DOI: 10.17117/na.2016.05.03.045

<http://ucom.ru/doc/na.2016.05.03.045.pdf>

Поступила (Received): 02.05.2016

Давлетов Р.Р., Суздальцев В.А. Модель движения колесного робота

Davletov R.R., Suzdaltsev V.A.
Model of wheeled robot motion

В данной работе рассмотрена модель движения колесного робота. Рассмотрена декомпозиция модели робота на следующие фрагменты: электрическая модель разрядки аккумулятора, электрокинетическая модель и модель движения. Каждая из моделей представлена и проанализирована. Представлены связи между переменными модели колесного робота
Ключевые слова: робот, движение, модель, управление

This paper considers a model of motion of the wheeled robot. We consider the decomposition model of the robot on the following fragments: battery discharge electric model, electrokinetic model and motion model. Each of the models is presented and analyzed. Presented relationship between the variables of the model of the wheeled robot

Key words: robot, motion, model, management

Давлетов Расул Рафикович

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева
г. Казань, ул. Карла Маркса, 10

Davletov Rasul Rafikovich

Master

Kazan national research technical university named A.N. Tupolev
Kazan, Karl Marx st., 10

Суздальцев Владимир Антонович

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева
г. Казань, ул. Карла Маркса, 10

Suzdaltsev Vladimir Antonovich

Associate Professor

Kazan national research technical university named A.N. Tupolev
Kazan, Karl Marx st., 10

В последние годы робототехника продолжает свое развитие. Спектр применения роботов становится все более широким. Развитие робототехники стимулирует написание работ, направленных на управление движением колесных роботов [4].

Большинство работ данного рода не рассматривает природу движения колесного робота (КР) или рассматривает только отдельные части функционирования КР. В данной работе рассмотрена связь электрических, механических, кинематических и динамических процессов при движении КР.

Полученная модель МР позволит прогнозировать поведение реального робота, повысить точность управления.

Рассматриваемая модель применяется для управления движением робота по данным видеонаблюдения [1,2]. В работе рассматривается модель трехколесного робота (рис. 1), с передними ведущими колесами.

Рис. 1. Модель КР на плоскости

Ведущие колеса приводят в движение два независимых электродвигателя. КР находится под углом α к оси Ox , которая принадлежит системе координат Oxy . Плоскость Oxy совпадает с горизонтальной плоскостью перемещения. Положение МР в системе координат Oxy задается тройкой чисел x, y, α .

В таблице 1 приведен список обозначений, приведенных в модели КР.

Таблица 1. Список обозначений.

№	Обозначение	Название	Тип	Единица изм.
1.	$N(N_1, N_2)$	Используемая мощность (1-го и 2-го двигателя)	var	%
2.	t	Текущий момент времени	var	с
3.	Δt	Интервал времени	var	с
4.	C	Заряд батареи	var	А·ч
5.	ΔC	Потраченная энергия за Δt	var	А·ч
6.	$w_d(w_{d1}, w_{d2})$	Угловая скорость двигателя (1-го и 2-го)	var	рад/с
7.	$w_k(w_{k1}, w_{k2})$	Угловая скорость колеса (1-го и 2-го колеса)	var	рад/с
8.	$E_p(E_{p1}, E_{p2})$	ПротивоЭДС (1-го и 2-го двигателя)	var	В
9.	E	ЭДС батареи	var	В
10.	K_M	Коэффициент момента	const	Н·м/(Вб·А)
11.	K_p	Коэффициент противоЭДС	const	(В/(рад/с))
12.	K_Φ	Коэффициент пропорциональности магнитного потока	const	Вб/А

13.	$R_{я}(R_{я1}, R_{я2})$	Сопротивление обмотки якоря (1-го и 2-го двигателя)	const	Ом
14.	$r_{вн}$	Внутренне сопротивление батареи	var	Ом
15.	$I_{я}$	Сила тока в обмотке якоря	var	А
16.	I_{Σ}	Ток в цепи питания	var	А
17.	Φ	Магнитный поток	var	Вб
18.	$u(u_1, u_2)$	Фактическая скорость (1-го и 2-го колеса)	var	м/с
19.	$u_{т}(u_{т1}, u_{т2})$	Теоретическая скорость (1-го и 2-го колеса)	var	м/с
20.	S	Точка в которой находится КР		
21.	x	Координата КР по оси Ox	var	м
22.	y	Координата КР по оси Oy	var	м
23.	α	Угол между осью Ox_2 и осью Ox	var	рад
24.	$a(a_1, a_2)$	Ускорение вращения (1-го и 2-го колеса)	var	м/с ²
25.	r_k	Радиус колеса КР	const	см
26.	$r_{кк}$	Радиус качения в свободном режиме	const	см
27.	m	Масса КР	const	кг
28.	$\mu_{тк}$	Коэффициент трения качения	const	-
29.	$\mu_{тп}$	Коэффициент трения качения	const	-
30.	g	Ускорение свободного падения	const	м/с ²
31.	$R(R_1, R_2)$	Сила реакции (1-го, 2-го) колеса	const	Н
32.	$M(M_1, M_2)$	Момент двигателя (1-го и 2-го)	var	Н·м
33.	$T(T_1, T_2)$	Момент колеса (1-го и 2-го)	var	Н·м
34.	λ_t	коэффициент тангенциальной эластичности		
35.	$i(i_1, i_2)$	Передаточное отношение редуктора (1-го и 2-го двигателя)	const	-
36.	n	Частота вращения двигателя	var	Гц
37.	$F_{тк}(F_{тк1}, F_{тк2})$	Сила трения качения колеса (1-го и 2-го)	var	Н
38.	$F_t(F_{т1}, F_{тк2})$	Сила тяги колеса (1-го и 2-го)	var	Н

39.	l	Расстояние между ведущими колесами	const	м
40.	V_1	Скорость КР	var	м/с
41.	V_2	Скорость изменения угла α	var	рад/с
42.	k_1	Коэффициент передачи привода при поступательном движении	const	
43.	k_2	Коэффициент передачи привода при повороте КР	const	

Модель КР (рис. 2) состоит из следующих фрагментов (рис. 3): электрическая модель разрядки аккумулятора КР (ЭМРА), электрокинетическая модель КР (ЭКМ) и модель движения КР (МД).

Рис. 2. Модель КР

Рис. 3. Декомпозиция модели КР

На рисунке 4 представлена эквивалентная схема питания двигателей МР на основе которой построена ЭКМ.

Рис. 4. Схема питания двигателей

В результате анализа ЭКМ были установлены следующие зависимости (рис. 5):

1. Момент на валу двигателя в момент времени t определяется по следующей формуле:

$$M(t) = f_4(K_M', I_{\text{я}}(t)) = K_M' \cdot I_{\text{я}}^2(t).$$

2. Формулы для токов в обмотках 1 и 2 двигателя соответственно:

$$I_{\text{я1}} = f_5(r_{\text{вн}}, E, E_{\text{п1}}, E_{\text{п2}}, R_{\text{я1}}, R_{\text{я2}}) = \frac{R_{\text{я2}}(E - E_{\text{п1}}) + r_{\text{вн}}(E_{\text{п2}} - E_{\text{п1}})}{r_{\text{вн}}(R_{\text{я1}} + R_{\text{я2}}) + R_{\text{я2}}R_{\text{я1}}};$$

$$I_{\text{я2}} = f_6(r_{\text{вн}}, E, E_{\text{п1}}, E_{\text{п2}}, R_{\text{я1}}, R_{\text{я2}}) = \frac{R_{\text{я1}}(E - E_{\text{п2}}) - r_{\text{вн}}(E_{\text{п2}} - E_{\text{п1}})}{r_{\text{вн}}(R_{\text{я1}} + R_{\text{я2}}) + R_{\text{я2}}R_{\text{я1}}}.$$

3. ПротивоЭДС в момент времени t определяется по формуле:

$$E_n(t) = K_n' \cdot I_n(t) \cdot n(t).$$

4. Частота вращения двигателя в момент времени t находится по формуле:

$$n(t) = f_2(w_d) = \frac{w_d(t)}{2 \cdot \pi}.$$

5. Связь угловых скоростей двигателя и колес:

$$w_d(t) = w_k(t) \cdot i.$$

При равномерном распределении веса между колесами, скорость КР и скорость изменения угла α :

$$V_1(t) = f_{12}(u_1(t), u_2(t)) = k_1(u_1(t) + u_2(t));$$

$$V_2(t) = f_{13}(u_1(t), u_2(t)) = k_2(u_1(t) - u_2(t));$$

где: $k_1 = 0.5$; $k_2 = \frac{1}{l}$.

Закономерности перемещения КР можно задать системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V_1 \cos \alpha; \\ \dot{y} &= V_1 \sin \alpha; (1) \\ \dot{\alpha} &= V_2. \end{aligned}$$

Рис. 5. Связь между переменными ЭКМ

Рис. 6. Связь между переменными МД

В МД отражены следующие зависимости (Рис. 6):

1. Закономерности перемещения КР определяется системой уравнений, полученной из системы (1):

$$\begin{cases} x(t + \Delta t) = f_9(V_1(t), V_2(t), \Delta t, x(t)) = \frac{V_1(t)}{V_2(t)} \sin(V_2(t)\Delta t) + x(t); \\ y(t + \Delta t) = f_{10}(V_1(t), V_2(t), \Delta t, y(t)) = \frac{V_1(t)}{V_2(t)} (1 - \cos(V_2(t)\Delta t)) + y(t); \\ \alpha(t + \Delta t) = f_{11}(V_2(t), \Delta t, \alpha(t)) = V_2(t)\Delta t + \alpha(t). \end{cases}$$

2. При движении тела по окружности возникает нормальное или центростремительное ускорение, модуль которого есть:

$$a = \frac{u_T^2}{r_k} = w_k \cdot r_{kc}^2.$$

Линейная скорость каждого колеса определяется выражением:

$$u_T = f_8(a) = \sqrt{a \cdot r_{kc}}.$$

Модель колеса (рис. 7) должна учитывать такое явление как проскальзывание, которое зависит от коэффициента буксования (юза) колеса δ , определяемого соотношением:

$$\delta = \frac{(u_T - u)}{u_T} = 1 - \frac{u}{u_T}.$$

Рис. 7. Модель колеса

Коэффициент буксования изменяется от 0 до 1, поэтому при $\delta = 0$ будем иметь, что $u = u_T$, а при значении $\delta = 1$, т.е. при полном буксовании, действительная скорость $v = 0$. [5] Так как:

$$\begin{aligned} u_T &= w_k r_{kc}; \\ u &= w_k r_k; \end{aligned}$$

Отсюда следует:

$$\delta = 1 - \frac{r_k}{r_{kc}};$$

Радиус качения колеса зависит от крутящего момента:

$$r_k = r_{kc} - \lambda_T T \text{ [5].}$$

Ускорение колеса определяется выражением:

$$a = f_{14}(F_T, F_{TK}) = \frac{(F_T - F_{TK})}{m}.$$

Сила трения качения для каждого колеса равна:

$$F_{TK} = \frac{\mu_{TK}}{r_k} \cdot m \cdot g.$$

Момент, развиваемый на колесе, определяется выражением:

$$T(t) = \frac{M(t)}{i}.$$

Построенная модель используется в системе управления перемещением МР.

Список используемых источников:

1. Чумарин Р.Л., Давлетов Р. Р., Суздальцев В. А Управление перемещением мобильного объекта при использовании данных видеонаблюдения // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности. Т. II. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. С. 656-660.
2. Давлетов Р.Р., Суздальцев В.А. Управление перемещением мобильного объекта // Наука и образование в XXI веке. Тамбов, 2014. С. 55-57.
3. Давлетов Р.Р., Суздальцев В.А. Построение моделей движения роботов // XXII Туполевские чтения. Казань. 2015. С. 410-414.
4. Давлетов Р.Р. Модель движения робота // Научный альманах. 2015. № 10-3 (12). С. 98-103.

© 2016, Давлетов Р.Р., Суздальцев В.А.
Модель движения колесного робота

© 2016, Davletov R.R., Suzdaltsev V.A.
Model of wheeled robot motion