. Перемещение в новое положение производится в два этапа: сначала происходит параллельное перемещение, а затем – поворот на недостающий угол. Полученные таким образом дискрет-

ные положения предмета поочередно передаются ведущему контроллеру.

На базе реализованной системы управления двумя манипуляторами был предложен подход к решению задач позиционирования и перемещения объектов в пространстве по заданной траектории. Разработана программа, позволяющая задавать траекторию движения объекта с помощью аналитических зависимостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Конюх, В. Л.* Основы робототехники / В. Л. Конюх. – М: Феникс. – 2008. – 281с.
2. *Карнаухов, Н. Ф.* Электромеханические и мехатронные системы / Н. Ф. Карнаухов. – Ростов н / Д : Феникс, 2008. – 320 с.
3. Техническое описание учебного модульного робота УМР-2 [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : www.fcub.mirea.ru/facult_struct/kafedri/kaf_pu/tech.pdf.
4. Справочник по микроконтроллерам семейства AT91SAM7 [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6175.pdf.