

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Локтионов А.В., Гусаков А.В.

In work the methods of account kinematic parameters of spatial executive mechanisms are analyzed. The technique of their account is offered, the example of account kinematic parameters of the executive mechanism of the robot-manipulator is submitted.

Существуют различные методы расчета геометрических и кинематических параметров исполнительных механизмов роботов-манипуляторов. В работах [1, 2, 3] скорость \vec{v} и ускорение \vec{a} в сферической системе координат определяются как частный случай их расчёта в ортогональных криволинейных координатах. Для расчёта скорости определяются частные производные от декартовых координат x, y, z точки по соответствующим криволинейным q_1, q_2, q_3 и находятся коэффициенты Ляме H_1, H_2, H_3 . Модуль скорости v точки определяется из выражения $v^2 = \dot{q}_1^2 H_1^2 + \dot{q}_2^2 H_2^2 + \dot{q}_3^2 H_3^2$. Для расчёта ускорения также используются коэффициенты Ляме, определяются соответственно частные производные от квадрата скорости по обобщённым криволинейным скоростям $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3$ и координатам q_1, q_2, q_3 и полные производные по времени от полученных соответствующих разностей частных производных по \dot{q} и q . Такая методика расчёта кинематических параметров достаточно трудоёмка. Искомые \vec{v} и \vec{a} определяются только в проекциях на подвижные сферические оси координат R, φ, Θ , связанные с движущейся точкой М.

В работе [4] сферическое движение твердого тела рассмотрено на основе матриц поворота, которые определяют положение подвижной системы координат $Ox_1x_2x_3$, связанной с твердым телом, относительно неподвижной системы координат $Ox'_1x'_2x'_3$. Для произвольного движения твердого тела положение подвижной системы координат $Ox_1x_2x_3$ определено четырехмерной матрицей А. В работах [5, 6] скорость \vec{v} и ускорение \vec{a} получены с использованием векторного анализа. Матричное исчисление использовано в работе [5] для преобразования от прямоугольных и цилиндрических к сферическим системам координат. Такой метод изложен также в работах [7, 8] при расчёте кинематических параметров механизма в цилиндрических и сферических координатах.

Установлено, что наиболее простые методы расчета следует использовать для роботов работающих в плоских системах координат. Векторный метод расчета кинематических параметров исполнительных механизмов следует использовать для роботов, звенья которых расположены в одной плоскости. При кинематическом анализе двухзвенного исполнительного механизма с тремя степенями подвижности, установлено, что векторный метод достаточно сложен и неприменим для пространственных схем размещения звеньев роботов-манипуляторов. При таком методе расчета определяются проекции звеньев на неподвижные оси координат и векторов скорости и ускорения на эти оси [9].

Аналитические исследования по расчёту кинематических параметров центра схвата двухзвенного робота-манипулятора в подвижных координатных осях матричным методом рассмотрены в работах [7, 8]. Расчет кинематических параметров точки М, центра схвата робота в указанных работах матричным методом выполнен для случая, когда она совпадает с началом координат $X_5 Y_5 Z_5$. В общем случае координаты $X_5, Y_5, Z_5 \neq 0$. Установлено, что при матричном методе расчета необходимы расчетные формулы для скорости и ускорения центра схвата не только в неподвижной системе координат, но и в подвижной системе, связанной с центром схвата, которые значительно проще, чем кинематические характеристики в неподвижной системе координат. Такая методика расчета рекомендована для простран-

ственных схем роботов-манипуляторов. Для использования предложенной методики расчета применительно к многосвязным исполнительным механизмам необходимо последовательно, начиная с n -го звена, выполнить поворот относительно осей $O_i Z_i$. При этом необходимо аналитически описать связь между введенными ранее системами координат. Эта связь устанавливается по следующим образом [7, 8, 10, 11]:

- 1) поворот на угол θ_i вокруг оси Z_{i-1} , пока оси X_{i-1} и X_i не станут параллельными (рис. 1);
- 2) перенос на величину d_i вдоль оси Z_{i-1} до тех пор, пока оси X_{i-1} и X_i не совместятся;
- 3) перенос на величину a_i (длина звена) вдоль оси X_i до совпадения начала координат O_{i-1} с началом O_i ;
- 4) поворот на угол α_i относительно оси X_i до совмещения всех координатных осей

Указанные преобразования аналитически описываются матрицами A_θ и A_α , которые представляют собой матрицы поворота систем координат. Однако эти матрицы не позволяют полностью совместить системы координат i -ую и $(i-1)$ -ую. Для этого необходимо еще совершить преобразование переноса начала координат O_{i-1} в направлении вектора \vec{l}_i на величину, соответствующую его длине. Этот вектор, заданный в $(i-1)$ -ой системе координат имеет вид $\vec{l}_i = [a_i \cos \theta_i, a_i \sin \theta_i, d_i]^T$

Таким образом, матрицы A_θ , A_α и \vec{l}_i полностью определяют переход от исходной системе координат к конечной, а матрицы перехода можно задать блочной матрицей вида

$$A_i = \begin{bmatrix} A_\theta A_\alpha & \vdots & l_i \\ \dots & \vdots & \dots \\ 0 & \vdots & 1 \end{bmatrix},$$

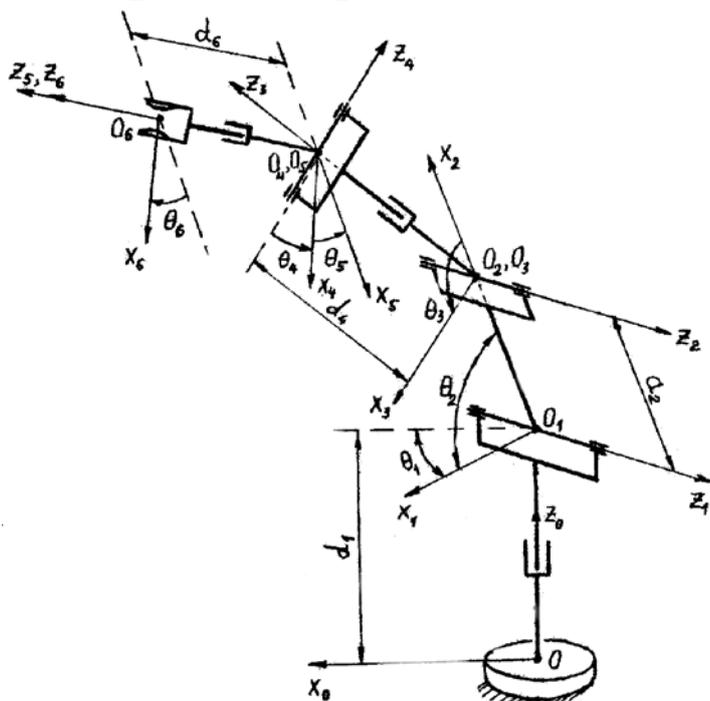


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора типа УЭМ-2

где $A_\theta A_\alpha$ - матрица 3×3 , описывающая переход от системы $(i-1)$ -ой к i -ой в обобщенных координатах θ_i ; l_i - матрица размера 3×1 , описывающая перенос начала координат в направлении вектора \vec{l}_i на величину, соответствующую его длине; 0 - нулевая матрица размера 1×3 и единичная матрица 1 .

Рекомендованная методика расчета кинематических параметров матричным методом использована применительно к многосвязному исполнительному механизму робота-манипулятора типа универсальный экспериментальный манипулятор серии 2 (УЭМ-2) (рис.1).

Для такой схемы определены: положение, скорости и ускорения центра

схвата робота-манипулятора как в неподвижной системе координат, связанной со стойкой робота, так и в подвижной, связанной с центром схвата. Установлено, что полученные зависимости для определения скорости и ускорения достаточно сложны для визуального восприятия. Поэтому кинематический расчет многозвенных исполнительных механизмов следует проводить с использованием прикладных программ, таких как Maple, Mathematica, MathCAD.

При силовом расчете манипуляторов рассматриваются задачи по расчету внешних силовых управляющих воздействий, обеспечивающих требуемый закон движения механизма, и расчету реакций в кинематических парах [12]. Первую часть расчета часто называют задачей синтеза управления. При этом обычно применяется метод кинестатики, основанный на принципе Даламбера. По этому методу к внешним силам и моментам, приложенным к звеньям механизма, добавляются расчетные силы инерции, которые обеспечивают силовую уравновешенность системы и позволяют рассматривать подвижную систему в квазистатическом равновесии, то есть, как условно неподвижную [10, 12]. Силовой расчет выполняется с учетом кинематического расчета и известных инерционных характеристик звеньев: массах звеньев m_i и их моментах инерции I_{si} при заданной полезной нагрузке \vec{F}_n , известных законах движения звеньев \vec{a}_{si} (ускорение центра масс i -того звена) и $\vec{\varepsilon}_i$ (угловое ускорение i -того звена). Для каждого из звеньев механизма определяются главные вектора $\vec{F}_{ui} = -m \cdot \vec{a}_{si}$ и главные моменты $\vec{M}_{ui} = -I_{si} \cdot \vec{\varepsilon}_i$ сил инерции. Для кинематической цепи решение начинается с выходного звена – схвата. Связь звена n со звеном $n-1$ заменяются реакциями $\vec{M}_{n,n-1}$ и $\vec{F}_{n,n-1}$, составляются кинестатические векторные уравнения равновесия сил и моментов для звена n (схвата робота).

На рис.2 представлена расчетная схема для силового анализа звена n (схвата робота), где \vec{G}_O – вес груза, \vec{F}_{uo} – сила инерции груза, S_n – центр масс n -ого звена.

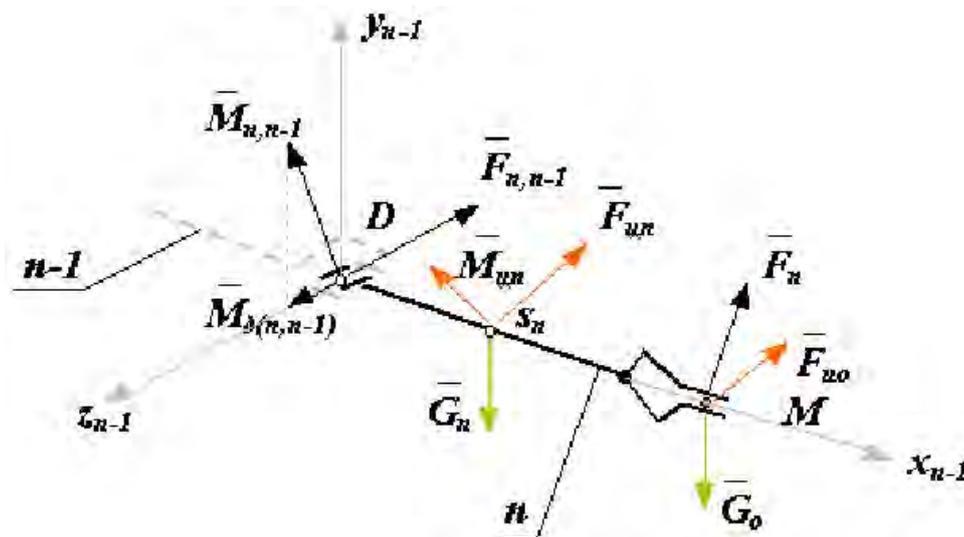


Рис. 2

Проецируя векторные уравнения на оси координат, получим систему шести алгебраических уравнений, откуда определим шесть неизвестных

$$F_{x(n,n-1)}, F_{y(n,n-1)}, F_{z(n,n-1)}, M_{x(n,n-1)}, M_{y(n,n-1)}, M_{z(n,n-1)} = M_{\partial(n,n-1)}$$

Далее рассматривается равновесие звена $n-1$. При этом в присоединения к звену n прикладываются реакции со стороны звена n , равные по величине и противоположные по направлению реакциям, определенным на предыдущем этапе расчета. Так последовательно составляются уравнения силового равновесия его для всех n звеньев механизма. Из решения полученной системы $6n$ уравнений определяются реакции и моменты в кинематических парах. При этом используются полученные при кинематическом анализе ускорения центра схвата и центра масс звена, для которого определяются силовые характеристики.

Целесообразно, с использованием компьютерных технологий классифицировать кинематические схемы роботов [13] и разработать методику расчета кинематических параметров матричным способом различных по конструктивному исполнению пространственных исполнительных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики, том I. – М.:Наука, 1970. с. 240.
2. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики, ч. I. – М.:Наука, 1972, с. 468.
3. Федута А.А., Чигарев А.В., Чигарев Ю.В. Теоретическая механика и методы математики. – Мн.: «Технопринт», 2000, с. 504
4. Вихренко В.С. Построение кинематики на основе матриц поворотов и трансляций. – Методические материалы по вопросам преподавания теоретической механики в высшей школе. Минск, 1989, с. 55-62.
5. Халфман Р.Л. Динамика. – М.: Наука, 1972, с. 568.
6. Воробьев Е.И., Попов С.А., Шевелева Г.И. Механика промышленных роботов, часть 1: Кинематика и динамика. – М.: Высш. шк., 1988, с. 304.
7. Локтионов А.В. Расчет кинематических параметров в цилиндрических координатах матричным методом. – Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей, 2003, с 59-63.
8. Локтионов А.В. Расчет кинематических параметров в сферических координатах матричным методом. – Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей, 2004, с 115-118.
9. Локтионов А.В., Гусаков А.В. Расчет кинематических параметров двухзвенного механизма с тремя степенями подвижности. – Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки, 2004, №4, с. 99-102.
10. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. – М.: Наука, 1978, с. 400.
11. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. – М.: Наука, 1976, с. 104.
12. Воробьев Е.И., Егоров О.Д., Попов С.А. Механика промышленных роботов, часть 2: Расчет и проектирование механизмов. – М.: Высш. шк., 1988 с. 304.
13. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1988, с. 392.