

УДК 621.01

Ф.Н. Притыкин, А.Ю. Осадчий

КОДИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАДАНИИ МОДЕЛИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА АНДРОИДНОГО РОБОТА

В настоящее время во многих странах ведутся работы, связанные с созданием андроидных роботов [1], имеющих в качестве исполнительного устройства многозвенные манипуляторы с избыточностью в степенях свободы, позволяющие осуществлять выполнение различных операций в условиях неоднородного, организованного рабочего пространства. При разработке конструктивных особенностей исполнительных механизмов подвижных рук в указанных робототехнических системах существует необходимость в решении

ряда геометрических задач, связанных с моделированием процессов управления движением. Анализ взаимного положения исполнительного механизма манипулятора по отношению к заданной окружающей среде при выполнении двигательных заданий требует разработки обобщенных способов задания их геометрических моделях. При этом существует необходимость кодированного представления информации о указанных моделях. В работах [2-3] предложено использовать совокупность кодов, используемых при задании незамкнутых

Таблица 1. Некоторые значения кодов n_{pr} и n_{or} пространственных примитивов

| n_p | Значения кодов n_{pr} пространственных примитивов | | | |
|-------|---|--|---|--|
| r | 1 | | 2 | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

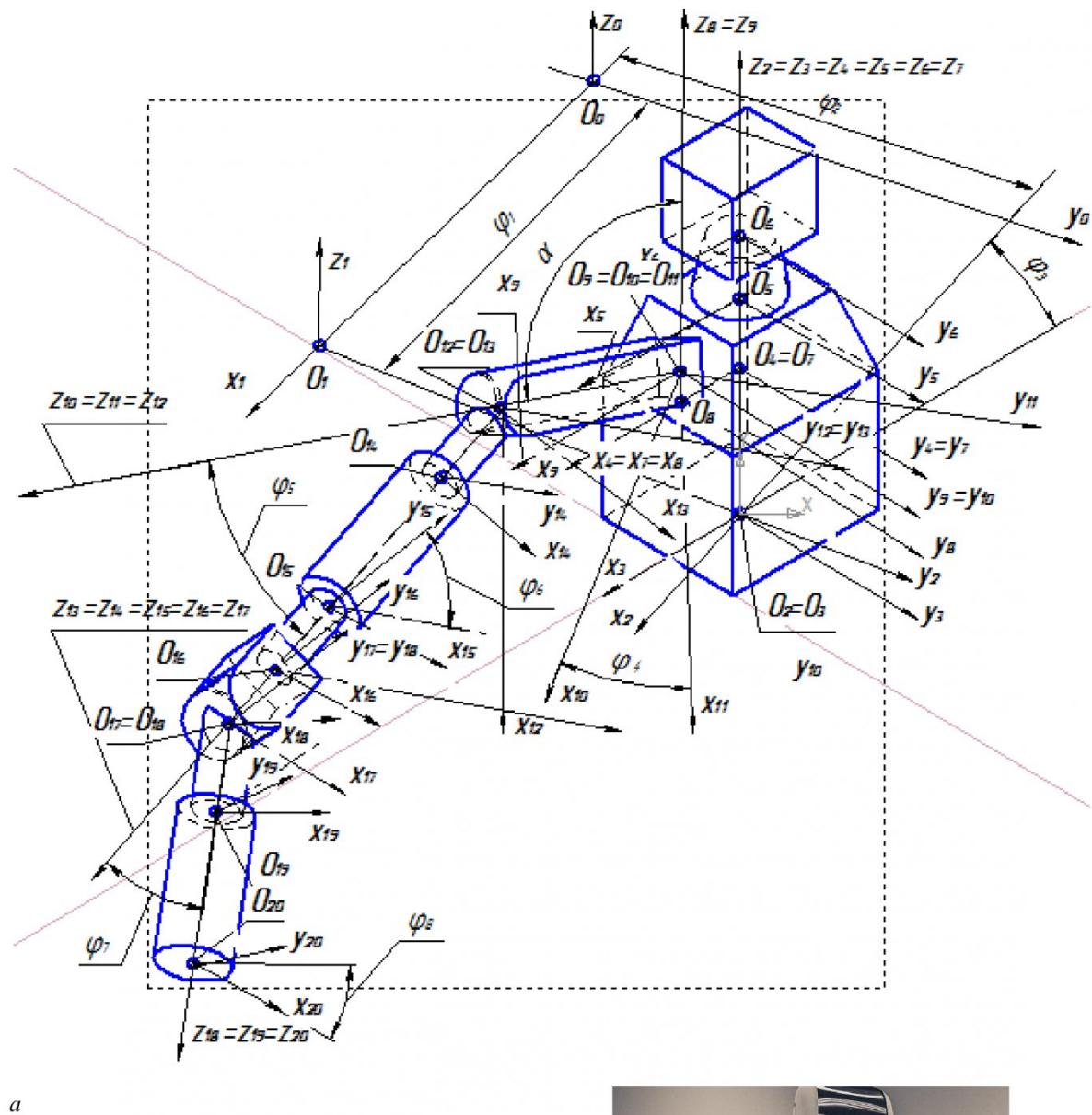


Рис. 1 Андроидный робот AR-600 E: а – системы координат определяющие геометрическую модель робота, б – общий вид робота

нных кинематических цепей манипуляторов. В настоящей работе изложен способ кодирования геометрической информации при задании исполнительных механизмов на основе использования заданного набора пространственных примитивов и их ориентации в подвижных системах координат. Предложен новый метод обозначения геометрических моделей механизмов роботов при использовании пространственных примитивов.

Рассмотрим исполнительный механизм андро-

идного робота AR-600 E, представленного на рис. 1а. Положение узловых точек и подвижных звеньев механизма руки в неподвижном пространстве определяют совокупность матриц $M_{0,1}, M_{0,2}, \dots, M_{0,nm}$ размерности 4×4 [4,5]. Параметр n_m определяет число систем O_1, O_2, \dots, O_{nm} , используемых при задании геометрической модели механизма манипулятора. Для излагаемого примера задания геометрической модели механизма андроидного робота AR-600 E в общем

случае $n_m \neq n$ и $n_m = 20$. Где n – задает число обобщенных координат механизма манипулятора. Матрицы $M_{0,k}$ определяют произведением матриц $M_{k-1,k}$.

Заметим, что в каждой из систем O_{nm} может быть задан объемный примитив, в качестве которого могут выступать призма, усеченная пирамида, цилиндр вращения, усеченный конус и д.р. Вид объемного примитива и его ориентация в системе O_k ($n_m \geq k \geq 1$) определяют соответственно значения кодов n_{pr} и n_{or} . В табл. 1 приведены некоторые значения кодов n_{pr} и n_{or} в зависимости от вида и ориентации объемного примитива. Заметим, что объемные примитивы выбраны в соответствии с имеющимися командами системы Автокад. Из таблицы 1 ясен геометрический смысл переменных массивов $a_1(y_a, y_b, z_a, z_b, h_1, \alpha_1, h_2, \alpha_2)$, $a_2(x_a, x_b, z_a, z_b, h_1, \alpha_1, h_2, \alpha_2)$, $a_3(x_a, x_b, y_a, y_b, h_1, \alpha_1, h_2, \alpha_2)$..., задающих соответствующий объемный примитив в подвижной системе координат. Для задания объемного примитива необходимо задание основания в пользовательской системе координат (ПСК) [6]. В этой системе координат формируют изображение плоского контура, к которому в дальнейшем применяется операция выдавливания. В связи с этим рационально с каждым объемным примитивом связывать систему O_k . С помощью задания различных значений первых че-

тырех элементов под массивов a_1 , a_2 , a_3 , ... массива a_i имеется возможность формировать плоские контуры различной формы и положения относительно центров ПСК.

Переменные α_1 и α_2 могут принимать как нулевые так и не нулевые значения. При этом функции (подпрограммы) Автолисп заданные кодами $n_{pr} = 1, 2$ в зависимости от этого могут стоять призму или пирамиду и цилиндр или усеченный конус. Параметры h_1 и h_2 также могут принимать нулевые или положительные значения. В зависимости от этого примитив может располагаться по одну или две стороны относительно конструктивной плоскости ПСК [6]. ПСК определяют вектора r_O, r_A, r_B, r_C точек O, A, B, C задающих центр ПСК и расположенных на соответствующих осях подвижной системы координат (см. табл. 1). Компоненты указанных векторов определяются элементами матриц $M_{0,k}$.

$$r_0 \rightarrow (m_{14}^{0,k}, m_{24}^{0,k}, m_{34}^{0,k}),$$

$$r_A = r_O - r_A', \quad r_A' \rightarrow (m_{11}^{0,k}, m_{21}^{0,k}, m_{31}^{0,k}),$$

$$r_B = r_O - r_B', \quad r_B' \rightarrow (m_{12}^{0,k}, m_{22}^{0,k}, m_{32}^{0,k}),$$

$$r_C = r_O - r_C', \quad r_C' \rightarrow (m_{13}^{0,k}, m_{23}^{0,k}, m_{33}^{0,k}),$$

где $m_{\lambda\mu}^{0,k}$ - элементы матриц $M_{0,k}$, λ - номер строки, η - номер столбца.

Таблица 2 Значения массивов и кодов, определяющих геометрическую модель механизма андроидного робота

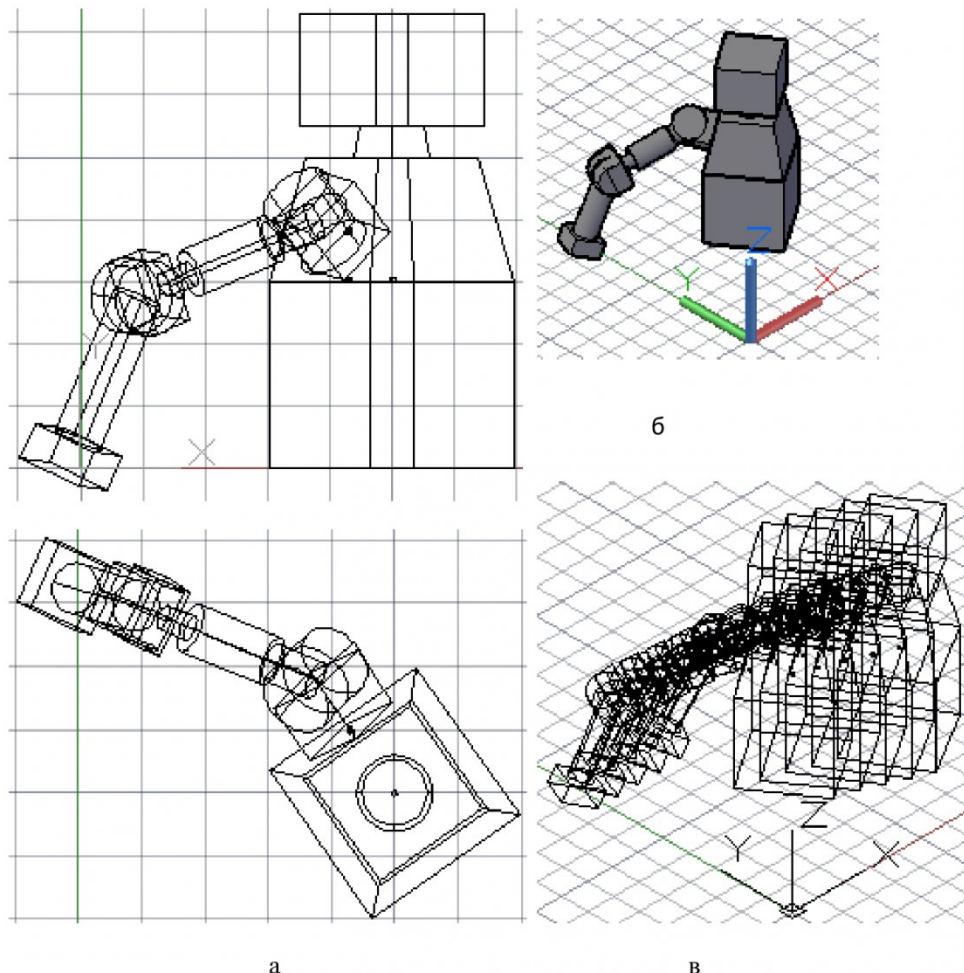


Рис. 2 Изображение механизма робота в системе САПР ACAD: а – визуальный стиль «2D-каркасный», б – визуальный стиль «Концептуальный», в – моделирование движения андроидного робота

Предлагается метод кодирования геометрической информации, сущность которого заключается в задании значений совокупностям элементов массивов. Для расчета элементов матриц $M_{k-1,k}$ используют массивы φ_i , l_k , l_{sm} и n_{kod} . Указанные массивы задают соответственно значения обобщенных координат φ_i , длины звеньев механизмов l_k , смещения вдоль осей систем координат l_{sm} , неподвижно связанных со звеньями механизма, и коды преобразований систем координат n_{kod} . Размерность массивов φ_i , l_k , l_{sm} , n_{kod} , n_{pr} , n_{or} и $a_i(a_1, a_2, a_3, \dots, a_{nm})$ является одинаковой и определяется значением параметра n_m [7]. При этом в указанных массивах в общем случае могут присутствовать пустые элементы (нули), которые предназначены для обеспечения заданной одинаковой размерности массивов с целью организации циклов при расчетах. Размерность под массивов $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{nm}$ задающих геометрическую информацию об объемных примитивах при этом равна восьми (см. табл. 1).

На рис. 1а представлены положения систем O_1, O_2, \dots, O_{nm} , связанных со звеньями механизма манипулятора андроидного робота, а на рис. 1б изображения его общего вида. Заметим, что с

некоторыми подвижными звеньями связаны несколько систем координат O_k . Например, со звеном, подвижность которого определяют обобщенные координаты φ_{1-3} связаны системы O_3, O_4, O_5 , и O_6 . Данные системы координат необходимы для задания примитивов двух призм, пирамиды и усеченного конуса. Системы O_1 и O_2 используются для обеспечения положения центра системы O_3 на горизонтальной плоскости. Системы O_7, O_8, O_9 и O_{10} обеспечивают переход от системы O_4 , к системе O_{11} , с которой связано второе подвижное звено. Данные системы координат необходимы для обеспечения циклов при расчетах, так как для одного преобразования систем координат с кодами $n_{kod} = 10 \div 12$ возможно в списке массива l_{sm} передавать только одно значение. В указанных системах O_{7-10} объемные примитивы не задаются. Значения массивов $\varphi_i, l_k, l_{sm}, n_{kod}, n_{pr}, n_{or}$ и a_i для механизма, представленного на рис. 1а заданы в табл. 2.

В таблице в массиве l_k все элементы принимают нулевые значения так как необходимо задание четырнадцати различных пространственных примитивов. Элементы списка l_{sm} определяются следующими отрезками $l_1 = O_3O_4$, $l_2 = O_4O_5$, $l_3 =$

O_5O_6 , $l_4=O_6O_7$, $l_5=O_7O_8$, $l_6=O_8O_9$, $l_7=O_{11}O_{12}$, $l_8=O_{13}O_{14}$, $l_9=O_{14}O_{15}$, $l_{10}=O_{15}O_{16}$, $l_{11}=O_{17}O_{19}$, $l_{12}=O_{19}O_{20}$.

Робототехническая система, представленная на рис. 1а обеспечивает перемещение объектов манипулирования с использованием адаптивной, интеллектуальной системы управления. Движение объектов манипулирования обеспечивается изменением обобщенных координат φ_{1-8} . При этом смещение основания робота обеспечивается поступательными перемещениями за счет обобщенных координат φ_{1-2} . Оси вращательных кинематических пар пятого класса на рисунке 1а задают соответственно оси подвижных систем координат $z_2, z_{10}, y_{12}, z_{14}, y_{17}$ и z_{18} . Выходное звено механизма манипулятора, изображенного на рисунке 1а, имеет восемь степеней подвижности.

На рисунке 2б представлено изображение андроидного робота с использованием системы САПР ACAD и алгоритмического языка программирования AutoLISP при использовании различных визуальных стилей.

Условимся в дальнейшем обозначать геометрические модели механизмов с обозначением объемных примитивов и их ориентацией. Обозначение $Mn_{kod}(n_{pr}, n_{or})$ определяет соответственно код n_{kod} преобразований систем координат, код n_{pr} объемного примитива и код n_{or} его ориентации. В соответствии с указанной методикой, обозначение геометрической модели андроидного робота AR 600 Е будет следующей: M4(0,0)-5(0,0)-3(1,3)-12(1,3)-12(2,3)-12(0,0)-10(0,0)-12(0,0)-8(0,0)-3(1,3)-

12(2,2)-2(2,3)-12(2,3)-3(2,3)-3(2,3)-12(1,3)-12(2,2)-2(2,3)-12(2,3)-3(1,3). В этом случае при задании геометрической модели используются двадцать систем координат.

Разработанный метод кодирования информации, позволяет проводить генерацию моделей и анализ перемещений звеньев исполнительного механизма робота при виртуальном моделировании движений. Предложенная методика составления массивов и задания значений кодов, позволяет определять положение и форму объемных примитивов в подвижных системах координат. Данные примитивы с определенным допущением задают форму и размеры подвижных звеньев механизмов. Указанные массивы дают возможность организовывать циклы при вычислениях матриц, определяющих положения звеньев, расчет пересечений объемных примитивов с запретными зонами. Одним из преимуществ разработанного метода представления геометрических моделей кинематических цепей, является возможность более точного задания пространственной конфигурации манипуляторов с помощью использования большего количества узловых точек и различного положения объемных примитивов относительно конструктивной плоскости ПСК. Другим достоинством является разработка универсальных программных модулей, позволяющих проводить виртуальную оценку движений робототехнических систем, имеющих сложную структуру кинематических цепей без ограничений на значения параметров n_m , n и r (при этом $2 \leq r \leq 6$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавровский Э.И Алгоритмы управления экзоскелетоном нижних конечностей в режиме одноопорной ходьбы по ровной и ступенчатой поверхности. Мехатроника, автоматизация управление. 2014, №1 – С. 44 – 51.
2. Притыкин, Ф. Н. Методы и технологии виртуального моделирования движений адаптивных промышленных роботов с использованием средств компьютерной графики / Ф. Н. Притыкин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 6. – С. 34 – 41.
3. Притыкин, Ф. Н. Анализ показателей маневренности манипуляторов, имеющих различную структуру кинематических цепей / Ф. Н. Притыкин, Е. А. Чукавов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 1. – С. 35–39.
4. Кобринский, А. А. Манипуляционные системы роботов / А. А. Кобринский, А. Е. Кобринский – М.: Наука, 1985. – 344 с.
5. Зенкевич, С. Л., Управление роботами. Основы управления манипуляционными робототехническими системами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. М: МВТУ, 2000. – 400 с.
6. 3D компьютерная графика : учеб. пособие для бакалавров / А. Л. Хейфец [и др.] ; под ред. А. Л. Хейфеца. – М. : Юрайт, 2012. – 464 с.
7. Притыкин Ф.Н. Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей : монография / Ф. Н. Притыкин ; Минобрнауки России, ОмГТУ . – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 172 с. : ил.

Авторы статьи

Притыкин

Федор Николаевич

д. т. н., доцент, профессор каф. инженерной геометрии и САПР (Омский госуд. технический университет), e-mail - pritykin@mail.ru

Осадчий

Андрей Юрьевич

инженер-конструктор ОАО «КБТМ» e-mail - osadchyandrei@yandex.ru