

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА DARWIN-OP

Стерехова В.С., Протопопов А.А.

Научный руководитель: Е.Е.Шеломенцев, ассистент каф. ИКСУ

Томский политехнический университет

vss45@tpu.ru

Введение

DARwIn - OP - антропоморфная мобильная платформа, приводимая в движения расположенными в сочленениях звеньями. Верхние конечности робота имеют по 3 степени подвижности каждая, нижние конечности – по 6 (рис.1).

Управление движением такого объекта требует проведения кинематического анализа конструкции. Также необходимо провести всесторонний анализ особенностей динамики и кинематики мобильного робота для того, чтобы добиться стабильного движения в различных условиях окружающей среды.

Параметры Денавита-Хартенберга. Для описания кинематики модели воспользуемся представлением Денавита-Хартенберга. Так как для перемещения робота в пространстве во многих случаях необходимы нижние конечности, а также ввиду симметричности конструкции, далее будем рассматривать только правую нижнюю конечность робота. Ниже на рисунке 1 представлена модель мобильного робота.

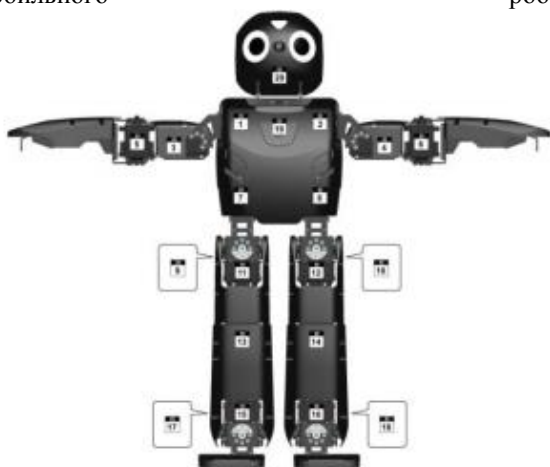


Рис. 1. Нумерация серводвигателей и суставов робота.

Расчет задачи кинематики производится по каждой степени подвижности, то есть для каждого сустава. Рассмотрим параметры Денавита-Хартенберга для правой ноги [2]. Ниже в таблице 1 представлены результаты расчета.

Таблица 1. Параметры Денавита-Хартенберга для правой ноги

i	a_{i-1}	L_{i-1}	d_i	Θ
1	90	0	0	Θ_7+90
2	-90	0	0	$\Theta_{11}-90$
3	0	L_4	0	Θ_9
4	0	L_5	0	Θ_{13}
5	90	0	0	Θ_{17}
6	0	L_f	0	Θ_{15}

Параметры a_{i-1} , L_{i-1} , d_i , Θ определяются углом поворота и длиной звена [4].

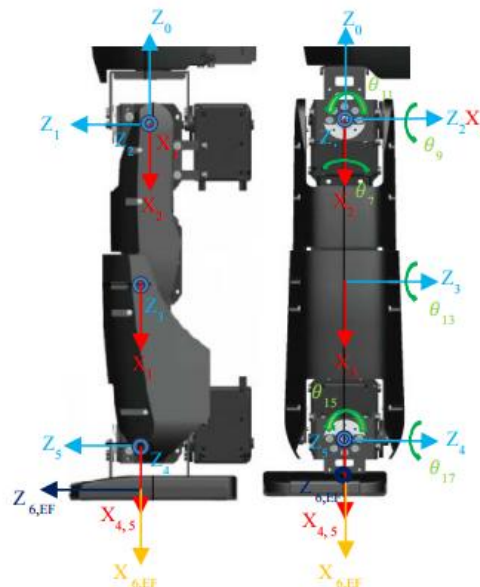


Рис. 2. Изображение плоскостей движения каждой степени свободы правой ноги.

Построим матрицу перехода из одной системы в другую (1):

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Теперь рассчитаем прямую задачу кинематики для правой ноги, целью которой является вычисление позиции и ориентации звеньев. С помощью уравнения (1) построим 6 матриц перехода для каждой системы координат [3].

$$\begin{aligned} {}^0T_1 &= \begin{bmatrix} -S_7 & 0 & C_7 & 0 \\ C_7 & 0 & S_7 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^1T_2 &= \begin{bmatrix} C_{13} & -S_{13} & 0 & L_5 * C_{13} \\ S_{13} & C_{13} & 0 & L_5 * S_{13} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^2T_3 &= \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & C_{11} & 0 \\ -C_{11} & 0 & S_{11} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^3T_4 &= \begin{bmatrix} C_{17} & 0 & S_{17} & 0 \\ S_{17} & 0 & -C_{17} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^4T_5 &= \begin{bmatrix} C_9 & -S_9 & 0 & L_4 * C_9 \\ S_9 & C_9 & 0 & L_4 * S_9 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^5T_6 &= \begin{bmatrix} C_{15} & -S_{15} & 0 & L_f * C_{15} \\ S_{15} & C_{15} & 0 & L_f * S_{15} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

А теперь, с помощью формулы (3) построим матрицу перехода от системы координат предполагаемого схвата к системе координат С – центра робота. Система координат показана на рисунке 3.

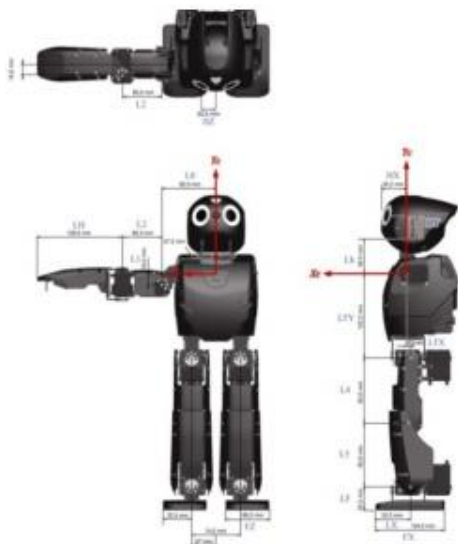


Рис. 3. Начальная система координат мобильного робота [1]

$$[{}_{EF}^{\xi}T] = [{}_{EF}^{\circ}T][{}_{\circ}^{\xi}T(\theta_7, \theta_9, \theta_{11}, \theta_{13}, \theta_{15}, \theta_{17})] \quad (3)$$

$${}_{\circ}^{\xi}T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -LTX \\ 0 & 0 & 1 & -LTY \\ 0 & -1 & 0 & LTZ \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Далее решим обратную задачу кинематики для правой ноги антропоморфного робота, для того чтобы определить углы поворотов движителей, соответствующие заданному положению стопы [5].

$${}_{\xi}^{\circ}X = {}_{\xi}^{\circ}T \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\sqrt{(p_x + LF * {}_{\xi}^{\circ}T)^2 + (p_y + LF * {}_{\xi}^{\circ}T)^2 + (p_z + LF * {}_{\xi}^{\circ}T)^2} \quad (6)$$

$$\theta_{13} = \arccos\left(\frac{\eta^2 - L4^2 - L5^2}{2 * L4 * L5}\right) \quad (7)$$

$${}_{\xi}^{\circ}IT = ({}_{\xi}^{\circ}T)^{-1} \quad (8)$$

$$\eta = \sqrt{({}_{\xi}^{\circ}IT(14))^2 + ({}_{\xi}^{\circ}IT(15))^2} \quad (9)$$

$$\Gamma = \sqrt{({}_{\xi}^{\circ}IT(14))^2 + ({}_{\xi}^{\circ}IT(15) - LF)^2} \quad (10)$$

$$\theta_{15} = \text{sign}({}_{\xi}^{\circ}IT(14)) * \arccos\left(\frac{\Gamma^2 - \Gamma^2 - LF^2}{2 * \Gamma * LF}\right) \quad (11)$$

$$\theta_{11} = \text{asin}({}_{\xi}^{\circ}T(7)) * \cos(\theta_{15}) - {}_{\xi}^{\circ}T(11) * \sin(\theta_{15}) \quad (12)$$

$$\theta_7 = \text{atan2}\left(2 * \frac{{}_{\xi}^{\circ}T(5) * \cos(\theta_{15}) - {}_{\xi}^{\circ}T(9) * \sin(\theta_{15})}{-\cos(\theta_{11})}\right) \quad (13)$$

$$\frac{{}_{\xi}^{\circ}T(6) * \cos(\theta_{15}) - {}_{\xi}^{\circ}T(10) * \sin(\theta_{15})}{\cos(\theta_{15})} \quad (13)$$

$$\lambda = -p_x + (\sin(\theta_7) * \sin(\theta_{11})) + p_y * (\cos(\theta_7) * (\sin(\theta_{11})) - p_z * (\cos(\theta_{11})) - LF$$

$$* ({}_{\xi}^{\circ}T(9) * \sin(\theta_7) * \sin(\theta_{11})) - {}_{\xi}^{\circ}T(10) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_{11}) + {}_{\xi}^{\circ}T(11) * \cos(\theta_{11}) \quad (14)$$

$$\varepsilon = -p_x * (\cos(\theta_7)) - p_y * (\sin(\theta_7)) - LF * ({}_{\xi}^{\circ}T(9) * \cos(\theta_7) + {}_{\xi}^{\circ}T(10) * \sin(\theta_7)) \quad (15)$$

$$\theta_9 = \text{atan2}((-L5 * \sin(\theta_{13}) * \lambda) + \varepsilon * (L4 + L5 * \cos\theta_{13}, \lambda * L4 + L5 * \cos\theta_{13} + L5 * \sin\theta_{13} * \varepsilon) \quad (16)$$

$$\Psi =$$

$$\text{atan2}(-{}_{\xi}^{\circ}T(1) * (\sin(\theta_7) * \sin(\theta_{11})) + {}_{\xi}^{\circ}T(2) * \cos(\theta_7) * \sin(\theta_{11}), \cos(\theta_7), {}_{\xi}^{\circ}T(1) * \cos(\theta_7) + {}_{\xi}^{\circ}T(2) * \sin(\theta_7)) \quad (17)$$

$$\theta_{17} = \Psi - \theta_9 - \theta_{13} \quad (18)$$

Проверка решения. Возьмем реальные координаты (19) для правой ноги, решим обратную задачу кинематики и реализуем движение ноги в симуляторе.

$${}_{\xi}^{\circ}X = \begin{bmatrix} 35.03 \\ 84.9 \\ 19.52 \end{bmatrix} \quad (19)$$

получим, что $\theta_1=10$, $\theta_3=20$, $\theta_5=30$, $\theta_{19}=5$, $\theta_{20}=0$, $\theta_7=10.34$, $\theta_9=-19.32$, $\theta_{11}=-30$, $\theta_{13}=-35$, $\theta_{17}=-15.01$, $\theta_{15}=9.99$. На рисунке 3 показан результат симуляции

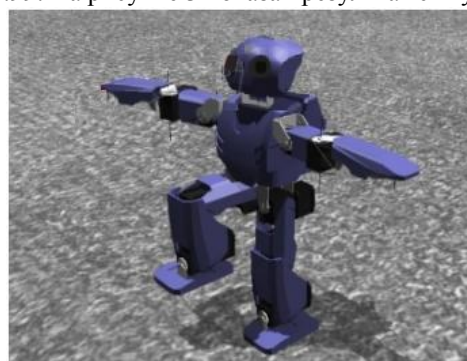


Рис.3. Симуляция мобильного робота

Заключение. В данной работе были решены прямая и обратная задачи кинематики. Для проверки точности решения прямой задачи кинематики был использован симулятор Webots, а для проверки решения обратной задачи кинематики были использованы уравнения прямой задачи кинематики. Проверка решений показала, что задачи решены верно.

Список используемых источников:

1. Кинематика DARwIn-OP [Электронный ресурс]:

http://support.robotis.com/en/product/darwinop/reference_s/reference/hardware_specifications/mechanics/kinematic_s.htm

2. Spong, Mark W., Seth Hutchinson, and Mathukumalli Vidyasagar, "Robot modeling and control" Vol. 3. New York: Wiley, 2006.

3. Kofinas, E. Orfanoudakis, and M. G. Lagoudakis, "Complete analytical forward and inverse kinematics for the NAO humanoid robot" Journal of Intelligent & Robotic Systems 77, No. 2, pp. 251-264, 2015.

4. J J. Craig, "Introduction to robotics: mechanics and control" Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, Vol. 3. 2005.

5. K.Khokar, P. Beeson, and Rob Burridge, "Implementation of KDL Inverse Kinematics Routine on the Atlas Humanoid Robot" Procedia Computer Science 46, pp. 1441-1448, 2015.