

С. Е. АНТОНОВ, М. Я. МАРУСИНА, А. В. ЛЯМИН, С. С. КИСЕЛЕВ, Ю. В. ФЕДОСОВ

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТРИПОДОВ

Определены подходы к разработке автоматизированного программно-аппаратного комплекса для исследования прецизионных триподов. Рассмотрены ограничения математической модели, позиционирование трипода, определены конфигурационное пространство системы и линейные перемещения платформы трипода. Приведен пример визуального представления системы.

Ключевые слова: прецизионные установки, автоматизированные системы для научных исследований, программно-аппаратный комплекс, трипод, механизмы параллельной кинематики.

Введение. Механизмами параллельной кинематики называются устройства, исполнительное звено которых присоединяется к основанию несколькими независимыми кинематическими цепями. Данным механизмам свойственны надежность и повышенная точность работы, обусловленные их параллельной структурой [1], также они могут выдерживать большие нагрузки. Подобные системы находят применение в самых различных областях: от астрономии до эмуляторов полетов. Недостатком таких систем является повышенная математическая сложность программного обеспечения [2], связанная с нелинейностью системы, необходимостью в режиме реального времени учитывать множество взаимосвязанных ограничительных параметров.

Триподом (рис. 1) называют параллельное кинематическое устройство, состоящее из платформы, установленной на трех опорах, которые под управлением компьютера, изменяя длину, изменяют положение и наклон платформы.

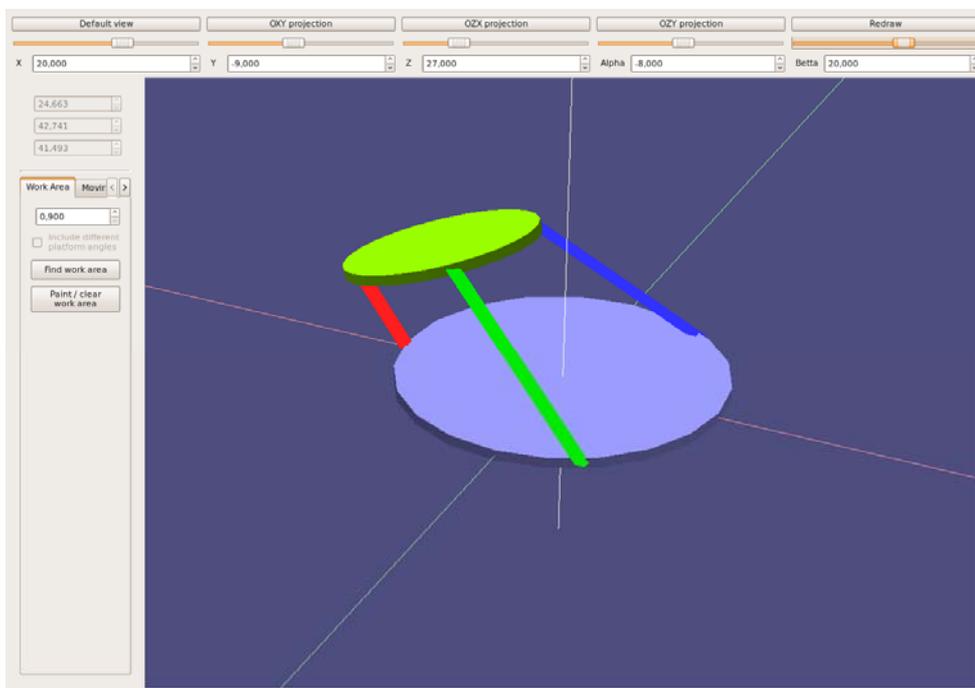


Рис. 1

Целью настоящей работы является создание автоматизированной программно-аппаратной системы для исследования прецизионных триподов. Данная АСНИ (автоматизированная система для научных исследований) обеспечит возможности решения широкого круга задач:

- 1) исследования модели трипода, выявления кинематических и динамических характеристик системы;
- 2) траекторного, терминального управления, слежения;
- 3) планирования движений;
- 4) адаптивного управления системой;
- 5) выявления характеристик реального трипода, калибровки модели и трипода.

Разрабатываемая математическая модель трипода описывает закон позиционирования платформы в обобщенной системе координат. Возможна калибровка системы следующим образом: для разной длины опор трипода в автоматическом режиме снимаются данные о положении платформы, далее эти данные сравниваются с аналитическими значениями и вносятся в математическую модель в виде погрешностей. Погрешности учитываются как при позиционировании платформы реального устройства, так и при имитационном моделировании системы.

Имитационное моделирование позволяет описывать поведение сложных систем в течение продолжительных периодов времени.

При разработке статической модели трипода были выделены следующие ограничения модели, присущие реальной системе:

- радиусы платформы и основания;
- точки крепления опор к платформе и основанию;
- максимальная и минимальная длина опор;
- диаметр опор;
- минимальные углы между опорами и платформой, опорами и основанием.

Проверка ограничений реализована в математической модели при расчете конфигурационного пространства. Также была реализована возможность внесения данных параметров в модель через графический пользовательский интерфейс, что позволяет моделировать и исследовать работу триподов различных конфигураций.

При разработке статической модели была реализована возможность позиционирования платформы трипода в пространстве с заданной точностью с учетом ограничений, накладываемых моделью. Также средствами OpenGL был реализован функционал визуализации состояний трипода (см. рис. 1) с возможностями интерактивного перемещения платформы, просмотра проекций системы на различные координатные оси.

Варьировать состояние системы возможно, изменяя длину опор в зависимости от положения платформы трипода и изменяя координаты платформы в зависимости от длины опор. Первый метод менее сложен алгоритмически вследствие того, что для заданных конфигурации трипода, положения и углов наклона платформы точки крепления опор к платформе в системе координат, связанной с основанием трипода, можно детерминированно вычислить через преобразование координат. Метод позволяет реализовать быстрые алгоритмы управления триподом через расчет необходимых изменений длины опор в зависимости от изменения положения платформы (при известном начальном состоянии системы). Однако данный метод может использоваться только для детерминированных систем.

Второй метод обладает более высокой алгоритмической сложностью (для произвольной конфигурации трипода), но позволяет с заданной точностью определить поведение системы при изменении длины опор. Реализуется метод через моделирование перемещения трипода. Для каждого малого дискретного изменения длины опоры в интервале, зависящем от точности моделирования, определяется наиболее соответствующее необходимой длине опор положение платформы путем перебора возможных состояний системы. Таким образом, возможно оценить различные допустимые положения платформы при одинаковой длине опор, т.е. детерминированность системы.

Перемещение платформы между двумя заданными точками при изменении ее углов и координат по линейному закону эффективнее реализуется с применением первого метода позиционирования: с помощью разбиения необходимого промежутка перемещения на минимально допустимые для заданной точности отрезки и последовательного перемещения платформы с рассчитанным шагом. Таким образом можно получить зависимости изменения длины опор от изменения координат и углов наклона платформы. Данная функциональность была реализована в разработанном программном обеспечении. Пример результатов работы алгоритма представлен на рис. 2.

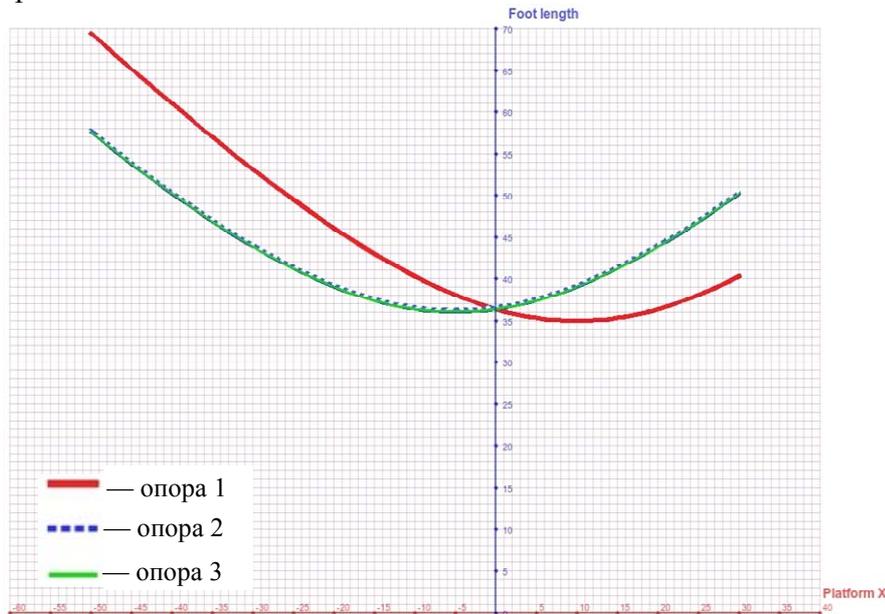


Рис. 2

Определение рабочей области трипода необходимо для:

- поиска „запрещенных зон“ и положений механизмов системы;
- создания более корректного алгоритма планирования сложных траекторий [3];
- моделирования работы, калибровки системы в граничных состояниях;

Определение рабочей области модели возможно с помощью:

- полного перебора возможных состояний системы с заданной точностью;
- волнового алгоритма;
- бинарного поиска;
- комбинированных алгоритмов, интервального анализа граничных областей.

Для решения задачи поиска рабочей области был реализован следующий алгоритм: максимально возможная рабочая область заданной конфигурации системы обходится в цикле по координатам X , Y , Z с целью проверки на возможность позиционирования платформы трипода в заданную точку без учета углов наклона платформы. Если находится граничная точка рабочей области, то от нее с помощью волнового алгоритма начинается поиск допустимых положений платформы по всем координатам и углам наклона. Таким образом учитываются все допустимые состояния платформы трипода при приемлемом времени поиска.

Пример найденных рабочих областей триподов различных конфигураций приведен на рис. 3. При изменении различных параметров моделируемого трипода его рабочая область может существенно измениться вследствие изменения допустимых граничных положений системы, увеличения влияния на рабочую область отдельных характеристик модели. Таким образом, варьируя параметры модели, возможно моделировать триподы с оптимальным для имеющейся задачи характеристиками рабочей области. На рисунке представлены рабочие области триподов с различными значениями параметрами минимальных и максимальных

длин опор и различными допустимыми углами наклона между опорами и платформой, опорами и основанием.

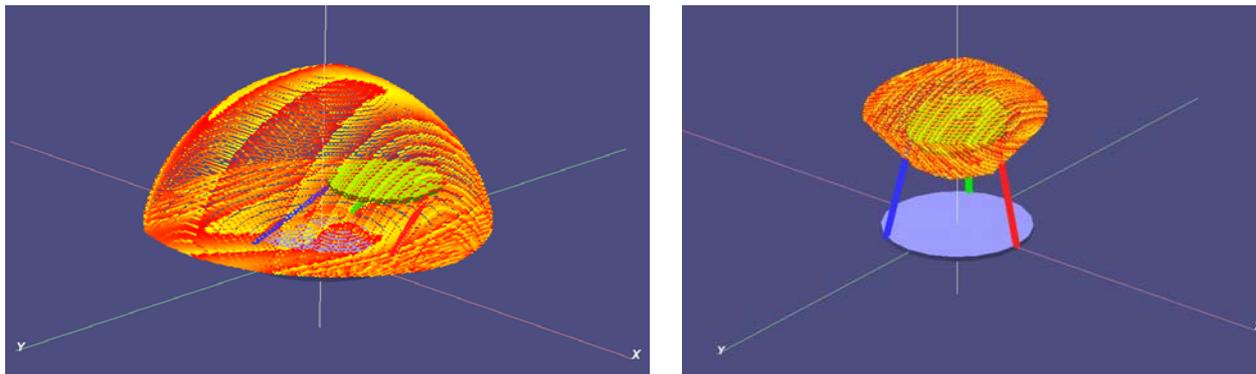


Рис. 3

Исследования осуществлены при проведении НИР в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. The Netherlands: Springer, 2006. 401 p.
2. Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 271 p.
3. Наука и образование [Электронный ресурс]: <<http://technomag.edu.ru/>>.

Сведения об авторах

- Семен Евгеньевич Антонов** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерных образовательных технологий; E-mail: semyon.antonov@gmail.com
- Мария Яковлевна Марусина** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии; E-mail: marusina_m@mail.ru
- Андрей Владимирович Лямин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерных образовательных технологий; E-mail: lyamin@mail.ifmo.ru
- Сергей Степанович Киселев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии; E-mail: kiselev@mail.ifmo.ru
- Юрий Валерьевич Федосов** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: yf01@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
измерительных технологий
и компьютерной томографии

Поступила в редакцию
01.03.11 г.