



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



Л. Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л. Н. ГУМИЛЕВА
GUMILYOV EURASIAN
NATIONAL UNIVERSITY



Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2015»
атты X Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
X Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2015»

PROCEEDINGS
of the X International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2015»

УДК 001:37.0
ББК72+74.04
Ғ 96

Ғ96

«Ғылым және білім – 2015» атты студенттер мен жас ғалымдардың X Халық. ғыл. конф. = X Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2015» = The X International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2015». – Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie-2015/>, 2015. – 7419 стр. қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-9965-31-695-1

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001:37.0
ББК 72+74.04

ISBN 978-9965-31-695-1

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2015

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СФЕРИЧЕСКОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Ниеткалиев Айбек, Абильхасымов Асель

aibek_n2005@mail.ru, multik_balapan@mail.ru

Магистрант группы Ммех-12р, студент группы мех-41

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – А. Г. Ибраев

Введение

В данной работе предложен метод нахождения единственно верных (уникальных) решений прямой и обратной позиционных задач кинематики сферического параллельного манипулятора (СПМ) с поворотными шарнирами. Рассмотрен кинематический анализ общего СПМ с поворотными шарнирами и предлагаемая методика сформулирована в форме простых и детально описанных алгоритмов. Графический способ проверки, использующий модели системы автоматизированного проектирования (САПР), представлен вместе с числовыми и экспериментальными примерами, которые подтверждают правильность предлагаемой методики.

Параллельные манипуляторы в настоящее время широко применяются для авиационных и автомобильных симуляторов, медицинской и промышленной робототехники, мехатронных устройств и т.д. По сравнению с последовательными манипуляторами, они обладают некоторыми преимуществами: высокая жесткость, скорость и точность позиционирования, хорошие динамические характеристики и высокая удельная грузоподъемность. Среди систем параллельных роботов-манипуляторов с 3-мя степенями свободы (СС) выделяются сферические параллельные манипуляторы (СПМ), которые обеспечивают вращение верхней поворотной платформы по траектории полусферы с большей зоной и динамикой вращения (ориентирования) платформы. СПМ характеризуются тем, что мобильная платформа крепится к основанию при помощи нескольких кинематических звеньев, тем самым приводы манипулятора могут быть расположены на или близко к основанию. Это приводит к высокой жесткости и нагружаемой способности системы, а также к очень хорошим динамическим свойствам, поскольку инерция движущихся частей значительно сокращена.

Для анализа различных конфигураций СПМ было предложено много методов. Прямая и обратная позиционные задачи кинематики общего СПМ с поворотными шарнирами и замкнутыми кинематическими цепями имеют несколько решений. Тем не менее, для разработки систем управления манипуляторами в режиме реального времени требуются единственно верные решения прямой и обратной позиционных задач кинематики. В работе [1] описывается система «Agile Eye» (быстрый глаз), разработанная для высокоскоростного слежения за объектом, используя камеру с очень низким коэффициентом ошибок в ориентации и скорости. Более упрощенная конфигурация сферического параллельного манипулятора – система «Agile Wrist» (быстрая кисть) была предложена в [2]. Анализ особых конфигураций СПМ, на примере Agile Wrist/Eye, существенно снижает сложность кинематических задач.

В данной работе трехмерная механическая модель сферического параллельного манипулятора смоделирована в системе САПР SolidWorks [8]. Для проектирования 3D модели был проведен анализ научных работ по СПМ [1]-[7] и определены геометрические параметры прототипа СПМ. В качестве приводного механизма СПМ используются сервоприводы Dynamixel MX-106 компании Robotis (Южная Корея) [9] с номинальным моментом более чем 10 Нм - электромоторы постоянного тока, оборудованные шестернями передач, регулятором, управляющим контроллером, интерфейсом связи и датчиком измерения скорости и угла поворота вала двигателя. Эти приводы используются учеными в ведущих университетах США, Японии и Кореи. В SolidWorks были загружены САПР модели

сервомоторов для моделирования полной системы СПМ. На Рис. 1 представлена 3D модель СПМ в разных положениях верхней ориентационной платформы.



Рис 1. 3D модель СПМ в программе Solidworks (фотореалистичный рендер)

При изготовлении прототипа механической модели сферического манипулятора использовалась технология быстрого прототипирования с использованием принтеров объемной (3D) печати. Собранный прототип СПМ показан на Рис. 2.

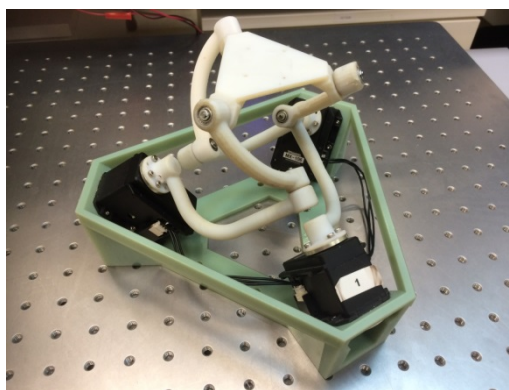


Рис. 2. Экспериментальный прототип СПМ в конфигурации «Agile Wrist».

Для тестирования изготовленного прототипа СПМ, сервомоторы Dynamixel MX-106 были присоединены к источнику питания постоянного тока для энергопитания робота и к компьютеру для разработки алгоритмов управления манипулятором.

Кинематика

Для полноты разработок и результатов, представленных в этой работе, ниже приводится краткое обобщение кинематики СПМ.

А. Система координат

Модель общего симметричного СПМ с поворотными суставами показана на Рис. 3. СПМ состоит из двух платформ пирамидальной формы (основание и мобильная платформа), соединенных тремя равномерно распределенными стойками, пронумерованных от $i=1,2,3$, каждая из которых состоит из двух изогнутых соединений. Оси всех суставов (шарниров), обозначенные единичными векторами $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, и $\mathbf{w}$, пересекаются в одной общей точке (центре), которая называется центром вращения. Углы, образуемые нижними и верхними соединениями, обозначены α_1 и α_2 , соответственно. Углы β и γ определяют геометрию двух правильных пирамид основания и верхней мобильной платформы. Движение верхней мобильной платформы ограничивается поверхностью сферы с центром в центре вращения. Правая система координат с началом координат, расположенным в центре вращения СПМ, показана на Рис.3. Ось z перпендикулярна основанию и направлена вверх, в то время как ось u расположена в плоскости, образуемой осями z и $\mathbf{u}_1$. Углы поворота вращательных приводов

на нижних поворотных шарнирах манипулятора θ_i , $i=1,2,3$, измеряются от плоскости, образуемой осями z и u_i , до плоскости нижнего изогнутого соединения.

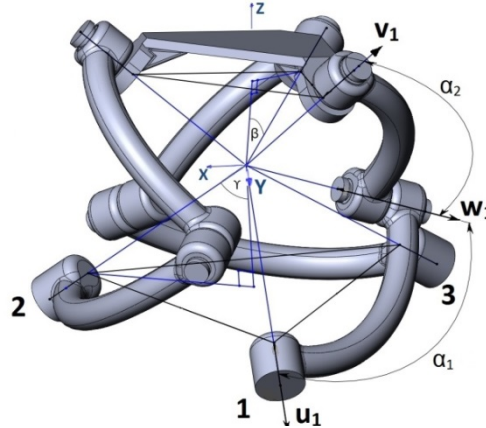


Рис. 3. Кинематическая модель сферического параллельного манипулятора.

Единичные вектора u_i , $i=1,2,3$, вдоль осей нижних поворотных шарниров основания, определяются следующим образом:

$$u_i = [\sin \eta_i \sin \gamma, \cos \eta_i \sin \gamma, -\cos \gamma]^T, \quad (1)$$

где η_i , $i=1,2,3$, это углы между проекциями осей приводных шарниров на плоскость основания нижней фиксированной пирамиды. В силу симметрии:

$$\eta_i = 2(i-1)\pi/3. \quad (2)$$

Единичные вектора w_i , $i=1,2,3$, соответствуют осям промежуточных поворотных шарниров СПМ и выражены через углы поворота нижних шарниров θ_i следующим образом:

$$w_i = \begin{bmatrix} \sin \eta_i * \sin \gamma * \cos \alpha_i - (\cos \eta_i * \sin \theta_i - \sin \eta_i * \cos \gamma * \cos \theta_i) * \sin \alpha_i \\ \cos \eta_i * \sin \gamma * \cos \alpha_i + (\sin \eta_i * \sin \theta_i + \cos \eta_i * \cos \gamma * \cos \theta_i) * \sin \alpha_i \\ - \cos \gamma * \cos \alpha_i + \sin \gamma * \cos \theta_i * \sin \alpha_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

Единичные вектора v_i , $i=1,2,3$, вдоль осей верхних поворотных шарниров определяют ориентацию верхней мобильной платформы СПМ.

В. Прямая позиционная задача кинематики

При рассмотрении прямой позиционной задачи кинематики предполагается, что u_i и w_i известны. Задача состоит в том, чтобы найти неизвестные вектора v_i . Для замкнутой кинематической цепи СПМ справедливы следующие уравнения ограничений:

$$w_i \cdot v_i = \cos \alpha_2, \quad i = 1,2,3. \quad (4)$$

Геометрия правильной пирамиды верхней мобильной платформы СПМ подразумевает следующее:

$$v_i \cdot v_j = \cos \alpha_3, \quad i,j = 1,2,3, \quad i \neq j \quad (5)$$

где α_3 это угол между осями i и j верхних поворотных шарниров. Этот угол образован боковыми гранями верхней пирамиды и имеет следующее значение:

$$\alpha_3 = 2\sin^{-1}(\sin \beta \cos \frac{\pi}{6}) \quad (6)$$

Более того, единичные вектора v_i сводятся к:

$$\|v_i\| = 1. \quad (7)$$

Существует несколько различных подходов для получения решения прямой позиционной задачи кинематики СПМ. В работе [] показано, что прямая позиционная задача кинематики СПМ с 3-мя СС с поворотными шарнирами ведет к многочлену с восемью решениями. В этом исследовании, сочетание уравнений (4), (5) и (7) используется, чтобы образовать систему из трех линейных и шести квадратных уравнений с векторами v_i . Численный метод, который позволяет получить единственное (уникальное) решение прямой позиционной задачи кинематики СПМ, был использован для решения этой системы нелинейных уравнений с 9 неизвестными (компоненты трех v_i векторов), как показано в последующих разделах этой работы.

С. Обратная позиционная задача кинематики

Если ориентация мобильной платформы СПМ задана, т.е. известны единичные вектора $\mathbf{v}_i$, то решения обратной позиционной задачи определяются тремя отдельными уравнениями для углов поворота вращательных приводов на нижних поворотных шарнирах θ_i :

$$A_i T_i^2 + 2B_i T_i + C_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (9)$$

$$T_i = \tan\left(\frac{\theta_i}{2}\right); \quad (10)$$

$$A_i = (-\sin\eta_i \sin\gamma \cos\alpha_i + \sin\eta_i \cos\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1x} + (\cos\eta_i \sin\gamma \cos\alpha_i - \cos\eta_i \cos\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1y} + (\cos\gamma \cos\alpha_i - \sin\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1z} - \cos\alpha_2;$$

$$B_i = \cos\eta_i \sin\alpha_i \cdot v_{1x} + \sin\eta_i \sin\alpha_i \cdot v_{1y};$$

(11)

$$C_i = (-\sin\eta_i \sin\gamma \cos\alpha_i - \sin\eta_i \cos\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1x} + (\sin\eta_i \sin\gamma \cos\alpha_i + \sin\eta_i \cos\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1y} + (-\sin\gamma \cos\alpha_i + \sin\gamma \sin\alpha_i) \cdot v_{1z} - \cos\alpha_2;$$

где v_{1x} , v_{1y} и v_{1z} компоненты вектора $\mathbf{v}_i$. Уравнение (9) дает два решения углов θ_i для заданной ориентации верхней мобильной платформы СПМ. Следовательно, в общем, обратная позиционная задача имеет восемь решений.

Алгоритмы решения задач кинематики

В этой секции представлен метод нахождения единственно верных решений прямой и обратной позиционных задач кинематики, используя кинематическую модель общего СПМ с поворотными шарнирами, описанной в предыдущей секции. Этот метод сформулирован для определенной начальной конфигурации СПМ, когда все нижние соединения повернуты в одном направлении и прикреплены к основанию как показано на Рис.2 и Рис.3. Методика представлена далее в форме алгоритмов для получения уникальных решений кинематики общего СПМ.

А. Алгоритм для получения единственно верного решения прямой позиционной задачи кинематики СПМ.

1) *Используя углы поворота вращательных приводов на нижних поворотных шарнирах θ_i :*

- Найти единичные вектора $\mathbf{u}_i$, используя уравнение (1) (при необходимости)
- Найти единичные вектора $\mathbf{w}_i$, используя уравнение (3)

2) *Составить систему уравнений, используя уравнения (4), (5) и (7):* Уравнение (4) приводит к трем линейным уравнениям, в то время как уравнения (5) и (7) дают по три квадратных уравнений, соответственно. Таким образом, получается система уравнений с девятью неизвестными компонентами векторов $\mathbf{v}_i$.

3) *Найти вектора $\mathbf{v}_i$, решив систему уравнений численным методом:* Для многих численных методов требуются изначально введенные значения, чтобы решить систему уравнений. В данном случае, эти значения являются исходными предположениями компонентов x , y и z единичных векторов $\mathbf{v}_i$, $i=1,2,3$. Тем самым, знаки этих компонентов зависят от принятой координатной системы.

Для нахождения уникальных значений векторов $\mathbf{v}_i$ используются начальные предполагаемые значения (исходный вектор) с определенной последовательностью знаков. Так как итерационные численные методы сходятся к нормальному распределению даже если начальные значения далеки от решения, абсолютные значения (модули) в исходном векторе могут быть выбраны произвольно. С другой стороны, важны знаки в исходном векторе значений. Все восемь возможных решений прямой позиционной задачи кинематики СПМ, т.е. вектора $\mathbf{v}_i$, могут быть найдены путем изменения знаков в начальных предполагаемых значениях. Правильная последовательность знаков, соответствующая единственно верному решению, может быть выбрана учитывая ориентацию единичных векторов $\mathbf{v}_i$ в отсчетной (исходной) конфигурации относительно заданной координатной системы. Эта может быть получено путем проектирования единичных векторов $\mathbf{v}_i$ в исходном положении платформы на оси x , y и z выбранной координатной системы. Это может быть также проверено единичными векторами $\mathbf{v}_i$, полученных с модели СПМ на САПР, используя метод, представленный далее.

В. Алгоритм для получения единственно верного решения обратной позиционной задачи кинематики СПМ

Целью решения обратной задачи кинематики является нахождение положений всех приводов (θ_i) при заданном положении подвижной платформы ($\mathbf{v}_i$).

- 1) Вычислить коэффициенты A_i , B_i и C_i , используя уравнения (11)
- 2) Найти T_i , решив уравнения (9)
- 3) Найти θ_i из уравнения (10) используя положительные корни уравнения (9), т.е. положительные значения T_i .

Использование положительных корней квадратных уравнений рассматриваются в связи с изначальным положением манипулятора, когда все три нижние стойки повернуты в одну сторону (положительную). Этот алгоритм может также быть использован для проверки полученного решения прямой позиционной задачи.

С. Определение ориентации СПМ графическим методом, используя модель САПР

Предлагаемый подход проверен графическим методом определения ориентации СПМ, используя модели САПР. Этот метод может быть использован различными САПР программами. В этой работе была использована программа САПР SolidWorks. Данный алгоритм не включен в этой публикации в связи с ограниченным объемом материалов, разрешаемым оргкомитетом конференции.

По той же причине здесь не представлены следующие разделы проделанной научной работы: численные примеры и обсуждения, анализ сингулярных положений СПМ, расчет механических столкновений и рабочей зоны СПМ, управление и др.

Список использованных источников

1. Gosselin C.M., Hamel J.F. On the Development of the Agile Eye, IEEE Robotics & Automation Magazine, December 1996.
2. Bai Sh., Hansen M. R., Angeles J. A robust forward-displacement analysis of spherical parallel robots. Mechanism and Machine Theory 44 (2009) 2204–2216.
3. Gosselin C., Lavoie E. "On the kinematic design of spherical three-degree-of-freedom parallel manipulators," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 12, pp. 394–402, 1993.
4. Jian Y., Angeles J. "Kinematics simulation and control design of the Agile Wrist in a dual-arm robotic mechanical systems," in *34th Annual International Conference of the IEEE EMBS*.
5. Gosselin C., Sefrioui J., Richard M. "On the direct kinematics of spherical three-degree-of-freedom parallel manipulators of general architecture," *ASME Journal of Mechanical Design*, vol. 116, pp. 594–598, 1994.
6. Kong X., Gosselin C. M. "A formula that produces a unique solution to the forward displacement analysis of a quadratic spherical parallel manipulator: The Agile Eye," *Journal of Mechanisms and Robotics*, vol. 2, pp. 044 501–1–044 501–4, 2010.
7. Gosselin C., Wang J. "Singularity loci of a special class of spherical three-degree-of-freedom parallel mechanisms with revolute actuators," *Int. J. of Robotics Research*, vol.~21, no.~7, pp. 649–659, 2002.
8. Веб-сайт SolidWorks // www.solidworks.com
9. Веб-сайт Robotics // www.robotis.com/

ӘОЖ 532(02)

ЖЕР АСТЫ ЫСТЫҚ СУ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНУ КЕЗІНДЕГІ СУ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ТӨМЕНДЕУІН ЗЕРТТЕУ

Сапарбаева Назерке, Наукенова Алтынай
nazqueen@mail.ru

әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, механика-математика факультеті, механика кафедрасының
4-курс студенті, Алматы, Қазақстан