DOI: 10.17117/na.2015.09.895

Поступила (Received): 25.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.895.pdf>

Шамутдинов А.Х. Кинематика элементов оригинальной части пространственного манипулятора

Shamutdinov A.H.
Kinematics elements the original part of the spatial manipulator

Рассмотрены конечные повороты наклонной платформы и опорно-поворотного устройства оригинальной части пространственного манипулятора при произвольном перемещении стержней (двигателей поступательного перемещения) и при их равных перемещениях, и сделан вывод об их коммутативности в движении. Определены углы его поворотов, зависящие от геометрических размеров оригинальной части и величин перемещения стержней и условие поступательного вертикального перемещения рабочего стола манипулятора

Ключевые слова: оригинальная часть пространственного манипулятора, поворотный стол, опорно-поворотное устройство, рабочий стол, двигатель поступательного перемещения, коммутативность в движении

Шамутдинов Айдар Харисович

Кандидат технических наук, профессор РАЕ
Омский автобронетанковый инженерный институт
г. Омск, 14 Военный городок

Considered the final turns of the inclined platform and slewing devices of the original spatial manipulator for arbitrary displacement rods (engine translational motion) and of the equal movements, and concluded that their commutativity in motion. The angles of his turns, depending on the geometry of the original part and the amounts of displacement rods and the condition of forward movement of the vertical desktop manipulator

Key words: original part of the spatial manipulator, swivel table, support-turning device, working table, the engine of progressive displacement, angle of rotations, commutation in the motion

Shamutdinov Aydar Harisovich

Candidate of Engineering Sciences, Professor of RAE
Omsk tank-automotive engineering institute
Omsk, 14 Military town

Рассмотрим только оригинальную часть пространственного манипулятора [1]. Кинематику опорно-поворотного устройства 5 пространственного манипулятора будем рассматривать при произвольном перемещении стержней 1 и 2 (рис. 1, 2). Для упрощения схемы, на рис. 1-2, не показаны опоры и выходное звено (рабочий стол). Черным цветом показано начальное положение механизма, синим цветом – при изменении длины одного стержня и красным цветом – при изменении длины второго стержня (конечное положение).

Позиции на рис. 1 – 2: 1 – Поворотный стол; 2 – Правый стержень (двигатель поступательного перемещения); 3 – Левый стержень (двигатель поступательного перемещения); 4 – Наклонная платформа; 5 – Опорно-поворотное устройство.

Рис. 1. Схема перемещения фрагмента манипулятора при движении стержня 2, а потом стержня 1

Исходные данные:

$O_1O_3=O_1O'_3=l_1$ – первоначальная длина левого стержня,

$O_2O_4=l_2$ – первоначальная длина правого стержня,

$O_1O''_3=l_1+\Delta l_1$ – длина левого стержня после перемещения на величину Δl_1 ,

$O_2O'_4=l_2+\Delta l_2$ – длина правого стержня после перемещения на величину Δl_2 ,

$O_1O_2=a$, $O_1O_4=O_1O'_4=b$, $O_3O_4=O'_3O'_4=O''_3O''_4=c$.

В общем случае: $\alpha = \pi - \arcsin \frac{h}{l_1}$, $\beta = \arcsin \frac{h}{l_2}$, $\gamma = \arcsin \frac{h}{b}$.

Считаем, что первоначальное положение управляемой платформы определяется горизонтальным положением опорно-поворотного устройства 5 (рис. 1 – 2).

1а) Перемещение правого стержня 2, на величину Δl_2

Левый стержень, при этом, не меняет своей длины и поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_1=l_1$, а наклонная платформа 4 поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_2=b$ на угол φ_1 .

$O_2O'_4{}^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos(\varphi_1 + \gamma)$, $O_2O'_4=l_2+\Delta l_2$, откуда

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma \quad (1)$$

1б) Перемещение левого стержня 3, на величину Δl_1

Правый стержень, при этом, не меняет своей длины, остается на месте, а по дуге окружности, радиусом $R_3=c$, поворачивается опорно-поворотное устройство 5 на угол φ_2 .

$$O_1O_3'^2 = b^2 + c^2 - 2b \cdot c \cdot \cos(\varphi_2 + \gamma), O_1O_3'' = l_1 + \Delta l_1, \text{ откуда}$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma \quad (2)$$

Теперь поменяем последовательность движений стержней 2 и 3:

2а) Перемещение левого стержня 3, на величину Δl_1

Правый стержень, при этом, не меняет своей длины, остается на месте, а по дуге окружности, радиусом $R_3=c$, поворачивается опорно-поворотное устройство 5 на угол φ_2 .

$$O_1O_3'^2 = b^2 + c^2 - 2b \cdot c \cdot \cos(\varphi_2 + \gamma), O_1O_3'' = l_1 + \Delta l_1, \text{ откуда}$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma \quad (3)$$

2б) Перемещение правого стержня 2, на величину Δl_2

Левый стержень, при этом, не меняет своей длины и поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_1=l_1+\Delta l_1$, а наклонная платформа 4 поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_2=b$ на угол φ_1 .

$$O_2O_4'^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos(\varphi_1 + \alpha), O_2O_4' = l_2 + \Delta l_2, \text{ откуда}$$

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma \quad (4)$$

Сравнивая рис. 1 и рис. 2 видно, что при изменении последовательности поворотов стержней 2 и 3 итоговое положение опорно-поворотного устройства 5 не изменилось.

Итак, задавая перемещения стержней Δl_1 и Δl_2 или углы поворотов φ_1 и φ_2 (как обобщенные координаты), определяем углы поворотов данных стержней. Так как эти стержни связаны с опорно-поворотным устройством 5, на котором расположен рабочий стол, то зная углы поворотов стержней можно определить положение рабочего стола.

Из рис. 1 – 2 видно, что при $\varphi_2 = \varphi_1$ (и $\varphi_1 = \varphi_2$) рис. 1 преобразуется в рис. 3, а рис. 2 в рис. 4. Таким образом, опорно-поворотное устройство 5 опять заняло горизонтальное положение, т.е. произошло поступательное перемещение опорно-поворотного устройства 5. Так как $\varphi_2 = \varphi_1$, то из выражений (1) – (4) имеем:

$$\arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma, \text{ откуда}$$

$$\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b} = \frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}$$

$$\text{или } \frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2} = \frac{a}{c} \quad (5)$$

Рис. 2 Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении стержня 1, а потом стержня 2

Рассмотрим частный случай перемещения опорного стола 5 когда $\varphi_2 = \varphi_1$ и $\varphi_1 = \varphi_2$ (рис. 3 – 4).

Рис. 3. Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении стержня 2, а потом стержня 1 при $\varphi_2 = \varphi_1$

Таким образом, соблюдая соотношение (5) можно добиться поступательного вертикального перемещения опорно-поворотного устройства 5 пространственного манипулятора в общем виде.

В макете пространственного манипулятора конструктивные параметры подобраны так, что $a = c$. Тогда из выражения (5) найдем:

$$l_1 + \Delta l_1 = l_2 + \Delta l_2 \quad (6)$$

Соблюдая условие (6) для манипулятора вида (рис. 5) также можно добиться поступательного перемещения рабочего стола манипулятора. Для нашего макета $l_1 = l_2$. Тогда $\Delta l_1 = \Delta l_2$, т.е. для поступательного перемещения опорно-поворотного устройства данного макета манипулятора необходимо движение стержней 2 и 3 вдоль своей оси на одинаковые величины.

Рис. 4. Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении стержня 2, а потом стержня 1 при $\varphi_1 = \varphi_2$

Из [4] известно, что поступательное движение твердого тела получается в 4-х случаях:

- 1) Поступательных движений твердого тела;
- 2) Двух вращательных движений твердого тела с равными антипараллельными угловыми скоростями;
- 3) Винтового движения твердого тела и пары вращений;
- 4) Двух винтовых движений твердого тела с параллельными осями и равными антипараллельными угловыми скоростями.

В нашем случае – это второй вариант. Отсюда видно, что:

$$\vec{\omega}_1 = -\vec{\omega}_2, \text{ т.е. } \dot{\varphi}_1 = -\dot{\varphi}_2$$

Вывод:

1) Доказано, что конечные повороты наклонной платформы и опорно-поворотного устройства идентичны, т.е. эти повороты – коммутативны. Таким образом, схемное решение шестикоординатного манипулятора обеспечивает независимость исполнительных движений, в том числе независимость последовательности исполнительных парциальных движений.

2) Соблюдая соотношение (5) можно добиться поступательного вертикального перемещения опорно-поворотного устройства 5 пространственного манипулятора в общем виде.

Список используемых источников:

1. Балакин П.Д., Шамутдинов А.Х. Патент ПМ № 120599 РФ. МПК В25J1/00. Пространственный механизм. № 2011153160/02. Заявлено 26.02.2011. Опубл. 27.09.2012. Бюлл. № 27.
2. Балакин П.Д., Шамутдинов А.Х. Схемное решение механизма пространственного манипулятора // Омский научный вестник. 2012. №2(110). С. 65-69.
3. Балакин П.Д., Шамутдинов А.Х. Рациональные кинематические пары для оригинальной части пространственного манипулятора // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Ч. 2 №5(36). С. 14-16.
4. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1967. С. 372.

© 2015, Шамутдинов А.Х.
Кинематика элементов оригинальной части
пространственного манипулятора

© 2015, Shamutdinov A.H.
Kinematics elements the original part of the spatial
manipulator