

УДК 621.865.8

Д. Р. Файзуллин, А. М. Кулабухов

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Розглядається спрощена математична модель транспортного робота, алгоритм керування з використанням пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора і наводяться результати випробувань.

Ключові слова: транспортний робот, ПІД-регулятор, спрощена математична модель плоского руху.

Рассматривается упрощенная математическая модель транспортного робота, алгоритм управления с использованием пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора и приводятся результаты испытаний.

Ключевые слова: транспортный робот, ПИД-регулятор, упрощенная математическая модель плоского движения.

A simplified mathematical model of transport robot and a control algorithm with the use of PID-regulator are considered. Tests results are conducted.

Key words: transport robot, PID-regulator, a simplified mathematical model of planar motion.

Постановка задачі. Для автоматизації погрузочно-разгрузочних робот, як на стартовій позиції, так і в космічному просторі в останнє время стали широко застосовувати роботи-маніпулятори. Особливо важна така задача при зборці космічних систем, запускених різними ракетами-носітелями, на орбіті (проект «Двійний старт», ГП «КБ «Южне» імені М.К. Янгеля», Україна).

Движення багатомасових тіл достатньо широко розглядається в літературі в залежності від цільової задачі транспортного робота [1, 2].

Розглянемо рух робота-маніпулятора характеризується поступальними і вращательними рухами.

Решення задачі. Розглянемо випадок плоского руху триколісного робота з двома ведучими колесами (рис. 1).

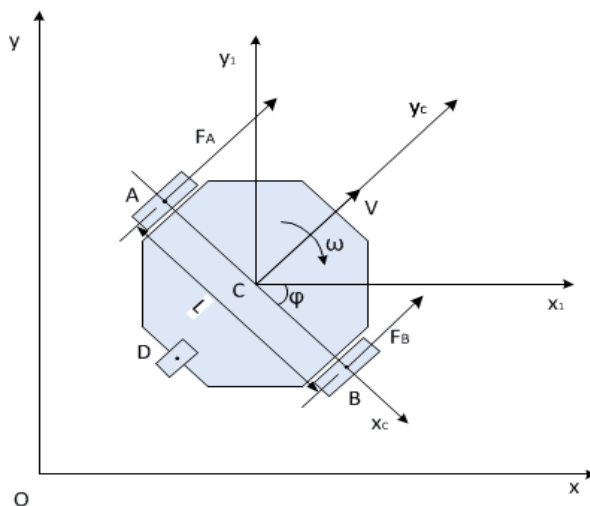


Рис. 1. Движение робота под воздействием системы сил

Предположим, что A и B – два ведущих колеса имеющих независимое управление, C – центр масс и центр вращения робота ($AC = BC$), D – ведомое колесо, L –

расстояние между ведущими колесами, колеса вращаются без проскальзывания, оси вращения колес совпадают с линией AB , F_A и F_B – результирующие силы, действующие на робот [3].

Положение твердого тела, совершающего плоское движение, определяется тремя параметрами. В качестве этих параметров выберем координаты центра масс робота и угол поворота робота относительно оси, перпендикулярной к рассматриваемому плоскому сечению робота.

Введем системы координат. Пусть система координат $C_r x_r y_r$, имеющая начало в центре масс робота, движется поступательно относительно неподвижной системы координат Oxy . Положение тела будет полностью определено, если известны координаты центра масс робота (x_c, y_c) и угол φ между осью x_1 и x_2 системы координат Cx_2y_2 , жестко связанной с роботом и имеющей начало в центре масс робота [4].

Движения твердого тела в плоскости можно описать системой трех дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \sum F_x, \\ m\ddot{y} &= \sum F_y, \\ I_C\ddot{\phi} &= \sum M_C, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \sum F_x &= \frac{F_{Ax} + F_{Bx}}{2} - \text{проекция сил } F_A \text{ и } F_B \text{ на ось } x; \\ \sum F_y &= \frac{F_{Ay} + F_{By}}{2} - \text{проекция сил } F_A \text{ и } F_B \text{ на ось } y; \\ \sum M_C &= L / 2(F_A - F_B) - \text{момент сил } F_A \text{ и } F_B \text{ в центре масс тела.} \end{aligned}$$

После решения этих уравнений и определения постоянных интегрирования получим закон плоского движения свободного твердого тела $x_c = x_c(t)$, $y_c = y_c(t)$, $\phi = \phi(t)$.

Необходимо создать систему управления робота, которая обеспечит требуемую точность курсовой стабилизации. Предположим, что для курсовой стабилизации робота используется ПИД-регулятор [5]. ПИД-регулятор – устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально входному сигналу, второе – интеграл входного сигнала, третье – производная входного сигнала.

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

Однако при использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении. Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении. Интегральная составляющая пропорциональна интегралу от отклонения регулируемой величины. Её используют для устранения статической ошибки. Она позволяет регулятору со временем учесть статическую ошибку.

Дифференціальна складова пропорціональна темпу змінення відхилення регульованої величини і призначена для протидії відхиленням від цільового значення, які прогножуються в майбутньому. Відхилення можуть бути викликані зовнішніми впливами або запізненням впливу регулятора на систему.

Назначення ПИД-регулятора – в підтримці заданого значення x_0 деякої величини x з допомогою змінення іншої величини u . Значення x_0 називається заданим значенням, а різниця $e = (x_0 - x)$ – невязкою, розгласованим або відхиленням величини від заданої.

Вихідний сигнал регулятора u визначається трьома слагаєми:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt},$$

де K_p , K_i , K_d – коефіцієнти посилення пропорціональної, інтегральної і диференціальної складових регулятора відповідно.

Більшість методів налаштування ПИД-регуляторів використовують декілька іншу формулу для вихідного сигналу, в якій на пропорціональний коефіцієнт посилення множаться також інтегральна і диференціальна складові:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de}{dt} \right).$$

Будемо вважати, що невязка e – це відхилення центра мас робота від заданої траєкторії:

$$e(t) = \sqrt{(x_c(t) - x_r(t))^2 + (y_c(t) - y_r(t))^2},$$

де x_c , y_c – координати центра мас робота; x_r , y_r – координати точки на заданій траєкторії руху.

Вихід ПИД-регулятора $u(t)$ – це швидкість необхідна для корекції траєкторії руху робота ΔV .

Швидкості, які необхідно подати на лівий і правий двигатели будуть рівні:

якщо $\Delta V(t) \geq 0$,

$$V_{A,i}(t) = V_{A,i-1}(t) - \Delta V(t),$$

$$V_{B,i}(t) = V_{B,i-1}(t).$$

якщо $\Delta V(t) < 0$,

$$V_{A,i}(t) = V_{A,i-1}(t),$$

$$V_{B,i}(t) = V_{B,i-1}(t) - \Delta V(t).$$

Такий розрахунок швидкостей обумовлений більш стабільним управлінням [6].

Припустимо, що робот повинен рухатися по заране встановленому маршруту, нанесеному на поверхню переміщення в вигляді контрастної напрямлюючої лінії. В центрі мас робота встановлений датчик, який визначає зміщення робота відносно напрямлюючої лінії.

На рис. 2 представлена структурна схема робота. Принцип роботи: від ПЕВМ через радіоканал на блок управління (БУ) робота приходять команди в вигляді напрямлення переміщення і відстані. БУ посилає керуючі команди на двигатели. В якості датчика зворотного зв'язку по положенню робота відносно напрямлюючої лінії виступає відеокамера. Вона повідомляє зміщення центра мас робота від потрібного курсу і кут нахилу відносно нього. БУ вносить поправку в керуючі команди для двигателів. Зупинку в заданому місці забезпечують датчики пройденого шляху (енкодерами).

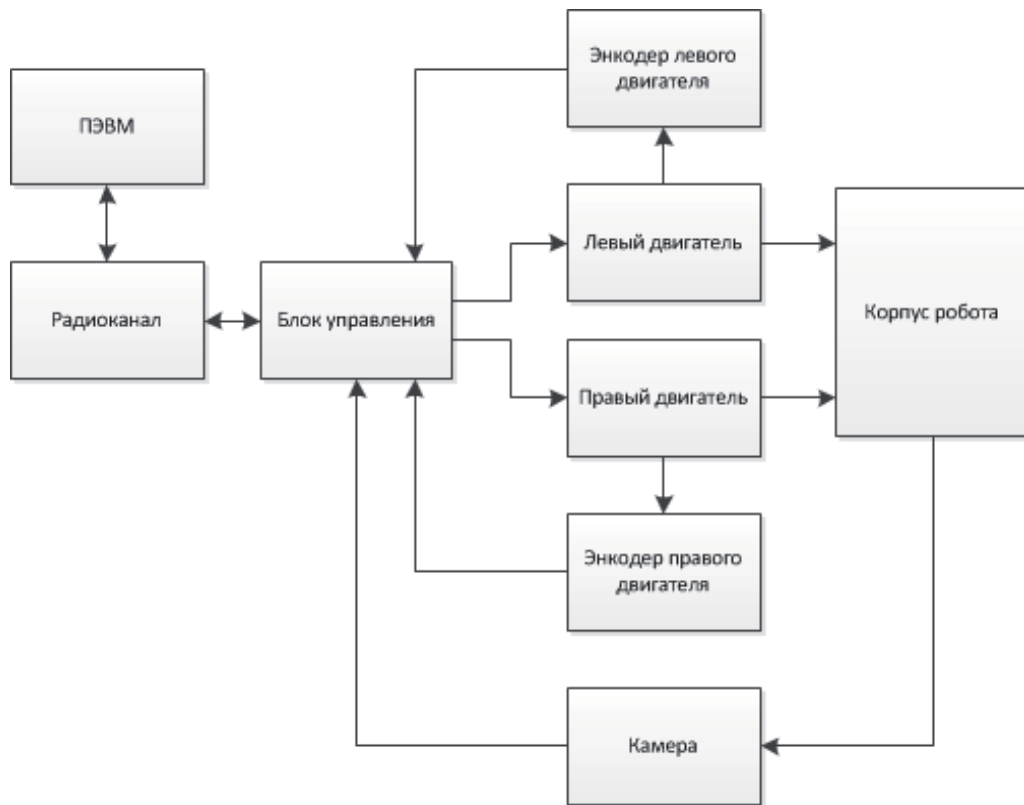


Рис. 2. Структурная схема управления робота, двигающегося по направляющей линии, с обратной связью по камере и энкодерам

Используя представленную математическую модель робота и ПИД-регулятор, в качестве системы управления был разработан алгоритм моделирования и запрограммирован на языке C в среде MPLAB. Для проверки этой модели был сделан экспериментальный образец робота с навигацией по направляющим линиям (рис. 3). Цель исследования было нахождение коэффициентов ПИД-регулятора для выполнения курсовой стабилизации по заданной траектории.

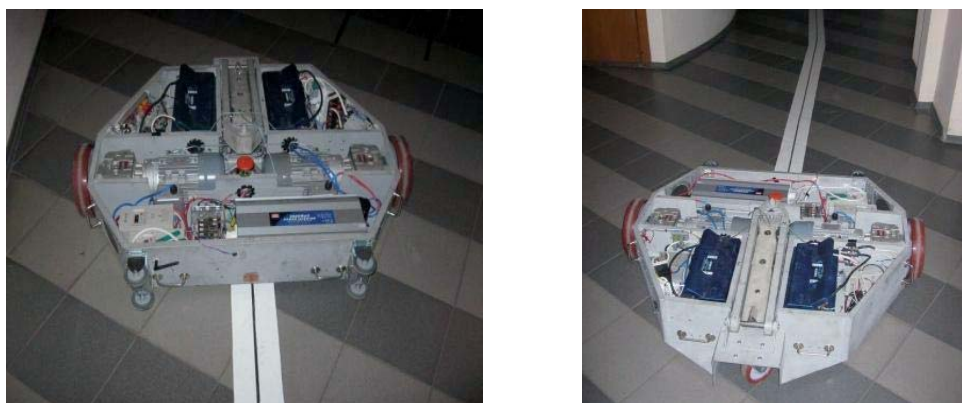


Рис. 3. Экспериментальная модель колесного робота, двигающегося по направляющим линиям

В программу моделирования были занесены начальные условия соответствующие модели робота с габаритами 1200×1200×250 мм и массой 70 кг.

С помощью разработанной программы были подобраны коэффициенты ПИД-регулятора, которые потом подставили в регулятор реальной модели. Сравнение переходных процессов реальной и математической моделей при внешнем воздействии в виде функции Хевисайда можно посмотреть в табл. 1 и на рис. 4. Там представлены зависимости отклонения центра масс робота $\Delta_{\text{реал}}$ и $\Delta_{\text{экспер}}$ от времени t .

Таблица 1

Сравнение отклонений центра масс робота математической и экспериментальной моделей

$t, \text{c} \cdot 10^{-1}$	$\Delta_{\text{реал}}, \text{мм}$	$\Delta_{\text{экспер}}, \text{мм}$
0	40	39
5	39	39
10	39	38
15	34	35
20	22	23
25	6	1
30	-5	-7
35	-7	-4
40	-3	-4
45	-1	0
50	0	-1
55	-1	0
60	0	0



Рис. 4. Переходные процессы реальной и математической моделей робота

Как видим из графиков, переходные процессы реальной и математической моделей схожи и их время выхода в заданное положение очень близки.

Выводы. Разработана упрощенная математическая модель движения роботоманипулятора с использованием ПИД-регулятора.

Разработан алгоритм управления трехколесным роботом, обеспечивающим управление по двум координатам и углу с использованием информации о движении от видеокамеры и датчиков перемещения.

Разработан и испытан экспериментальный образец транспортного робота с габаритами $1200 \times 1200 \times 250$ мм и массой 70 кг.

Результаты испытаний показали, что отклонения предложенной упрощенной модели транспортного робота от реального процесса не превышает 3%, что вполне приемлемо для транспортных операций.

Предложенные транспортные роботы могут использоваться как для транспортировки отдельных частей ракетной техники в пределах монтажно-испытательного комплекса при сборке, так и для доставки ракет-носителей на стартовый стол. Это позволит удешевить и ускорить сооружение транспортной сети ракетного наземного комплекса.

Библиографические ссылки

1. **Вонг Дж.** Теория наземных транспортных средств / Вонг Дж.; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
2. **Смирнов Г. А.** Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. **Баранов Д. Н.** Разработка интеллектуальной системы управления мобильными роботами на основе следящей системы технического зрения и нечеткой логики: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук; спец. 05.02.05 “Роботы, мехатроника и робототехнические системы” / Д. Н. Баранов; Московский гос. технологический ун-т «СТАНКИН». – М., 2008. – 24 с.
4. **Бутенин Н. В.** Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин: учебник: в 2 т. Т. II. Динамика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 544 с.
5. http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.
6. **Ibrahim Kamal.** Line tracking sensors and algorithms [Electronic resource] / Kamal Ibrahim. – Available from: <http://www.ikalogic.com/line-tracking-sensors-and-algorithms/>.

Надійшла до редколегії 12.06.2012.

УДК 629.78

**Chaurais J. R. *, Souza A. L. G. *, Oliveira G. F. *,
Larin V. A. **, Belikov V. V. **, Kulabukhov A. M. ****

**Universidade de Brasília*

***Dnepropetrovsk National University named after Oles' Honchar*

ATTITUDE DETERMINATION, CONTROL AND STABILIZATION OF A NANOSATELLITE USING REACTION WHEELS

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара разом з іншими університетами України розробляє університетський наносупутник УМС-1, призначений для отримання зображень земної поверхні. Для виконання цільової задачі необхідно забезпечення кутової орієнтації супутника. Розглядається питання синтезу системи орієнтації і вибору параметрів приводу з використанням двигунів-маховиків, наводяться результати моделювання.

Ключові слова: наносупутник, управління кутовим положенням, двигун-маховик.

Dnepropetrovsk National University is developing a nanosatellite with others institutions of Ukraine, the UMS-1. This satellite will be use for imagery. For accomplishing this mission it is necessary to provide attitude control of the satellite. The problems of synthesis of the attitude control system and choice of parameters of actuators with the use of reaction wheels are considered, the simulation outcomes are shown.

Key words: nanosatellite, attitude control, reaction wheel.

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара совместно с другими университетами Украины разрабатывает университетский наноспут-