

УДК 004

Внешний отладочный комплекс для систем управления движением в мехатронных устройствах

10, сентябрь 2012

Пашинский И.О.

*Научный руководитель: Юдин А.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Введение

Инженерные разработки практически в любой области техники, в конце концов, связаны с движением. Иногда это движение привычное, непосредственно механическое, как в случае с автомобилем, мобильным роботом или даже потоком воды, а иногда это движение принимает форму сигналов (электронных и не только), потока байт информации, без которого, например, не мыслима сеть Интернет. Несмотря на видимые различия, с технической точки зрения подобные явления являются объектами управления. Именно управление позволяет направить движение, как универсальный объект, в нужном нам направлении, а в некоторых случаях и использовать одинаковый математический аппарат при решении, казалось бы, различных задач.

Поиск единых законов управления приводит нас к интеллектуальным мехатронным системам, которые способны не только реагировать по заранее заданному алгоритму, но и учиться, накапливая опыт в активном взаимодействии с окружающей средой. Такие мехатронные системы в некотором смысле являют искусственный аналог естественных биологических организмов в живой Природе. Каждый элемент этих систем вносит свой вклад в общий результат управления, но вклад этот носит синергетический характер и многократно превосходит возможности каждого элемента в отдельности. Изучение подобных эффектов представляет особый интерес.

Современные разработки в таких областях как: военное дело, производство, наука, медицина и даже образование, уже неотделимы от понятия мехатронных систем или модулей. Такие системы помимо прочего должны иметь подвижные элементы, исполнительные механизмы, основой которых являются двигатели различной физической природы. Стоит отметить, что независимо от типа двигателя в любой системе встает вопрос о точности позиционирования во времени и, соответственно, управления.

Актуальность поиска оптимального управления и минимизации ошибок позиционирования мобильных объектов не вызывает вопросов. Об этом докладывали на конференциях в 1995 году [1], не угасал интерес к этой теме и в 2007 [2].

Авторы статей описывают причины возникновения систематических и несистематических ошибок при движении мобильного робота по плоской поверхности, а также способы их устранения. Предлагаются типичные процедуры оценки ошибок в общем виде. Слабой в данных работах видится лишь возможность технически точно отслеживать положение робота на плоскости, т.к. авторы не предлагают никакой приборной базы для этого. Кроме того, некоторые методы предполагают наличие

значительного свободного пространства (например, квадрат 5x5м), что не всегда достижимо в условиях университетских лабораторий.

Немаловажно будет отметить и предыдущие работы авторов [4, 5], в которых описана система управления электроприводом мобильного робота на плоскости, выполненная в рамках подготовки к соревнованиям мобильных роботов Евробот 2011 [6]. При дальнейшем проведении исследований в сфере управления объектом неминуемо встает необходимость обкатки робота в различных условиях, для оценки применимости тех или иных алгоритмов работы системы управления. Решить поставленные задачи позволяет обкатка непосредственно на тестовом полигоне, либо на специализированном стенде. Выполнить это на тестовом полигоне проблематично, т.к. на площадке размером более 2x2м тяжело обеспечить разнообразие покрытий, рельефа и внешних воздействий на объект, поэтому для обкатки и настройки систем робота целесообразно применять стенд.

В данной работе делается попытка обобщить результаты, описанные в статьях [1,2], и дополнить их, создав универсальный обкаточный стенд для мобильных роботов с дифференциальным приводом, что позволит упростить исследования систем управления движением и продолжить работу [4].

Предлагаемый обкаточный стенд предоставляет все необходимые возможности для проведения испытаний. Это и возможность простой смены покрытий поверхности для движения робота, и широкий диапазон регулирования форм поверхности для движения и значений внешних механических воздействий на ходовую часть робота.

Стенд универсален: можно проводить испытания роботов с различными межколесными расстояниями, габаритами, массами, с различными мощностями маршевых двигателей, а также с различными моментами инерции относительно центра масс робота.

Основная задача стенда обеспечить наиболее качественное и реалистичное моделирование движения объекта управления в различных условиях. Используя комплекс «стенд-робот-компьютер» можно получить высокоточную систему управления, обеспечивающую движение по желаемым траекториям в заданном диапазоне внешних воздействий. Рассмотрим комплекс подробнее.

1 Структурно-функциональное построение отладочного комплекса

Общая структурная схема отладочного комплекса показана на рис. 1.



Рис. 1 - Общая структурная схема отладочного комплекса

Структурно комплекс представлен тремя большими блоками: персональный компьютер (ПК), робот, и непосредственно обкаточный стенд. Схема показывает взаимодействие между составляющими комплекса. С ПК оператор управляет процессом обкатки: задает настройки системы автоматического управления, задает траектории движения робота, форму и величину внешнего воздействия. Оператор также может вручную менять покрытия валиков, задавая поверхность движения, также вручную можно менять моменты инерции валиков. Обкаточный стенд выполняет все команды, поступающие с ПК, обеспечивая все необходимые условия моделирования движения.

2 Структурная схема обкаточного стенда

Структурная схема обкаточного стенда показана на рис. 2.



Рис. 2 – Структурная схема обкаточного стенда

Находясь на стенде, робот опирается каждым колесом на два валика: основной и дополнительный (соответственно ОВ и ДВ). Активные колеса робота, соприкасаясь с ОВ и ДВ, приводят их во вращение. ДВ служит для поддержки колеса робота и регулировки расстояния r (далее подробнее), ОВ поддерживает колесо робота, а также служит для передачи внешнего воздействия (от блока ЭП). Инерционный валик (ИВ) обладает существенно большим моментом инерции, чем ОВ и ДВ. Момент инерции ИВ переменный, за счет этого можно уравнивать момент инерции ведомого звена с моментом инерции робота относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс робота, чтобы добиться большей достоверности испытаний. Частоту вращения колеса робота (через ОВ) измеряет датчик частоты вращения (ДЧВ). Показания с ДЧВ поступают в микроконтроллер (МК) для анализа и передачи результатов через преобразователь уровней (ПУ) в ПК. Электромагнитный привод (ЭП) изменяет внешнее воздействие на ОВ, т.е. меняет нагрузку, прилагаемую к колесам робота. Сигнал на ЭП поступает с МК через преобразователь сигнала (ПС). Задача ПС: увеличить мощность сигнала от МК.

Конструкция обкаточного стенда состоит из двух частей: механической и электрической.

3 Механическая подсистема

К механической части относятся блоки ДВ, ОВ, ИВ, ЭП. Сборочный чертеж обкаточного стенда представлен на рис. 3. (показана половина стенда - для 1 колеса испытываемого робота, для второго колеса блок аналогичен в силу симметрии рассматриваемого дифференциального привода робота).

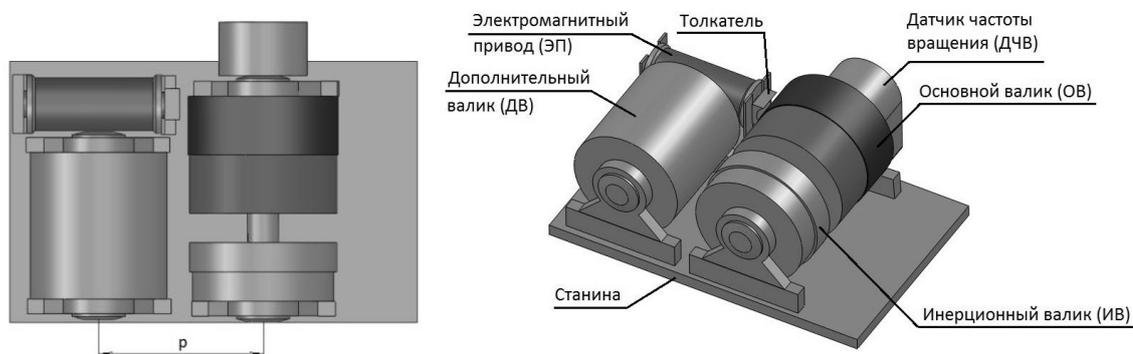


Рис. 3 – Сборочный чертеж обкаточного стенда

ОВ - набор дисков с разными покрытиями (для отработки маневров на различных поверхностях). Оператор меняет покрытия вручную. Опоры ОВ неподвижно закреплены на станине, а опоры ДВ могут перемещаться по направляющим. За счет этого регулируется расстояние между осями валиков r (для разных диаметров колес). ИВ -

набор дисков различной массы для уравнивания моментов инерции (оператор меняет их вручную). Блок ЭП – линейный соленоид, на подвижном сердечнике которого закреплен толкатель. Толкатель, прижимаясь к ОВ, создает дополнительный момент сопротивления вращению.

4 Электрическая подсистема

К электрической части относятся блоки: ДЧВ, ПУ, ПС, МК. Блоки ДЧВ, ПУ подробно описаны в [4]. В этой работе они выполнены аналогично. ПС представляет собой транзисторный каскад. Блок МК – микроконтроллер ATMEL AVR ATmega32A. Задача МК: обеспечить взаимодействие между ПК и исполнительными устройствами стенда. МК передает через ПУ на ПК данные о частотах вращения, и принимает от ПК данные о нагрузке, которую необходимо приложить к колесам робота, т.е. режиме обкатки. Блок МК генерирует ШИМ сигнал, поступающий на блок ПС. ПС усиливает принятый сигнал, и, далее, он поступает на обмотку соленоида (ЭП), который меняет силу прижима толкателя – меняется нагрузка на маршевые электродвигатели.

5 Расчетная схема стенда

На рис. 4 показана расчетная схема обкаточного стенда.

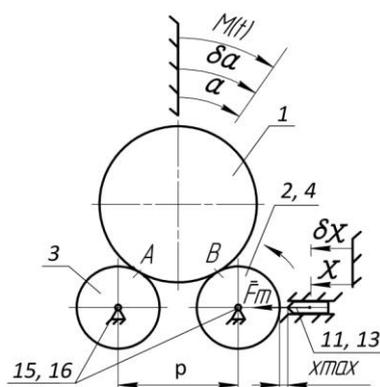


Рис. 4 – расчетная схема обкаточного стенда

Обобщенные координаты: a и x . Соответственно характеризуют угол поворота колеса робота и смещение толкателя ЭП. Начальные условия: при $t=0$, $x=0$, $a=0$, дано x_{max} . Используя уравнения Лагранжа II – рода, получили систему ДУ, описывающую законы движения частей стенда. Анализ динамики стенда проводится в 3 этапа:

- 1) До соприкосновения толкателя и колеса;
- 2) В момент соприкосновения;
- 3) После соприкосновения (возврат толкателя в исходное положение).

Здесь J – момент инерции ротора маршевого двигателя, J_5 – момент инерции ДЧВ, A – общий момент инерции ведомых звеньев. Массы соответствуют звеньям расчетной схемы (например, m_1 – соответствует массе 1-го звена на расчетной схеме).

$$A := \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \left[(R_1)^2 - r^2 \right] + J + \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot \left[(R_3)^2 - r^2 \right] \cdot \left(\frac{R_1}{R_3} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{16} \cdot r^2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_3} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{15} \cdot r^2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_4 \cdot \left[(R_4)^2 - r^2 \right] \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \left[(R_2)^2 - r^2 \right] \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + J_5 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2$$

$$A \cdot \frac{d^2}{dt^2} a(t) = M(t) - R_1 \cdot \mu \cdot K \cdot F(t) - \text{ДУ, описывающее движение колеса}$$

$$\frac{d^2}{dt^2}x(t) = \frac{1}{(m_{11} + m_{13})} \cdot F(t) - ДУ, \text{ описывающее движение толкателя ЭП.}$$

Коэффициент К на этапах 1 и 3 равен 0, т.е. нет момента сопротивления, на этапе 2 равен 1. Решение системы зависит от F(t) и M(t).

6 Программное обеспечение

На рисунке 5 представлен общий вид управляющей программы.

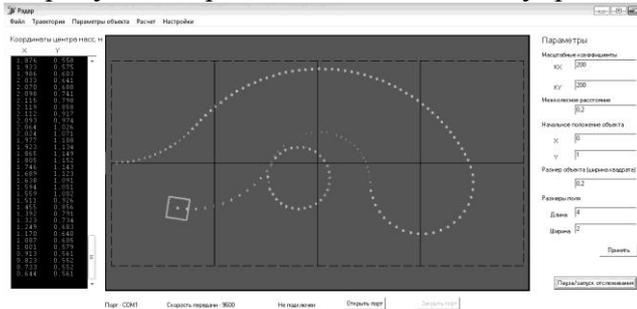


Рис. 5 – Общий вид программы управления стендом

Она создана на языке Object Pascal в среде Delphi 7.0. Программа служит для визуализации движения робота, т.е. она показывает как робот с текущими настройками САУ, при данных нагрузках двигался бы по тестовому полигону. С помощью данной программы можно менять нагрузку на ходовую часть робота, посылая сигнал на ЭП (через цепочку ПУ-МК-ПС). Она также позволяет записывать всю необходимую информацию о поведении объекта для последующей обработки и анализа.

7 Проведение испытаний на стенде

На рисунках 6 и 7 показаны результаты проведения испытаний на стенде.

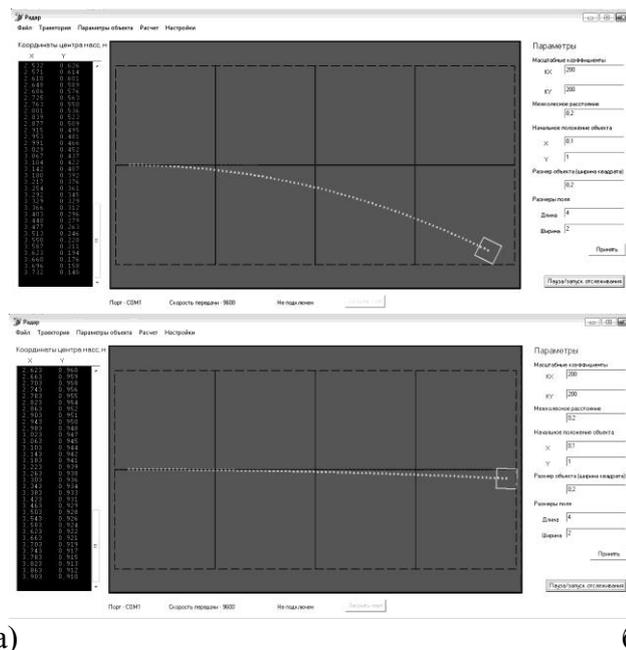


Рис. 6 – Движение робота по прямой: а) – без САУ, б) – с применением САУ

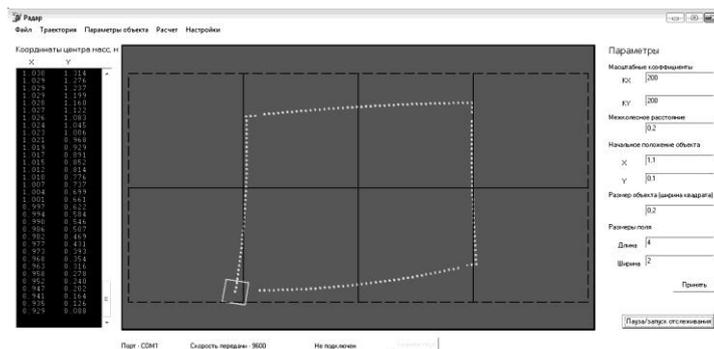


Рис. 7 – Движение робота по заданной траектории – квадрат

Стенд позволяет проводить два вида испытаний: отработка алгоритмов для движения по определенной траектории (например, квадрат) и движение в сложных условиях, т.е. когда ходовая часть робота подвергается дополнительным нагрузкам. Проведя необходимые испытания, можно судить о качестве алгоритмов управления, качестве изготовления механики ходовой части робота, о ходовых характеристиках объекта в общем. Опираясь на полученные результаты, можно улучшить маневренность робота, его скоростные качества.

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны обкаточный стенд, необходимое программное обеспечение, изготовлен действующий макет системы. Проведены испытания комплекса «робот-стенд-компьютер», протестирована работа ПО на практике. Данный стенд обладает хорошими эксплуатационными характеристиками, универсален. Позволяет производить качественную настройку САУ для движения по заданной траектории и при различных внешних нагрузках. При использовании обкаточного стенда значительно сокращается время настройки САУ, но окончательные испытания и приемку объекта управления рекомендуется проводить в необходимых режимах движения в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Borenstein, J., Liqiang, F.: Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots. IROS '95, Pittsburgh, Pennsylvania, August 5-9, pp. 569-574.
2. Ivanjko, E., Komsic, I., Petrovic, I.: Simple Off-Line Odometry Calibration of Differential Drive Mobile Robots. RAAD '2007, Zagreb, Croatia, June 7-9.
3. А.Е. Аверьянихин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, Л.А. Зинченко, В.А. Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А. Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 53 с.: ил.
4. И.О. Пашинский, А.В. Юдин Интеллектуальная система управления электроприводом в задачах навигации мобильного робота // Сборник научных трудов. 13-ая Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы». - Москва. 27-28 апреля 2011 г. - с. 257-261.
5. Kuturov, A., Yudin, A., Pashinskiy, I., Chistyakov, M.: Team Development of an Autonomous Mobile Robot: Approaches and Results. Technical report, 4th International Conference on Research and Education in Robotics, Prague, Czech Republic, June 15-17, 2011, pp. 187-201.
6. Молодежные соревнования мобильных автономных роботов Евробот. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot.org>, <http://www.eurobot-russia.ru>

—Проверено 31.01.2012.