

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ПЛАТФОРМАМИ

Орехов Сергей Юрьевич

Старший преподаватель, Калужский филиал
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)
serg31057@mail.ru

Цепуркин Александр Михайлович

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)
tsepurkin00@mail.ru

Цепуркин Николай Михайлович

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)
nikser@mail.ru

Сахаров Владимир Валентинович

Старший преподаватель, Калужский филиал
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)
vlad.saharov2011@yandex.ru

Гайгеров Максим Алексеевич

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)
kolljei@gmail.com

DEVELOPMENT OF A MOBILE PLATFORMS MANAGEMENT SYSTEM

**S. Orekhov
A. Tsepurkin
N. Tsepurkin
V. Sakharov
M. Gaygerov**

Summary. Purpose of the work: to develop a control algorithm that can improve the accuracy, which can be compared with a positioning system. The objectives of this study are to find ways to find an acceptable solution and an algorithm for following a mobile robot along a constructed path using an absolute navigation system. The hypothesis of this study is that programming and design took place in the Matlab environment, a physical model of a mobile robot, an ultrasonic navigation system, as well as methods for finding the optimal path. Conclusions: A mobile platform control algorithm has been developed that can minimize the positioning error at a certain point. Conclusion. The proposed composition of the system and the control algorithm can increase the positioning accuracy of a mobile robot by considering relative positioning systems.

Keywords: algorithms, navigation, optimal path, mobile robot.

Аннотация. Цель работы: разработать алгоритм управления, которая сможет повысить точность, которую можно сравнивать с системой позиционирования. Задачи данного исследования нахождение способов поиска приемлемого решения и алгоритм следования мобильного робота по построенному пути с применением абсолютной системы навигации. Гипотеза данного исследования заключается в том, что программирование и проектирование происходило в среде Matlab, физической модели мобильного робота, ультразвуковой навигационной системы, а также методов поиска оптимального пути. Выводы: Разработан алгоритм управления мобильной платформой, который сможет минимизировать погрешность позиционирования в определенной точке. Заключение. Предложенные состав системы и алгоритм управления сможет увеличить точность позиционирования мобильного робота рассматривая относительные системы позиционирования.

Ключевые слова: алгоритмы, навигация, оптимальный путь, мобильный робот.

Прямая задача о траектории

Зная начальные и конечные координаты точек, лежащие в системе, можно определить законы изменения обобщенных координат. Для каждой

$$|\dot{q}_i| < \dot{q}_i^{max}; \quad |\ddot{q}_i| < \ddot{q}_i^{max}; \quad |\ddot{q}_{i,T}| < \ddot{q}_{i,T}^{max}$$

точки создадим предельные значения на скорость и ускорение.

Так как приводы не могут двигаться с постоянной скоростью, траекторию можно поделить на три участка: траектория на разгон, перемещение с постоянной максимальной скоростью и траектория на торможение. (Рисунок 1)

Нужно определить минимально время всей траектории, связанное с разгоном, торможением и постоянной скоростью.

Возьмем механизм с 1 степенью свободы и рассмотрим задачу.

Определим время разгона, торможения и время движения с максимальной скоростью. Формулы указаны соответственно:

$$t_b = \frac{\dot{q}^{max}}{\ddot{q}^{max}}; \quad t_e = \frac{\dot{q}^{max}}{\ddot{q}_T^{max}}; \quad t_m = \frac{q}{\dot{q}^{max}} - \frac{t_b + t_e}{2}$$

Из формул выше видно, что время движения приводов будет различны из-за того, что графики движения приводов от обобщенных координат будет иметь вид трапеции. Пути решения данных проблем:

1. Заменяем время определения обобщенной координаты к максимальному определенному значению времени, сравнивая время движения всех координат:

$$t^i = \max(t_b^i, t_e^i, t_m^i), \quad i = \overline{1 \dots N}$$

2. Увеличиваем время при движении с максимальной постоянной скоростью, из-за этого преобразуется время разгона и время торможения точек.
3. Определяем новые пересчитанные значения скоростей разгона, торможения и движение с постоянной скоростью:

$$\begin{cases} t_{b_{new}}^i = \frac{\dot{q}_i^{val}}{\ddot{q}_i^{max}} \\ t_{e_{new}}^i = \frac{\dot{q}_i^{val}}{\ddot{q}_{i,T}^{max}} \\ q^i = \frac{2t^i - t_{b_{new}}^i - t_{e_{new}}^i}{2} \dot{q}_i^{val} \end{cases}$$

Также иногда изменение обобщенной координаты при торможении и разгоне могут увеличить значение торможения. Из этого следует, что приводные справляться, не успевают принять максимальное значение скорости до момента торможения. Поэтому график будет иметь вид треугольника (Рисунок 2).

Из рассмотренного графика выше, можно отметить, что время движения с постоянной скоростью будет равно нулю, и поэтому система заметно упрощается:

$$\begin{cases} t_b = \frac{\dot{q}^{val}}{\ddot{q}^{max}} \\ t_e^i = \frac{\dot{q}^{val}}{\ddot{q}_T^{max}} \\ q^i = \frac{t_b^i + t_e^i}{2} \dot{q}^{val} \end{cases}$$

Система динамических уравнений

Система динамических уравнений, определяющая промежуточные и постоянные (при бесконечной работе двигателя) процедуры. Они создают уравнения, которые включают все уравнения токов и уравнения динамики.

1. Уравнения по току имеют вид:

$$L \cdot \frac{dI_{on}}{dt} + I_{on} \cdot R_1 = U_0 \cdot f_2 + \Delta U \cdot f_1 - E_0 \cdot f_2 + \Delta E \cdot f_1$$

$$L \cdot \frac{dI_{off}}{dt} + I_{off} \cdot R_1 = -2\Delta U \cdot f_1 - 2\Delta E \cdot f_1$$

$$f_1 = \begin{cases} 1, I_{off} \text{sign} U > 0, \quad I_{off}^{(0)} \text{sign} U > 0; \\ 0, \quad I_{off} \text{sign} U \leq 0 \end{cases}$$

$$f_2 = 1(n \cdot \frac{\pi}{3} - \vartheta) = \begin{cases} 1, n \cdot \frac{\pi}{3} > \vartheta \\ 0, n \cdot \frac{\pi}{3} \leq \vartheta \end{cases}$$

$$U_0 = \frac{1}{2} U; \quad \Delta U = \frac{1}{6} U;$$

$$E_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} C_E \Omega \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{6} - n \cdot \frac{\pi}{3}\right),$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} C_E \Omega \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3} - n \cdot \frac{\pi}{3}\right).$$

$$C_E = k_{01} \cdot p \cdot \Phi \cdot \omega_1.$$

2. Электромагнитный момент двигателя определяется по формуле:

$$M = \sqrt{3} C_M \left[I_{on} \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{6} - n \cdot \frac{\pi}{3}\right) + I_{off} \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} - n \cdot \frac{\pi}{6}\right) \right].$$

3. Также рассматривается уравнение динамики:

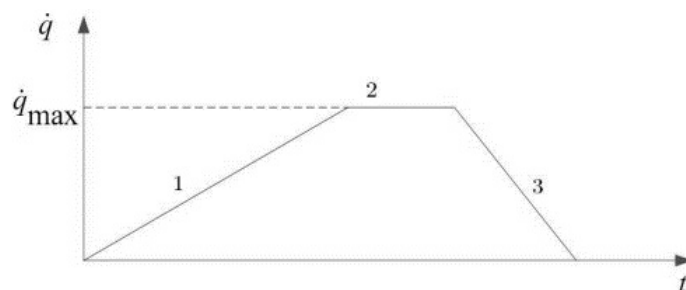


Рис. 1. Минимальное время перевода мобильной платформы

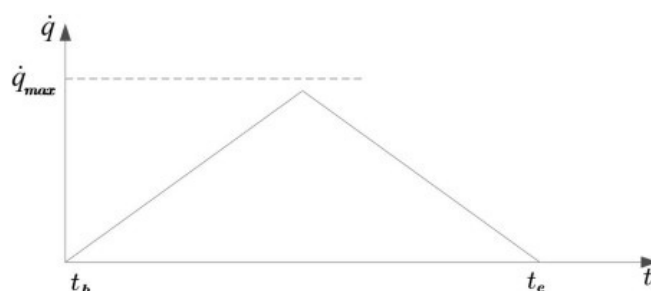


Рис. 2. Получение максимального времени разгона и торможения

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M - M_H$$

Момент нагрузки может иметь следующий характеристики:

$$M_H = M_H^0 \operatorname{sign} \Omega;$$

$$M_H = k_{11} \Omega;$$

$$M_H = k_{11} \Omega^2;$$

4. Рассматривается уравнение угла поворота ротора:

$$\vartheta = p \int_0^t \Omega dt.$$

Текущий угол поворота должен определяться при удовлетворении условия:

$$(n-1) \frac{\pi}{3} \leq \vartheta \leq n \frac{\pi}{3},$$

Где n — порядковый номер периода.

Если же не удовлетворяет условию пределы текущего угла поворота, тонужно увеличивать на одну единицу порядковый номер периода, чтобы условие приняло верные пределы.

$$n \frac{\pi}{3} \leq \vartheta \leq (n+1) \frac{\pi}{3}$$

Обратная задача кинематики

$$L = a^\circ \frac{2\pi r}{360}$$

Выше рассмотрена формула для расчета пройденного расстояния L от радиуса колеса (при синхронной работе обоих двигателей).

Принимая во внимание геометрические особенности механизма, то есть сдвиг центра масс получаем формулу:

$$B^\circ = \frac{A}{r+s} \cdot a^\circ,$$

где A — расстояние до центра масс, r — радиус колеса, s — толщина колеса, B° — угол поворота привода, a° — угол поворота колеса.

Пусть $A = 0.25$ м, $r = 0.1$ м, $s = 0.002$ м; то $B^\circ = 2,49 \cdot a^\circ$

Ограничения по скорости и ускорению для приводов механизма при рассчитанной массе в 9,5 кг. Расчет производится на основе пустой платформы коэффициента трения резиновых покрышек. Система имеет вид:

$$\begin{cases} q_i^{\dot{M}ax} = \frac{60 \text{ об}}{\text{м}} = \frac{19 \text{ м}}{\text{с}} \\ q_i^{\ddot{M}ax} = 4 \text{ м/с}^2 \\ q_{i,t}^{\ddot{M}ax} = 8 \text{ м/с}^2 \end{cases}$$



Рис. 3. Основной алгоритм управления мобильной платформы

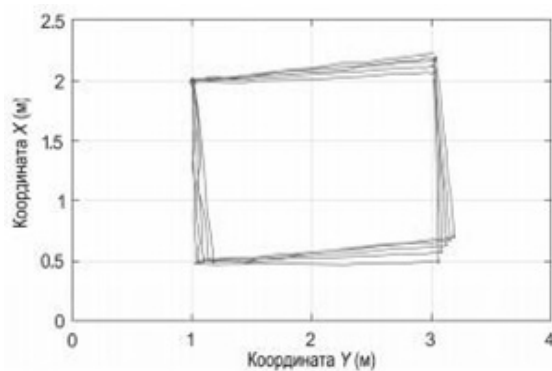


Рис. 4. Путь робота без изменения в системе

Проверка созданного алгоритма на материальном роботе

Основной алгоритм управления мобильной платформы представлен на рисунке 3.

Проверка без изменений будет произведена с помощью USS. Рассматриваем вариант, что приводы двига-

ются без обратной связи с контроллером. Измеряются количество импульсов с шагового двигателя и считается угол поворота. Его можно рассчитать с помощью BNO080. Робот будет иметь путь в виде прямоугольника, который имеет размеры 1500*2000 мм по оси X и по оси Y соответственно. С помощью USS можно сказать, что робот проедет этот путь 5 раз. И данный путь показан на рисунке 4.

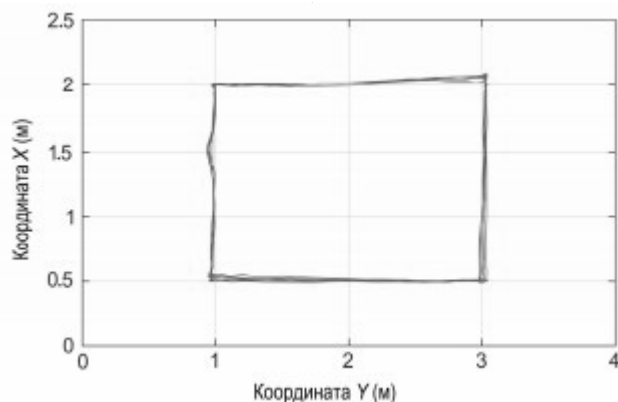


Рис. 5. Путь робота с изменениями в системе

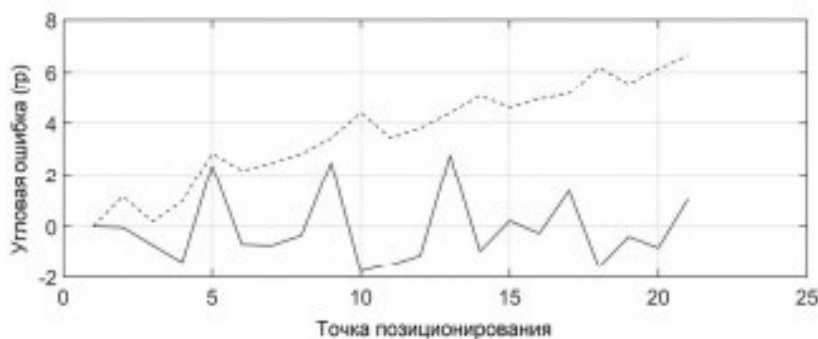


Рис. 6. Угловое искажение

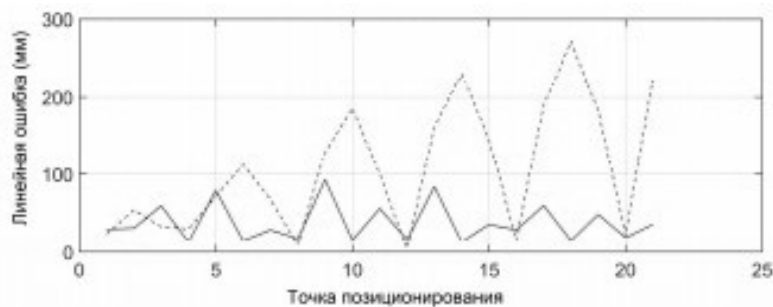


Рис. 7. Линейное искажение

На рисунке 4 показано, что путь робота состоит в линии, которая в определенное время поворачивается на определённый угол (берется с помощью погрешности позиционирования). Так же можно сказать, что линейная погрешность не является большим значением. Погрешность, которая возникает из-за поворота линии траектории, сохраняется и суммируется в датчике BNO080. Чтобы избежать данные недочеты по поводу погрешности, нужно использовать совершенную систему позиционирования.

Если ввести изменения в систему, то погрешность угла и местоположения будет значительно лучше. (рисунок 5)

Бывают линейные и угловые искажения. Рассмотрим угловое искажение. На Рисунке 6 изображены два графика: робот, идущий без изменения в системе — штрихпунктирная линия; робот, идущий с изменениями в системе — сплошная линия. Аналогично рассмотрим линейное искажение, которое изображено на рисунке 7.

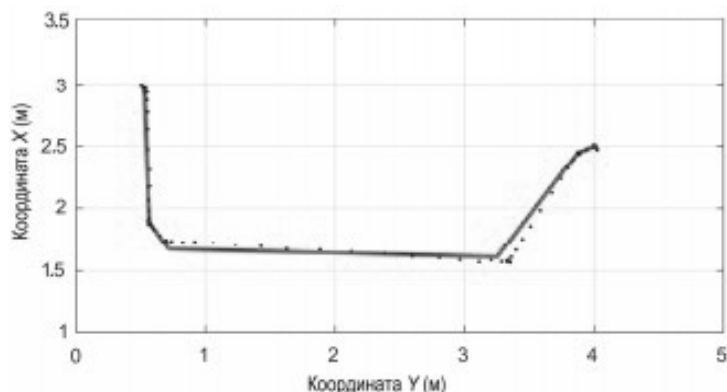


Рис. 8. Путь робота по координатам

Исходя из графиков можно сделать вывод, что после изменений в системе погрешности не исчезли, но, по крайней мере, не увеличиваются, как было без изменений.

Путь робота можно увидеть на рисунке 8. (Вычисленный путь — сплошная линия; линия, состоящая из точек — путь мобильной платформы).

В ходе работы определили отклонение позиционирования, равной 19 мм. Данное значение получилось таким малым, потому что отрезок заключающего пути слишком мал. Чем больше отрезок, тем больше угловое отклонение. Это наносит значительный ущерб ошибке позиционирования. Тогда логичнее всего поставить механизм, состоящий из 2 двигателей, чтобы они избавляли от отклонения до конечного значения 20 мм.

Приведенные данные являются теоретическим описанием исследования этой системы, измерения были получены на основе моделирования эксперимента в среде SolidWorks и Matlab. Эксперимент проводился по известным законам. В настоящее время производится подбор технических и аппаратных средств для достоверной оценки этих параметров для мобильных платформ и проверки полученной теоретической базы.

В результате исследований были определены значения скоростей и параметров платформы. Зависимости от скорости определены экспериментально. Был разработан алгоритм управления, который позволяет этой системе повысить точность по сравнению с системой, использующей систему относительного позиционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатенков В.А., Масюк В.М. Концепция стенда на гусеничном ходу исследование его преимуществ и недостатков. Сборник материалов. Всероссийской НТК Научные технологии в приборостроении и машиностроении развитие инновационной деятельности в вузе. Калуга, МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2018. — С.196–198.
2. Лобова А.И., Кандаурова К.И., Масюк В.М., Орехов С.Ю. Исследование и натурное моделирование инерциальной системы позиционирования мобильной платформы, конференция: XXXI международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. Микмус. — 2019. — С. 783–786.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB.SimPowerSystems и Simulink [Текст]. - ДМК Пресс. — 2007. — 156 с.
4. Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Ю. Ощепков. — СПб.: Лань, 2013. — 208 с.

© Орехов Сергей Юрьевич (serg31057@mail.ru), Цепуркин Александр Михайлович (tsepurkin00@mail.ru),
Цепуркин Николай Михайлович (nikсер@mail.ru), Сахаров Владимир Валентинович (vlad.saharov2011@yandex.ru),
Гайгеров Максим Алексеевич (kolljei@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»