

Особенности построения информационной системы многозвенного манипулятора с учетом специфики среды¹

Богданов Д.Р.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа

В статье рассматриваются особенности построения звена манипулятора на базе кинематически связанных дисков со сферической поверхностью, требования к его системе управления. Описана реализация информационно-измерительной системы манипулятора. Представлены предварительные результаты, полученные в ходе экспериментов.

1. Введение

Манипуляторы являются важной и, часто, самой сложной частью промышленных робототехнических систем. Именно возможности манипулятора определяют, в основном, функциональность промышленных роботов: региональную и локальную области рабочей зоны [1], способность работать с различными предметами и веществами, грузоподъемность, точность доставки объекта и т.д. Манипуляторы традиционных промышленных роботов имеют, как правило, минимальное количество степеней свободы (до 6) и используются, в основном, в условиях организованной среды. Они имеют жесткие кинематические связи и обеспечивают необходимую точность позиционирования в рабочей области. Как правило, манипулятор делят на два кинематических участка: кисть с захватом и саму руку. Кинематика руки определяет размеры и форму ее рабочего пространства. Возможные структурные кинематические схемы руки промышленных манипуляторов на сегодняшний день классифицированы и описаны в литературе [1].

Когда среда не организована или частично не организована, возникает вопрос адаптации к среде, что требует, зачастую, избыточных и «необычных» степеней подвижности манипулятора (например, движение по узкому каналу с изменяющимся направлением). Такая задача, например, может возникнуть при покраске внутренних поверхностей кузовов автомобилей или контроле внутренних полостей объекта с заранее неизвестной конфигура-

цией. В таких случаях традиционные манипуляторы не годятся в силу жесткой структуры и недостаточного количества степеней свободы. Неопределенность среды функционирования, таким образом, является одним из источников многообразия и непрерывного процесса создания новых манипуляторов. Кроме того, манипуляторы часто являются рабочим органом мобильных роботов (наземных, подводных, космических), выполняющих разнообразные задачи, некоторые из которых могут быть заранее не определены. Одними из представителей таких манипуляторов являются манипуляторы типа «хобот». Известны различные реализации такого типа манипуляторов [1–3].

2. Постановка задачи

В данной статье рассматривается звено многозвенного манипулятора (МЗМ) [4–6], имеющего 2 степени свободы, и построенного на базе дисков со сферической поверхностью. Движение и положение дисков друг относительно друга обеспечивается перемещением и натяжением 4 тросов, пропущенных сквозь отверстия в дисках. Тросы приводятся в движение 4-мя электрическими приводами. Количество дисков может быть различным и определяет размеры и форму рабочего пространства звена и требования к параметрам приводов.

Кинематическая схема манипулятора в одной плоскости представлена на рис. 1.

Как видно из кинематической схемы положение конечной точки (или точки схвата) звена определяется расположением дисков друг относительно друга, которое, в свою очередь, определяется со-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-08-00567-а).

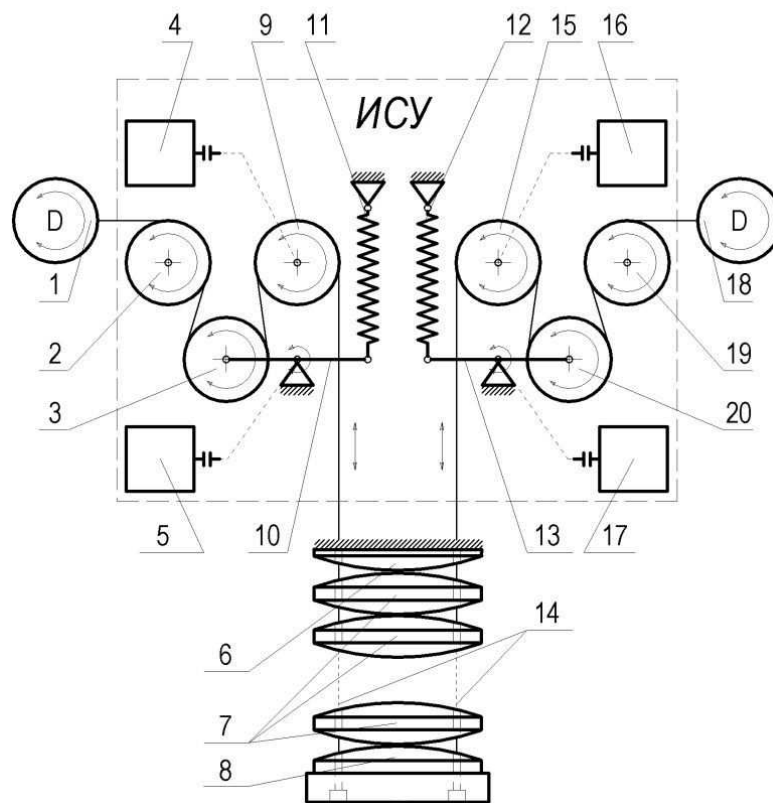


Рис. 1. Кинематическая схема МЗМ в одной плоскости: 1, 18 — двигатели постоянного тока для перемещения тросов; 2, 9, 15, 19 — направляющие ролики; 3, 20 — натяжные ролики; 10, 13 — коромысло; 11, 12 — пружины растяжения; 6 — первый опорный элемент звена МЗМ; 7 — промежуточные диски; 8 — последний элемент звена МЗМ; 5, 17 — энкодеры абсолютного типа; 4, 16 — энкодеры инкрементного типа; 14 — тросы

вокупностью длин каждого из тросов. Длина парно противоположных тросов должна изменяться с разным знаком при движении в любой квадрант области перемещения, за исключением случая движения звена строго по оси какого-либо из тросов. В этом случае изменение длин поперечно расположенных тросов сонаправлено. Также необходимо, чтобы система приводов манипулятора обеспечивала одинаковое натяжение всех тросов, причем так, чтобы сила реакции опоры в точках контакта звеньев гарантировала отсутствие проскальзывания (достаточную величину силы трения). Данное требование обеспечивается синхронностью перемещения тросов. Вышеизложенное позволяет отнести такое звено к кинематически связанному типу звеньев. А это, в свою очередь, определяет количество степеней свободы звена. Несмотря на то, что количество дисков N определяют $2 \times N$ степеней свободы, кинематическая связанность дисков ограничивает степень свободы звена числом 2. Еще одной особенностью являются упругие свойства зве-

на, обусловленные натяжением тросов и деформацией дисков в точке контакта [1]. Отсюда возникают повышенные требования к системе управления манипулятором с такими звеньями и к информационной ее части, в частности, по сравнению с манипулятором с кинематически развязанными жесткими звеньями.

Рассмотрим обобщенную структурную схему манипулятора (рис. 2).

На вход информационно-измерительной системы манипулятора поступает информация двух типов:

- данные о состоянии манипулятора и силовых приводов, необходимые для решения задач управления и обеспечения синхронности перемещения тросов;

- данные об окружающей среде и рабочей зоне, необходимые для уточнения текущего положения манипулятора в пространстве и выполнения заданных операций (задачи планирования).

В данной работе рассматривается вопрос полу-

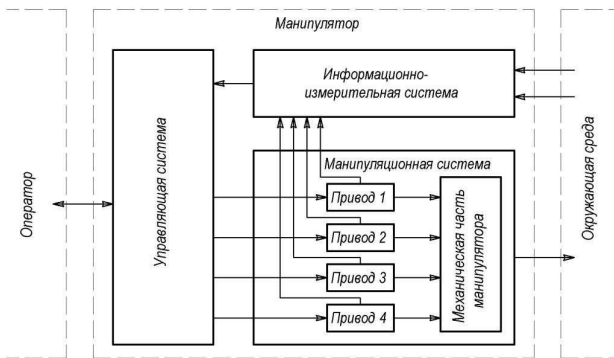


Рис. 2. Обобщенная структура манипулятора

чения информации первого типа, ее обработки, на основе которой решаются базовые задачи управления одним звеном, состоящим из известного количества дисков.

3. Решение задачи

Для решения поставленной задачи был спроектирован и изготовлен информационно-силовой узел (ИСУ) манипулятора, который входит в состав лабораторного макета и выполняет следующие функции:

- контроль перемещения и натяжения тросов;
- компенсация неравномерностей перемещения тросов, вызванных разбросом характеристик приводов и элементов манипулятора, упругими свойствами тросов, погрешностями измерительной и управляющей систем;
- адаптация манипулятора к возмущениям со стороны внешней среды за счет использования более полной и комплексной обработки информации с датчиков натяжения тросов.

Работа ИСУ видна из кинематической схемы (рис. 1). Работа каждого из каналов идентична, поэтому достаточно рассмотреть работу узла на примере одного канала. Ролики 2 и 9 играют роль направляющих для троса. Оси роликов установлены на подшипники качения. На ось ролика 9 установлен оптический энкодер 4 инкрементного типа (ЭИ) (16384 импульсов/оборот), позволяющий измерить поворот оси ролика и соответственно перемещение L троса с дискретностью 4,41 мкм:

$$L = R \cdot a = R \cdot N \cdot W,$$

где R — радиус ролика, мм; a — угол поворота ролика, рад; N — количество импульсов с энкодера; W — цена деления одного импульса, рад/имп (характеристика энкодера).

Натяжной ролик 3 через ось и подшипник установлен на консоль коромысла 10, второй конец ко-

торого через пружину растяжения 11 фиксируется к корпусу ИСУ. При натяжении троса ось коромысла, установленного на подшипник качения, поворачивается и поворачивает сочлененную с ним ось энкодера абсолютного типа 5, при этом на его выходе формируется цифровой код пропорциональный натяжению троса с дискретностью $d = 2 \cdot \pi / 16384$. Таким образом, реализуется функция измерения натяжения троса.

Диапазон поворота коромысла ограничивается с помощью концевых выключателей, построенных на базе датчиков Холла и магнитов из редкоземельных материалов (на рис. 1 не показаны). Датчики Холла установлены на корпусе ИСУ. Магнит крепится на торце коромысла со стороны оси натяжного ролика.

Количественный расчет характеристик пружин (длина, жесткость) датчиков в данной статье не рассматривается, приведем лишь соображения, в соответствии с которыми выбираются пружины. Пружины подбираются таким образом, чтобы коромысло находилось в нижнем крайнем рабочем положении, когда тросы звена МЗМ максимально опущены, но при этом верхнее звено манипулятора сомкнуто с опорным звеном 6 МЗМ. Нижние концевые выключатели на всех приводах при этом должны находиться в выключенном состоянии, сигнализируя таким образом о том, что тросы манипулятора находятся в достаточном натяжении. Баланс натяжений тросов друг относительно друга регулируется по показаниям с энкодеров на оси коромысел.

Если какой-то из тросов будет ослаблен, вес манипулятора распределится на оставшихся тросах, и коромысла на этих осях повернутся, натягивая соответствующие пружины. Коромысло ослабленного троса в этом случае будет находиться в крайнем нижнем положении, и концевой выключатель сработает, сигнализируя о выходе натяжения троса за рабочий диапазон.

Если верхний диск звена манипулятора разомкнут с опорным элементом звена, тогда, при равномерной нагрузке дисков на тросы, все нижние концевые выключатели включатся, сигнализируя о граничном состоянии МЗМ системе управления. Если натяжение тросов будет неравномерным, тогда часть этих датчиков может быть включена, часть выключена (это зависит от жесткости пружины). Таким образом, рабочим состоянием манипулятора является выключенное состояние всех нижних концевых выключателей. Эта информация в купе с данными о натяжении тросов используется для базирования манипулятора. Далее, по мере натягивания тросов возможно срабатывание верхних кон-

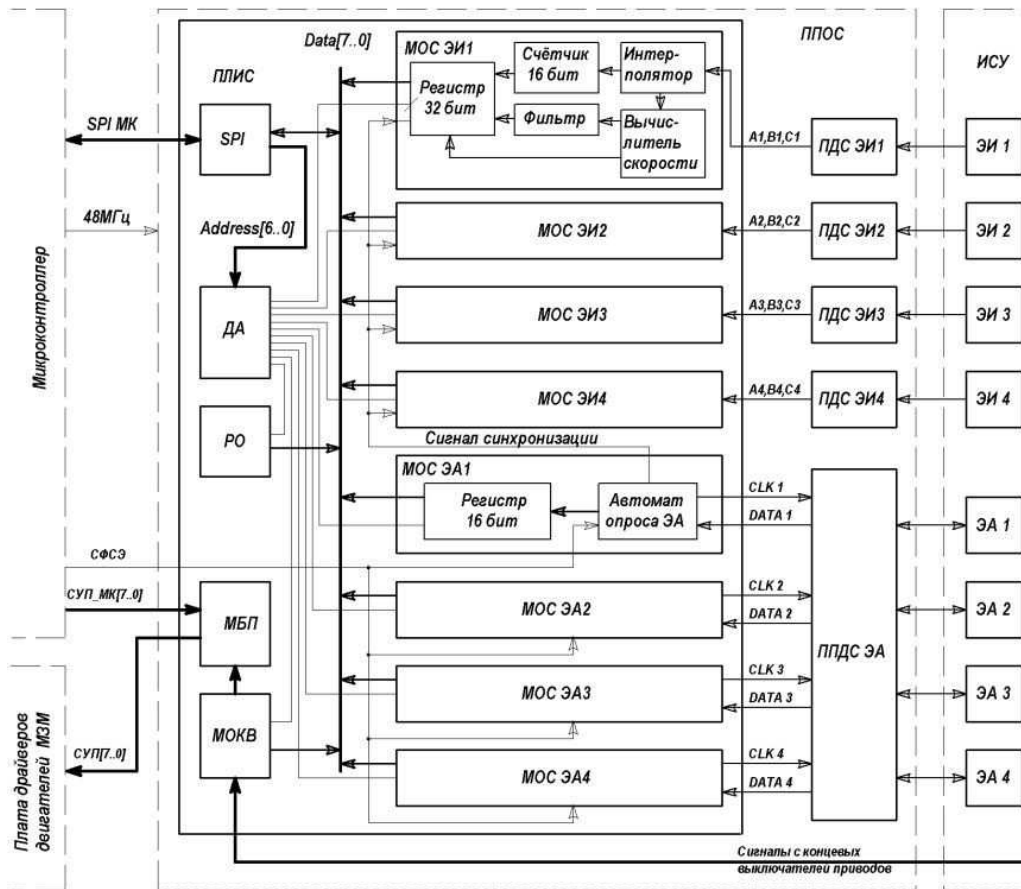


Рис. 3. Схема предварительной обработки

цевых датчиков, по сигналам с которых привод перемещения соответствующего троса выключается, предотвращая таким образом чрезмерное натяжение троса и повреждение механических частей системы. Приводы также отключаются и при срабатывании нижних концевых датчиков, чтобы исключить излишнее разматывание тросов и предотвратить их выпадение из пазов направляющих роликов.

На выбор пружин также влияет количество дисков, так как это определяет общую массу звена, и жесткость пружин должна быть достаточной, чтобы обеспечить работу звена в крайних верхних положениях рабочей точки, где нагрузка на пружины максимальная, чтобы не вызвать ограничивающее срабатывание верхних концевых выключателей по натяжению троса.

Сигналы с энкодеров и концевых выключателей ИСУ поступают на схему предварительной обработки сигналов с энкодеров (ППОС) (рис. 3).

Рассмотрим работу данного модуля. Дифференциальные сигналы с энкодеров инкрементного

типа через приемники дифференциальных сигналов (ПДСЭИ1–ПДСЭИ4) поступают на входы модулей обработки сигналов с энкодера инкрементного типа (МОС ЭИ), входящих в состав схемы, реализованной на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС).

В МОС ЭИ производятся следующие операции:

- выделение из фронтов квадратурных (сдвинутых друг относительно друга на 90 град) сигналов А и В счетных импульсов и формирование сигнала направления счета. Далее эти сигналы поступают на 16-ти разрядный счетчик;
- обработка нулевого (реперного) сигнала С, которая заключается в инкременте или декременте содержимого счетчика, в зависимости от направления движения оси энкодера, на значение $N_{оборот}$ (количество импульсов на один оборот энкодера);
- вычисление скоростей перемещения тросов;
- перезапись содержимого счетчика в буферный регистр по синхронизирующему импульсу, поступающему с модуля обработки сигналов энкодеров абсолютного типа (МОС ЭА).

Так как вычисление скоростей перемещения тросов, необходимое для осуществления расчетных движений манипулятора, отнимает достаточно много вычислительных ресурсов у микроконтроллера, данная функция была реализована аппаратно в структуре ПЛИС. Аппаратная реализация позволила решить эту задачу в параллельном виде для всех 4-х координат, освобождая вычислительные ресурсы микропроцессора. Также аппаратно была реализована фильтрация (усреднение) данных о скорости за несколько периодов опроса, чтобы обеспечить более гладкое управление двигателем на малых скоростях.

Схема приема данных с энкодеров абсолютного типа (ЭА) работает следующим образом. Дифференциальные сигналы с энкодеров абсолютного типа через приемники-передатчики дифференциальных сигналов (ППДСЭА1–ППДСЭА4) поступают на входы модулей обработки сигналов с энкодера абсолютного типа (МОС ЭА), также реализованных в структуре ПЛИС. При поступлении периодического сигнала фиксации состояния энкодеров (СФСЭ) с микроконтроллера, автомат опроса ЭА формирует последовательность $N + 1$ импульсов (N – разрядность энкодера). Содержание внутреннего содержимого счетчика энкодера фиксируется в выходном регистре энкодера первым спадающим фронтом последовательности импульсов. На каждый последующий импульс энкодер выдает содержимое выходного регистра в последовательном коде, начиная со старшего разряда, которые через ППДС ЭА поступают на регистр сдвига, формируя параллельный код значения ЭА.

Для того чтобы значения с энкодеров инкрементного типа и абсолютного типа снимались одновременно, в автомате МОС ЭА по сигналу, который фиксирует значение ЭА, формируется синхронизирующий сигнал для фиксации значений ЭИ. Таким образом, происходит одновременное считывание данных с энкодеров ИСУ и параллельная первичная обработка сигналов в ППОС по синхроимпульсу, поступающему с микроконтроллера. Это позволяет обеспечить требуемую синхронность в системе управления двигателями. После расчета необходимых значений скорости вращения двигателей производится одномоментная загрузка новых значений ШИМ в микроконтроллер, пропорциональных скорости приводов Р.

Управляющим сигналом для приводов служит ШИМ сигнал, поступающий с силовых драйверов. Сигнал формируется ПИД-регулятором, реализованным на базе микроконтроллера. Для определения параметров ПИД-регулятора необходимо знать точные характеристики привода как объек-

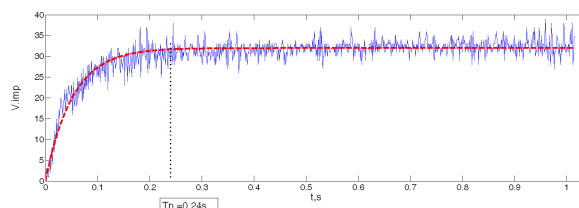


Рис. 4. Переходная характеристика привода (без датчика натяжения)

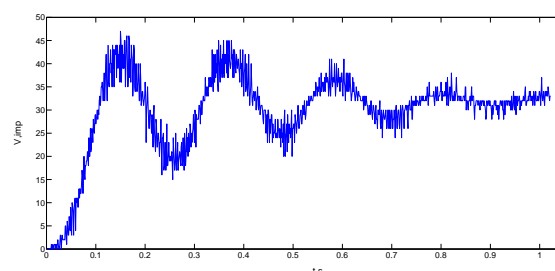


Рис. 5. Переходная характеристика привода (с датчиком натяжения)

та управления. Аналитический расчет параметров привода является достаточно сложной задачей и возможен лишь при наличии точной модели, поэтому разумной альтернативой является снятие характеристик объекта экспериментально. Для этого на трос выбранной оси подвешивался груз, имитирующий максимальную нагрузку во время работы манипулятора. Затем на двигатель подавалось управляющее воздействие с максимальным рабочим значением (в данном случае сигнал с максимальным значением ШИМ) и снимались данные с энкодера о скорости перемещения троса. Временной интервал эксперимента выбирался из условия, чтобы скорость достигала максимально возможного значения при данном входном воздействии на привод. Результаты экспериментов для одного привода представлены на рис. 4 и 5. На рис. 4 показан случай, когда из кинематической схемы ИСУ исключен датчик натяжения. Полученная переходная характеристика является типичной для двигателя постоянного тока. На рис. 5 отображен случай с датчиком натяжения в составе ИСУ.

Видно, что переходный процесс характеризуется высокой колебательностью со слабой степенью затухания. Очевидно необходим выбор пружины с большим коэффициентом жесткости.

Чувствительность построенной информационной системы достаточно высока: на полученных графиках ярко выражены шумы, вызванные неравномерностью укладки тросов, биением осей валов

двигателя, шестерен редуктора и других воздействий на исполнительную манипуляционную систему, общий вклад которых в ошибку отработки входного воздействия составляет несколько процентов.

4. Заключение

На основе разработанной архитектуры информационной системы и полученных в ходе экспериментов предварительных данных можно сделать вывод о том, что запланированные далее работы по уточнению модели приводов, кинематических моделей манипулятора и синтезу системы управления вполне осуществимы. Характер переходных процессов, изменение в широком диапазоне параметров ПИД-регулятора приводов требуют разработки специализированной методики синтеза интеллектуального контура параметрической коррекции в системе управления. Для снижения вычислительной нагрузки на микропроцессор управления приводами проводятся работы по переносу большей части алгоритмов предварительной обработки данных в структуру ПЛИС.

Список литературы

- [1] Теоретические основы робототехники. В 2 кн./ А.И. Корендясов, Б.Л.Саламандра, Л.И. Тывес;

Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Кн. 1. М.: Наука, 2006.

- [2] <http://roboslavie.su/2010/10/zmeepodobnyye-roboty-robot-spine>.
- [3] <http://www.ibcsol.ru/xobot-slona-dlya-zadach-pickaplace.html>.
- [4] Даринцев О.В., Богданов Д.Р. Система сбора и обработки информации для многозвенного манипулятора // Мат-лы 4-й Всерос. мультikonф. по проблемам управления. Т.2. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2011. С. 204–206.
- [5] Даринцев О.В., Богданов Д.Р. Интеллектуальная подсистема обратной связи многозвенного манипулятора // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2011): материалы Междунар. науч.-техн. конфер. Донецк: ИПШ «Наука і Освіта». 2011. С. 218–222.
- [6] Даринцев О.В., Богданов Д.Р. Разработка информационной подсистемы многозвенного манипулятора на базе ПЛИС // «Динамика научных исследований– 2011», материалы VII междунар. научно-практ. конф., т. 20 «Технические науки. Физика». Пржемысль, Nauka i studia. 2011. С. 50–56.