

Динамические характеристики НУРТ

Параметр	НУРТ с ИСТ	НУРТ с каскадным включением НСТ и ИСТ	Коэффициент улучшения (отношение параметров)
Длительность переходного процесса	285 мкс	22 мкс	13,0
Скорость нарастания входного тока НУРТ	0,04 А/мкс	30 А/мкс	750
Скорость спада входного тока НУРТ	0,05 А/мкс	26 А/мкс	520
Коэффициент рекуперации	85 %	72,2 %	0,85

Высокочастотные помехи (см. рис. 6) наводятся за счет изменения тока НСТ, и в этом случае динамические характеристики ИСТ таковы, что он практически не обрабатывает изменение тока НСТ. При наведении низкочастотных помех (см. рис. 7) ИСТ частично компенсирует изменение тока НСТ. Несимметричность графика тока НСТ (рис. 7, б) объясняется различием скорости нарастания и спада входного тока ИСТ.

Модель, разработанная в пакете Micro-CAP, позволяет сократить время на проектирование нагрузочных устройств рекуперационного типа и может быть использована для анализа динамических и энергетических характеристик НУРТ (см. таблицу).

Таким образом, каскадное включение регулирующих элементов существенно улучшает динамические характеристики НУРТ, но уменьшает коэффициент

полезного использования электроэнергии из-за потерь в НСТ. Этот недостаток особенно проявляется при относительно малых мощностях нагружения, соизмеримых с мощностью потребления НСТ (см. рис. 2).

Библиографические ссылки

1. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Динамический синтез нагрузочных устройств с рекуперацией электроэнергии в сеть электропитания испытательного комплекса энергосистем космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 4 (37). С. 142–147.
2. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний систем электропитания постоянного тока // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 6 (32). С. 56–61.

E. A. Mizrakh, D. K. Lobanov

LOADING DEVICE OF RECUPERATION TYPE WITH IMPROVED DYNAMIC CHARACTERISTICS

Simulation model of loading device of recuperation type with improved dynamic characteristics for Micro-CAP program has been developed. Research of characteristics of loading device of recuperation type with cascade connection of impulse and continuous current regulators is performed and described in the article.

Keywords: loading device, energy-efficiency, recuperation, dynamic characteristics.

© Мизрах Е. А., Лобанов Д. К., 2012

УДК 621.01

Р. А. Мирзаев, Н. А. Смирнов

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ (ДЕЛЬТА-МЕХАНИЗМА)

Рассмотрена кинематика манипулятора с параллельной структурой – дельта-механизма. Аналитически решена прямая задача кинематики манипулятора. Проведена проверка полученного решения с помощью трехмерного моделирования. Найдены крайние положения манипулятора и область рабочей зоны.

Ключевые слова: прямая задача кинематики, рабочая зона, дельта-механизм, устройства параллельной кинематики, манипуляторы.

В некоторых областях техники перспективным является применение роботов-манипуляторов на основе механизмов параллельной кинематики, используемых при механической обработке изделий сложной формы (например, штампов, пресс-форм, лопаток турбин и т. д.), когда требуется перемещение инструмента по пяти-шести координатам.

В отличие от традиционных манипуляторов, структуры с параллельной кинематикой содержат замкнутые кинематические цепи и воспринимают нагрузку как пространственные фермы [1], т. е. звенья этих механизмов работают на растяжение и сжатие, что обеспечивает жесткость всей конструкции и, как следствие, повышение точности позиционирования схвата [2].

Достоинствами манипуляторов, построенных на основе параллельных механизмов, являются большая точность и жесткость, высокие рабочие нагрузки [3].

Среди недостатков этих манипуляторов следует отметить использование большого количества приводов и более сложных систем управления, меньший размер рабочей области и высокую стоимость, сложность в проектировании. Однако эти недостатки не являются препятствием для распространения параллельных манипуляторов в тех областях, где требуется точное позиционирование, высокие нагрузки и маневренность [3].

Математические и имитационные модели кинематики и динамики некоторых параллельных механизмов, а также задача оптимизации их формы и размеров рассматривались в [4].

Трехмерное моделирование кинематически сложных механизмов целесообразно выполнять с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) CATIA, в которой используются алгоритмы моделирования движения кинематически сложных механизмов, таких как устройства параллельной кинематики. Для решения систем уравнений, описывающих положение устройства параллельной структуры, наиболее подходящим является программный пакет Maple – система компьютерной алгебры, позволяющая решать сложные системы уравнений как в численном, так и в символьном виде. В работе [5], в которой рассматривались особенности динамики манипуляторов параллельной структуры и переходные процессы, для расчета параметров управления приводами механизмов применялся программный комплекс MATLAB/Simulink.

Постановка задачи. Рассмотрим устройство параллельной кинематики – дельта-механизм (рис. 1), включающий в себя основание, образованное точками 3, 6, 9, верхнюю платформу, на движение которой накладываются ограничения три кинематические цепи: 1–2–3, 4–5–6, 7–8–9. В точках 1, 2, 4, 5, 7, 8 установлены поворотные шарниры с одной вращательной степенью свободы, в точках 3, 6, 9 – сферические шарниры с тремя вращательными степенями свободы. Основание и поворотная платформа представляют собой равносторонние треугольники.

Введем следующие обозначения элементов дельта-механизма (см. рис. 1):

- x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} – координаты i -й точки в j -й системе координат;
- l_i – длина i -го звена, во всех кинематических цепях $l_1 = 37$ мм, $l_2 = 58$ мм;
- φ_{ij} – угол i -го шарнира в j -й кинематической цепи;
- δ_i – угол между первой системой координат i -й кинематической цепи и базовой системой координат, $\delta_1 = 330^\circ$, $\delta_2 = 210^\circ$, $\delta_3 = 90^\circ$;
- E – расстояние между сферическими шарнирами 3, 6, 9 дельта-механизма, $E = 60$ мм;
- F – расстояние от начала базовой системы координат до поворотных шарниров 1, 4, 7, $F = 60$ мм;

- R – расстояние от полюса схвата P до сферических шарниров 3, 6, 9, $R = 34,641$ мм;
- $X_0Y_0Z_0$ – базовая система координат;
- $X_1Y_1Z_1$ – первая система координат.

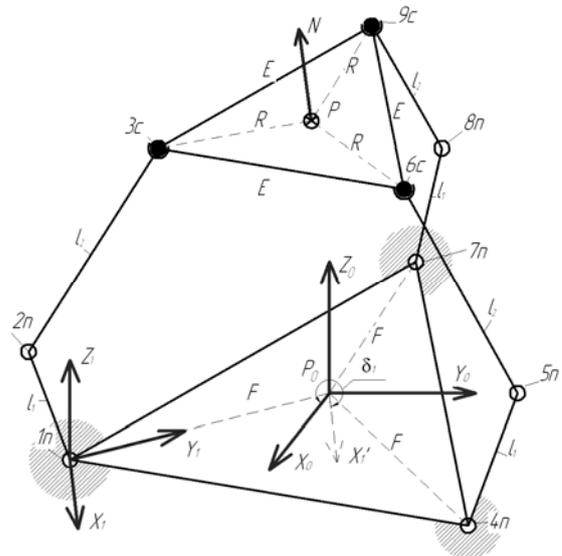


Рис. 1. Общий вид дельта-механизма (обозначения см. в тексте)

Решение прямой задачи кинематики. Прямая задача кинематики манипуляторов применительно к дельта-механизму сводится к нахождению координат поворотной платформы при заданных длинах звеньев l_1, l_2 и углах поворотов шарниров $\varphi_{11}, \varphi_{21}, \varphi_{12}, \varphi_{22}, \varphi_{13}, \varphi_{23}$ (рис. 2).

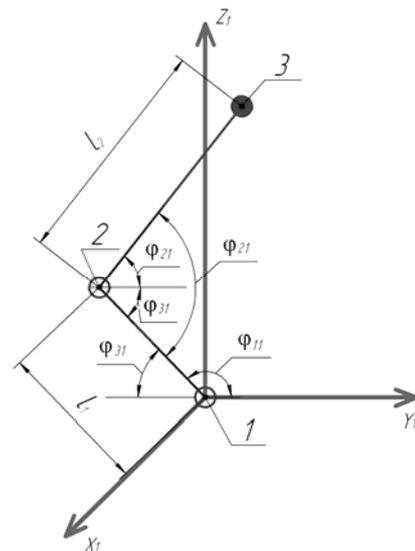


Рис. 2. Определение положения точек 2 и 3 в первой системе координат

Для решения этой задачи сначала находят координаты сферического шарнира (точки 3) в первой системе координат $X_1Y_1Z_1$, а затем с помощью переноса

на расстояние F и поворота на угол δ переходят к базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$. Аналогично определяют координаты остальных сферических шарниров – точек 6, 9, которые вместе с точкой 3 задают плоскость поворотной платформы (рис. 3). По уравнению этой плоскости можно найти углы ее наклона в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$, а также высоту полюса схвата.

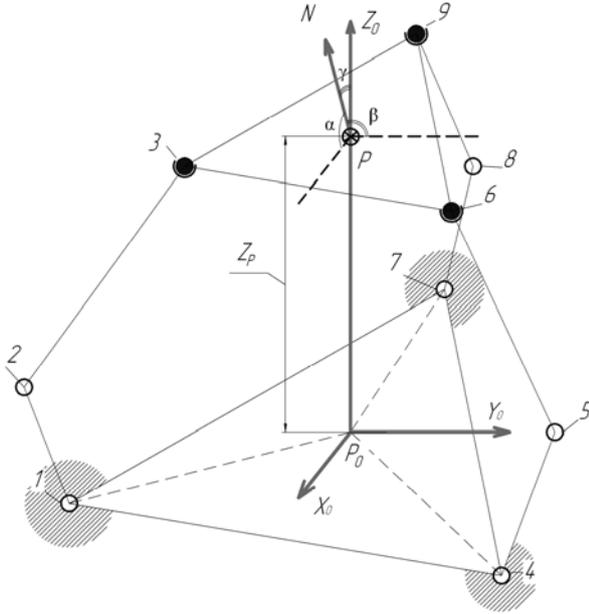


Рис. 3. Схема положения плоскости поворотной платформы в базовой системе координат

В первой системе координат $X_1Y_1Z_1$ координаты точки 3 определяются по уравнениям

$$\begin{cases} x_{31} = 0, \\ y_{31} = l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ), \\ z_{31} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ). \end{cases}$$

При переходе от первой системы координат $X_1Y_1Z_1$, связанной с кинематической цепью 1–2–3, к базовой системе $X_0Y_0Z_0$ следует выполнить перенос на расстояние F и поворот на угол δ (см. рис. 1). Для уравнений координат точки 3 этот угол равен углу δ_1 , т. е. 330° :

$$\begin{cases} x_{30} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_1), \\ y_{30} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_1), \\ z_{30} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ). \end{cases}$$

Аналогично находят координаты точки 6 в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$:

$$\begin{cases} x_{60} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_2), \\ y_{60} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_2), \\ z_{60} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ). \end{cases}$$

Координаты точки 9 в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$ задаются уравнениями

$$\begin{cases} x_{90} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_3), \\ y_{90} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_3), \\ z_{90} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ). \end{cases}$$

Поворотная платформа представляет собой равнобедренный треугольник с вершинами 3, 6, 9. Зная координаты этих точек, можно найти уравнение плоскости поворотной платформы, а затем и координаты нормали N в базовой системе координат.

Уравнение плоскости поворотной платформы записывается следующим образом:

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0.$$

По координатам трех точек 3, 6, 9 получают коэффициенты уравнения плоскости верхней платформы:

$$\begin{aligned} A &= y_{30}(z_{60} - z_{90}) + y_{60}(z_{90} - z_{30}) + y_{90}(z_{30} - z_{60}), \\ B &= z_{30}(x_{60} - x_{90}) + z_{60}(x_{90} - x_{30}) + z_{90}(x_{30} - x_{60}), \\ C &= x_{30}(y_{60} - y_{90}) + x_{60}(y_{90} - y_{30}) + x_{90}(y_{30} - y_{60}), \\ -D &= x_{30}(y_{60} \cdot z_{90} - y_{90} \cdot z_{60}) + x_{60}(y_{90} \cdot z_{30} - y_{30} \cdot z_{90}) + \\ &\quad + x_{90}(y_{30} \cdot z_{60} - y_{60} \cdot z_{30}), \end{aligned}$$

где коэффициенты A, B, C – координаты вектора нормали N к плоскости поворотной платформы 3, 6, 9 (см. рис. 3). Направляющие косинусы вектора N относительно базовой системы координат $X_0Y_0Z_0$ рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \\ \cos \beta &= \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \\ \cos \gamma &= \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \end{aligned}$$

За обобщенные координаты поворотной платформы приняты два: угла α, β – и высота полюса схвата Z_p . Третий из углов наклона плоскости поворотной платформы γ не следует включать в обобщенные координаты, поскольку положение плоскости в пространстве однозначно определено двумя углами и высотой. Кроме того, число степеней свободы дельта-механизма, вычисленное по формуле Чебышева–Малышева, равно трем [5], а число обобщенных координат должно быть равно числу степеней свободы механизма. Координату Z_p вычисляют как среднее арифметическое координат Z трех точек, так как треугольник, образованный точками 3, 6, 9, является равнобедренным:

$$Z_p = \frac{z_{30} + z_{60} + z_{90}}{3}.$$

Результаты решения прямой задачи кинематики манипулятора параллельной структуры представлены в таблице.

Координаты поворотной платформы

Координаты схвата в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$	Координаты, определенные в САПР CATIA	Координаты, рассчитанные аналитически в пакете Maple	Отклонение, %
α	85,131°	85,011°	0,14
β	103,493°	103,514°	-0,02
γ	14,376°	14,437°	-0,42
Z_p	85,587 мм	85,574 мм	0,02

Определение рабочей зоны манипулятора. Допустимые значения координат положения верхней платформы Z_p , α , β определяются следующими параметрами механизма:

- длиной звеньев l_1, l_2 ;
- максимальным и минимальным углами поворота сферических шарниров: по оси $X - \theta_{max}, \theta_{min}$, по оси $Y - \omega_{max}, \omega_{min}$;
- максимальным и минимальным углами поворота сферических шарниров $\phi_{12max}, \phi_{12min}$.

Определить максимальные углы наклона платформы в базовой системе координат α и β , высоту полюса схвата Z_p , а также зависимость между ними можно с помощью трехмерной модели дельта-механизма (рис. 4).

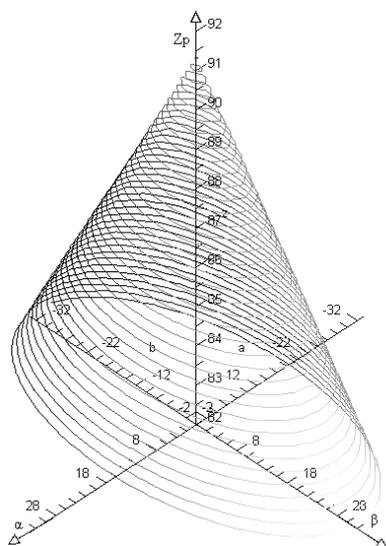


Рис. 4. Рабочая зона дельта-механизма

В ходе экспериментов с трехмерной моделью получена область рабочей зоны механизма – конус с эллиптическим основанием, описываемый уравнением

$$Z_p = -8,814 \sqrt{\frac{\alpha^2}{16,541^2} + \frac{\beta^2}{31,118^2}} + 91,4.$$

Таким образом, при помощи трехмерного моделирования определена рабочая зона механизма – это конус с эллиптическим сечением. При максимальной высоте Z_p поворот платформы невозможен. Снизу рабочая зона ограничена максимальными углами поворота шарниров $1, 4, 7$, а также длинами l_1, l_2 .

Авторами представлены трехмерная модель манипулятора с параллельной структурой – дельта-механизма – и аналитическое решение прямой задачи кинематики этого манипулятора. Проверка вычисленных координат поворотной платформы показала правильность полученного решения. С помощью трехмерной модели дельта-механизма также найдена рабочая зона манипулятора.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных манипуляторов.

Библиографические ссылки

1. Merlet J. P. Parallel Robots. Solid Mechanics and its Applications. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. Разработка манипуляционных механизмов параллельно-перекрестной структуры / В. А. Глазунов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. Вып. 2. М. : Наука, 2008. С. 100–110.
3. Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора как механизма параллельной кинематики типа «трипод» [Электронный ресурс] // Наука и образование. URL: <http://technonew.developer.stack.net/doc/133262.html> (дата обращения: 27.11.2012).
4. Волкоморов С. В., Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Моделирование и оптимизация некоторых параллельных механизмов // Информ. технологии. 2010. Вып. 5. С. 1–32.
5. Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., Смирнов А. Н. Расчет параметров движения приводов механизма параллельной структуры // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 5 (38). С. 62–64.

R. A. Mirzaev, N. A. Smirnov

RESEARCH OF KINEMATICS OF MANIPULATOR WITH PARALLEL STRUCTURE (DELTA MECHANISM)

The article considers kinematics of manipulator with parallel structure. Direct kinematic problem of manipulator solved analytically. The obtained solution verified with the help of three-dimensional simulation of the mechanism. Limit positions of the manipulator and operating area zone are defined.

Keywords: direct kinematic problem, operating area zone, delta mechanism, parallel kinematic device, manipulators.

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., 2012

УДК 004.021

С. С. Огнерубов, Д. И. Ковалев, А. И. Середин, К. К. Бахмарева, В. В. Брезницкая

МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННО-ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ*

Рассматривается формирование мультилингвистического информационно-терминологического базиса и модель его изучения на основе марковских цепей. Приводится алгоритм разбиения информационного базиса на модули по принципу релевантности.

Ключевые слова: мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология, информационно-терминологический базис, марковская цепь, принцип релевантности.

Для современных информационно-управляющих систем (ИУС) характерно то, что количество информационных материалов на различных языках в последние годы существенно увеличивалось. Поэтому современному квалифицированному специалисту, принимающему решения в ИУС, трудно обойтись без знания иностранных языков. Однако требование повысить уровень обучения иностранным языкам в неязыковом вузе вступает в противоречие с некоторыми условиями этого обучения, одним из которых является ограниченное количество часов, отводимых на изучение этих языков. Выходом из этого положения может стать оптимизация процесса обучения. В данной статье рассматриваются анализ процесса обучения и способы разбиения учебного материала на модули.

Формирование модулей. Ранее в работах [1–3], в которых решались задачи разбиения мультилингвистического информационно-терминологического базиса (ИТБ), акцент делался на оптимальное разбиение этого базиса на модули. Это позволяло создавать модули, трудоемкость изучения которых была оптимальной или стремилась к оптимальному значению с точки зрения количества слов в нем. Разработки в данной области были успешны и привели к получению ряда новых результатов [3]. Однако недостатком предложенных в этих работах методов является отсутствие анализа слов, находящихся в модулях, кото-

рые формируются из случайных слов либо из слов, попадающих в модули в алфавитном порядке. В таком случае слова могут быть как трудно, так и легко запоминаемыми, созвучными друг другу, однокоренными или просто похожими.

Решая задачу анализа связей между словами, необходимо обратиться к вопросу изучения памяти и ее свойств, которым занимаются такие науки, как психология и мнемоника. В работах психологов Г. Эббингауза и Ф. Ч. Бартлетта, проводивших различные опыты для изучения особенностей памяти, было выявлено, что степень соответствия слов между собой влияет на их запоминание [4]. В дальнейшем было выяснено, что логически или образно связанная информация (или взаимообусловленные данные) запоминается эффективнее, поскольку при этом складывается ассоциативная связь. У схожих слов в человеческом сознании формируются похожие образы, и по этой причине процесс их запоминания протекает эффективнее, поскольку нет необходимости формировать в памяти новую ячейку. В результате происходит группировка слов со схожими образами и построение ассоциативных рядов, что позволяет запомнить больше при минимальных затратах памяти.

Исходя из вышесказанного задача разбиения мультилингвистического информационно-терминологического базиса на модули с учетом взаимосвязи приобретает особую актуальность.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.В37.21.0116).