

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ROBOTINO

О.А. Брылев, А.С. Беляев

Томский политехнический университет

E-mail: oab12@tpu.ru

Введение

Одной из ключевых задач для мобильных роботов является задача навигации, над решением которой бьются многие научные коллективы. Однако в условиях, когда робот не имеет глобальной системы позиционирования, например, основанной на GPS сигнале, показаниях с реперных точек и т.д., навигация робота значительно усложняется. Поэтому разработка автономных систем навигации, то есть когда вся информация о положении робота поступает с информационных устройств, установленных непосредственно на базе робота, значительно затруднена. Наиболее часто для получения информации о положении робота применяются энкодеры и системы инерциальной навигации [1,2], то есть акселерометры и гироскопы. Информация с которых используется в качестве входных значений для разработанных моделей движения робота, которые получают как с помощью «жестких» методов управления, так и при помощи методов искусственного интеллекта.

Одним из самых распространённых методов получения моделей навигации при помощи «жестких» алгоритмов является фильтр Калмана для которого необходимо получение динамической модели движения. Именно поэтому цель данной работы является получение динамической модели мобильного робота, для применения ее в последующем синтезе модели автономной навигации на основе фильтра Калмана.

Идентификация динамической модели Robotino

Для получения математической модели мобильного робота необходимо определить основные характеристики узлов, отвечающих за его передвижение. Такими узлами являются двигатель, редуктор и движители.

Определение характеристик первых двух узлов возможно с помощью 2-х вариантов, это исследование официальной документации от производителей, и идентификация с использованием данных с работающего робота. Однако в процессе работы исполнительных элементов происходят процессы старения, приводящие к изменению параметров основных узлов, из-за этого в ряде случаев идентификация необходима как средство дополнительной проверки характеристик, полученных от производителя. Однако в нашем случае используемый в исследовании робот проработал более 15 лет, а также на двигатели, используемые в данном роботе отсутствует заводская документация. Именно поэтому для получения математической модели

был выбран метод идентификации в среде MATLAB/Simulink.

На первом этапе необходимо провести сбор вход-выходных зависимостей с мобильного робота, для этого была создана программа управления роботом (рис. 1), с применением блоков из библиотеки Robotino для Simulink.

Блок OmniDrive принимает на вход линейные скорости по оси x и y и угловую скорость вращения робота вокруг оси z локальной системы координат Robotino и возвращает скорости 1, 2 и 3-го моторов. Блок Motor в свою очередь принимает значение скорости и возвращает свою текущую скорость. Таким образом в массивы u_{x1} , u_{x2} , u_{x3} будут записываться заданные скорости (управляющие воздействия) моторов 1, 2 и 3 соответственно, в массивы y_{x1} , y_{x2} и y_{x3} - измерения с энкодеров.

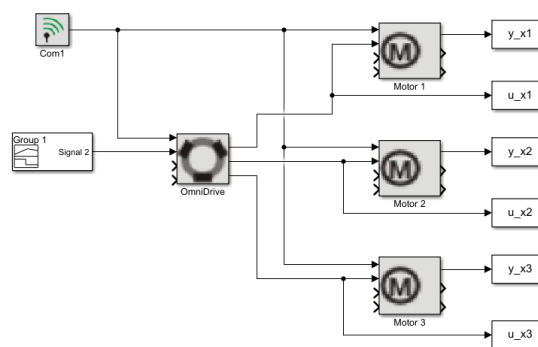


Рис. 1. Модель управления Robotino в Simulink

Получение экспериментальных данных с энкодеров производилось на ровной и гладкой поверхности. При этом задавались перемещение робота вдоль одной из осей X или Y со скоростями $\pm 400, \pm 500, \pm 600$ мм/с или вращение вокруг оси Z со скоростями $\pm 100, \pm 110, \pm 120$ °/с. Все остальные перемещения можно представить, как суперпозицию этих перемещений.

Изначально идентификация математических моделей моторов Robotino планировалось производить по методу черного ящика с использованием System Identification Toolbox. Метод черного ящика заключается в том, что исследуемая система рассматривается как черный ящик, т.е. ее внутренняя структура неизвестна. Анализ такой системы может производиться только по вход-выходным отображениям. Но математическая модель, полученная данным способом, плохо описывала экспериментальные данные при малых и высоких скоростях. Причиной этому служит вязкое трение:

$$F = -rv, \quad (1)$$

где r – коэффициент вязкого трения, v – скорость. Данная формула верна только при небольших скоростях.

Чтобы учесть вязкое трение, был использован метод серого ящика. Как известно, электродвигатель является аperiodическим звеном второго порядка. Его передаточная функция [3, с. 290]:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (2)$$

где k – статический коэффициент передачи, T_1 и T_2 – постоянные времени.

Общая операторно-структурная схема системы с учетом вязкого трения будет иметь вид, представленный на рис. 2.

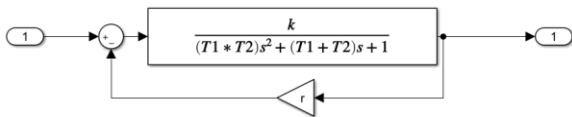


Рис. 2. Операторно-структурная схема модели

Ниже в таблице представлены математические модели (значения коэффициентов k , T_1 , T_2 , r) полученные по методу серого ящика в приложении Parameter Estimation для Simulink и сравнительный график (рис. 3). На графике синим показаны экспериментальные данные, оранжевым – выход полученной математической модели.

Как видно из графика на участках с высокой скоростью отклик модели незначительно отличается от экспериментальных данных. Это связано с тем, что сила вязкого трения нелинейно зависит от скорости при высоких значениях скорости, что вносит некоторые погрешности (коэффициент вязкого трения имеет зависимость от скорости).

Ошибки идентификации математических моделей моторов не превышают 67.5, что составляет менее 5 процентов. Ошибка идентификации рассчитывалась как среднеквадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{\text{exp } i} - x_{\text{sim } i})^2}, \quad (3)$$

где n – количество измерений, $x_{\text{exp } i}$ – i -ое экспериментальное значение скорости с энкодеров, $x_{\text{sim } i}$ – i -ое значения скорости, полученное с модели.

Таблица 1. Значения коэффициентов математической модели

	k	T_1	T_2	r
Первый мотор	0.74565	1645	727.29	1.2797
Второй мотор	0.75388	1325.6	1254.7	0.98667
Третий мотор	0.67996	1502.6	737.63	1.2302

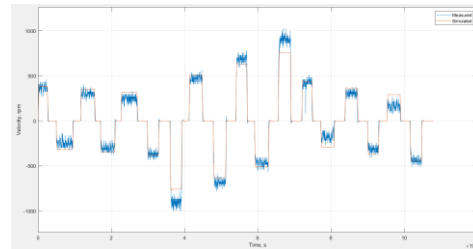


Рис. 3. Результаты идентификации полученной динамической модели

Кинематическая модель Robotino

Следующим этапом стала обратное преобразование скоростей вращения каждого двигателя в скорости движения вдоль локальной системы координат робота. Кинематический анализ роботов, использующих любое количество всенаправленных колес, приведен в работе [4]. Используя полученные выводы для Robotino получено следующее уравнение обратной кинематики:

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ \Omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{2}{3} \cos\left(-\frac{\pi}{6}\right) & \frac{2}{3} \sin(0) & \frac{2}{3} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \\ -\frac{2}{3} \sin\left(-\frac{\pi}{6}\right) & -\frac{2}{3} \cos(0) & \frac{2}{3} \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \\ \frac{1}{3R} & \frac{1}{3R} & \frac{1}{3R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

где V_x – скорость по оси X, V_y – скорость по оси Y, Ω – скорость вращения вокруг оси Z, L – расстояние от центра робота до колеса, R – радиус колеса, w – скорость вращения двигателя.

Заключение

В результате данной работы получена математическая модель двигателя и определены ее основные параметры. В дальнейшем данная модель будет использована для разработки модели навигации с использованием фильтра Калмана.

Список использованных источников

1. C. A. Brooks and K. D. Iagnemma, Self-supervised classification for planetary rover terrain sensing// in IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2007.
2. E. M. DuPont, C. A. Moore, and R. G. Roberts, Terrain classification for mobile robots traveling at various speeds: An eigenspace manifold approach// in Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008. – P. 3284–3289.
3. Малышенко, Александр Максимович. Математические основы теории систем: учебное пособие / А. М. Малышенко; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 364 с.
4. Giovanni Indiveri, “Swedish Wheeled Omnidirectional Mobile Robots: Kinematics Analysis and Control,” IEEE Trans. Robot, vol 25, no. 1, pp. 164-171, Feb. 2009.