

функціональність вже існуючих, додавши їм певні параметри, які міг би налаштовувати користувач.

Список літератури: 1. Харви М. Дейтел, Пол Дж. Дейтел. “Как программировать на С++”. – М.: Питер. – 2004. – 1007с. 2. Стивен Прата. “Язык программирования С++”. – К.: Питер. – 2007. – 1184с. 3. Герберт Шилдт “Полный справочник по С”. – М.: Вильямс, – 2007. – 704с.

УДК 519.95

ЗАЙЦЕВА А. И., АНДРЕЕВ Ю. М., д-р техн. наук

УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ДВИГАЮЩИМИСЯ УСТРОЙСТВАМИ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЙСТВУЮЩИХ СИЛ

Введение. Моделирование динамики роботов – манипуляторов является одной из сложных задач. Это связано с проблемой составления динамических уравнений для пространственных механизмов, а также их интегрированием. С появлением систем компьютерной алгебры упростился процесс получения уравнений, и появились эффективные аналитические алгоритмы для кинетического и динамического анализа таких систем. В работе демонстрируются разработанные и встроенные в ССКА КиДиМ аналитические алгоритмы и применение такой вычислительной системы для расчетов кинематики, статики, динамики робототехнических систем.

Постановка задачи. Заданием работы является определение законов пространственного движения звеньев механизма манипулятора и силового обеспечения перемещения его схвата от начального положения в конечное. Эта задача разбивается на три подзадачи - задачу начального позиционирования, обратную задачу кинематики и обратную задачу динамики. Исходное позиционирование это определение обобщенных координат, соответствующие требуемому начальному положению и ориентации схвата манипулятора. Обратная задача кинематики заключается в вычислении законов изменения обобщенных координат, отвечающих закону движения в пространстве схвата с деталью, который совместим с начальным и конечным положением детали. Обратная задача динамики решает проблему нахождения законов изменения сил и моментов в сочленениях механизма манипуляционной системы. Начальное и конечное положения детали определяется при условии достижения ее схватом. Закон изменения ее положения в пространстве определяется в условиях движения за заданный промежуток времени и нулевых скоростях ухода от начального и подхода до конечного положения. После решения указанных задач определения движения манипуляционной системы с заданным начальным положением и под действием определенных сил и моментов нужно

получить оценку точности выполнения манипулятором задачи о переносе детали в необходимое положение.

Применение предлагаемой методики для манипулятора пума-560.

Для иллюстрации методики рассмотрим задачу рисования схватом манипулятора ПУМА-560 (рисунок 1) трехлепестковой эпициклоиды (рисунок 2).

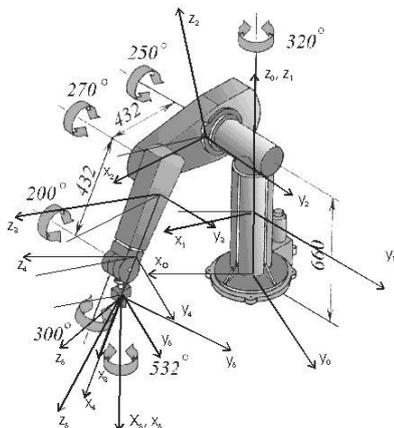


Рис. 1 – Внешний вид и системы координат звеньев манипулятора ПУМА-560

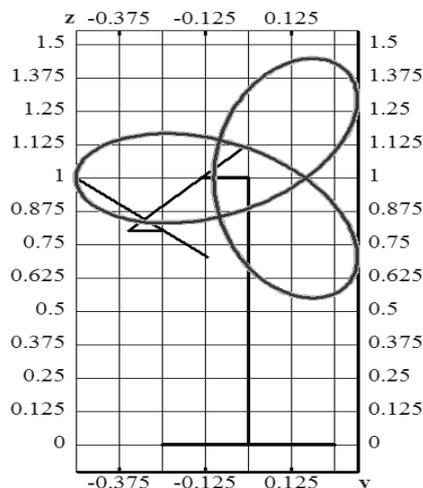


Рис. 2 – Заданная и реализованная схватом трехлепестковая эпициклоида

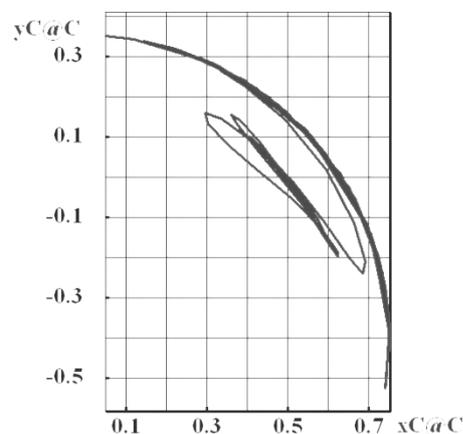


Рис. 3 – Траектория движения центра схвата к начальному положению

Инерционная и геометрическая структура модели задается в ССКА КиДиМ записями типа «твердое тело», вида [1]:

Колонна	$ R_z(\varphi_1), S_z(h)$	$ J_z(J_{1z});$
Плечо~Колонна	$ S_z(h_1), R_y(\varphi_2), S_x(l_2), S_y(-d_2)$	$ m_2, J_{2x}, J_{2z}, J_{2y};$
Локоть~Плечо	$ S_x(h_2), R_y(\varphi_3), S_x(l_3), S_y(d_3)$	$ m_3, J_{3x}, J_{3z}, J_{3y};$
Запястье~Локоть	$ S_x(h_3), R_x(\varphi_4)$	$ m_4, J_{4z}, J_{4x}, J_{4y};$
Ладонь~Запястье	$ R_y(\varphi_5)$	$ m_5, J_{5x}, J_{5z}, J_{5y};$
Схват~Ладонь	$ S_x(h_6), R_z(\varphi_6)$	$ m_6, J_{6z}, J_{6x}, J_{6y};$

Уравнения астроида выбраны в виде:

$$x_C = (R+r)\cos\varphi - \lambda r \cos\left(\frac{R+r}{r}\varphi\right), \quad z_C = (R+r)\sin\varphi - \lambda r \sin\left(\frac{R+r}{r}\varphi\right), \quad r=0,1\text{м}, R=0,3\text{м}, \lambda=3, \varphi=\pi t. \quad (2)$$

Учтены силы тяжести звеньев. Добавлены диссипативные элементы - в каждом из трех первых сочленений $D.\varphi_1=d$; $D.\varphi_2=d$; $D.\varphi_3=d$; $d=500\text{Нмс}$; и, самое главное, упругий элемент, моделирующий фиктивную пружину, растягивающуюся при появлении рассогласования между схватом и соответствующей точкой астроида

$$C.dr = c; \quad c = 2e7\text{Н/м}; \quad dr = \sqrt{x_{C@C} - x_C^2 + y_{C@C} - y_C^2 + z_{C@C} - z_C^2}. \quad (3)$$

На рисунке 3 представлена проекция траектории схвата при выходе его в начальную точку траектории $[0,5; 0]$ на горизонтальную плоскость, что иллюстрирует решение задачи позиционирования схвата. В этом случае координаты x_C, y_C, z_C изображающей точки в выражении (3) берутся постоянными. После получения начальных значений обобщенных координат (в качестве которых здесь взяты углы поворота первых сочленений – $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$), координаты схвата изменяются в соответствии с формулами (2) и решается задача расчета законов изменения обобщенных координат для обеспечения движения схвата по эпициклоиде.

Вычисляются, таким образом, обобщенные координаты как функции времени, соответствующие траектории и закону движения по ней изображающей точки. После решения обратной задачи динамики для этих законов изменения обобщенных координат (по методике [2]) были определены законы изменения движущих моментов в сочленениях механизма, а по ним с помощью решения прямой задачи динамики – значения обобщенных координат. По ним и формулам, формируемым ССКА КиДиМ (не приводимым здесь ввиду громоздкости) по описанию (1) вычисляются координаты схвата. Обе кривые – эпициклоида (серого цвета) и траектория движения схвата (черного цвета), сформированная рассчитанными значениями движущих моментов в кинематических парах, представлены на рисунке 2, где наглядно видна погрешность такого метода. Точность метода можно повысить, увеличивая жесткость фиктивной пружины (3). Достоинством метода является его универсальность (годится для любых моделей манипуляторов) и то, что из всех возможных реализуется устойчивое движение схвата. В качестве недостатка следует отметить заметные затраты времени для получения решения (несколько сек).

Уменьшить время расчета законов изменения обобщенных координат, отвечающих траектории движения схвата призван другой способ, основанный на решении алгебраических уравнений относительно обобщенных координат методом касательных (методом Ньютона). Уравнения здесь формируются ССКА КиДиМ по описанию задачи статики – определения положения равновесия упругой механической системы, модель которой включает силы тяжести звеньев и упругую силу между схватом и заданным его положением - точкой на эпициклоиде.

В качестве начального приближения для первого значения варьируемого параметра (времени в выражении (2)) используется приближение, которое пользователь задает в исходных данных. Для последующих значений времени в качестве начального приближения используется результат решения задачи, полученный для предыдущего значения времени. Вместо статических уравнений для решения этой задачи могут использоваться кинематические уравнения, формируемые ССКА КиДиМ как преобразование координат по описанию (2). И в том и в другом случае результаты решения обратной задачи кинематики практически совпадают с решением динамическим методом,

однако значительно его превосходят по скорости (время решения указанной задачи для манипулятора ПУМА-560 составляет доли секунды).

Вывод. В данной работе приведено решение с помощью ССКА КиДиМ ряда задач динамики пространственных движений манипуляционных систем роботов. В первом случае предлагаются алгоритмы решения задач проектирования траекторий схвата как комплексной задачи – обратной задачи кинематики, обратной задачи динамики, прямой задачи кинематики. Предложено использовать динамический метод и метод Ньютона с получением начального приближения по динамическому методу и продолжения решения по параметру. Получено удовлетворительное решение указанных задач. Предложенные алгоритмы имеют практическое значение для решения задач указанных классов, так как приведены алгоритмы их решения в общем виде.

Список литературы: 1. Андреев Ю. М. О динамике голономных систем твердых тел / Ю. М. Андреев, О. К. Морачковский // Прикл. механика. - 2005. - Т. 41, №7. - С. 130-138.
2. Андреев Ю. М. Универсальный алгоритм решения задач кинестатики и его применение для расчетов порталного крана / Ю. М. Андреев // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : 6-я Междунар. науч.-техн. конф. : труды. — Харьков : ХНПК «ФЭД», 2002. — С. 297—300.

УДК 519.6

ЗЯГУН Г. Ю., ПЛАКСІЙ Ю. А., канд. техн. наук, доцент

АНАЛІТИЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ЧАСТИННОГО РОЗВ'ЯЗКУ КІНЕМАТИЧНИХ РІВНЯНЬ В КВАТЕРНІОНАХ

Основний текст друкується через один порожній рядок після назви. Вирівнювання по ширині, відступ 1.0 см.

Розглядається задача визначення орієнтації в безплатформених інерціальних навігаційних системах (БІНС), заснованій на застосуванні алгоритмів визначення повороту, що використовують первісну інформацію про обертання твердого тіла на такті $[t_{n-1}, t_n]$ у вигляді приростів інтегралів від проєкцій вектора абсолютної кутової швидкості $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T$ на пов'язані осі позірних поворотів [1]:

$$\theta_{ni}^* = \int_{t_{n-1}}^{t_n} \omega_i dt, \quad i = 1, 3. \quad (1)$$

Відомо [1], що загальне рішення кінематичного рівняння:

$$\Lambda = 0,5\Lambda \circ \omega \quad (2)$$

представляється у вигляді формули додавання поворотів: