

тенденции изменения, определить влияние факторов на его изменения, и выработать рекомендации по снижению себестоимости услуг.

### Список использованных источников

1. Мишин Ю.А. «Управленческий учет: Управление затратами и результатами производственной деятельности: Монография. - М.: дело и сервис ,2002.
  2. Карпова Т.П. Основы управленческого учета: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 392 с.
- Николаева С.А. Принципы формирования и калькулирования себестоимости. – М.: Аналитика-Пресс, 2013. – 241 с.

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРА ANYCUBIC KOSSEL

Азимова Динара Нарзуллаевна

*azimovadinaran@gmail.com*

Докторант 2 курса

специальности «Математическое и компьютерное моделирование»,

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Б.Г.Муканова

Последние десятилетия параллельные роботизированные манипуляторы были изучены многими учеными. В настоящее время разработка механизмов параллельной структуры является одним из приоритетных направлений развития современной робототехники. Они широко используются в различных областях промышленности в качестве исполнительных органов разнообразных технологических машин. Так в чем же различия и преимущества механизмов параллельной структуры от последовательной? Манипулятор параллельной кинематической структуры или по-другому параллельный манипулятор представляет собой механизм с замкнутыми кинематическими цепями, в котором выходное звено соединено с основанием набором независимых кинематических цепей. В действительности интерес к данным манипуляторам растет, так как основными его достоинствами являются точность и жесткость, высокие рабочие нагрузки и маленькие размеры.

Исследование механизмов до сих пор продолжается, однако основными задачами робототехники являются: определение рабочей области робота; решение прямой задачи; решение обратной задачи; сингулярность; управление роботом.

В данной статье рассмотрена задача по определению рабочей области манипулятора параллельной структуры на примере 3d принтер Anycubic kossel. Для определения рабочей области был применен метод неравномерных покрытий [6], в котором алгоритм описывает построение покрытия допустимого множества  $\Omega$  в конечномерном пространстве заданного при помощи равенств, однако, в задачах робототехники ограничения на рабочую область инструмента задаются в виде неравенств

$$\begin{aligned} \psi(x) &= (\psi_1(x), \psi_2(x), \dots, \psi_m(x)), \\ x &= (x_1, x_2, \dots, x_n), \\ \psi_i(x) &\leq 0, i = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (1)$$

Множество  $\Omega$  содержится в многомерном параллелепипеде  $L_0$ . Границы параллелепипеда образованы прямым произведением отрезков  $[a_i, b_i]$ :

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_n), b = (b_1, b_2, \dots, b_n), L_0 = \prod_{i=1}^n [a_i, b_i]. \quad (2)$$

Одним из важных условий успешной реализации алгоритма является то, что функции  $\phi_i(x)$  в ограничениях (2) должны быть таковы, чтобы их минимумы и максимумы легко вычислялись на множествах, образованных прямым произведением сегментов  $[a_i, b_i]$ . Поэтому в рассмотренном примере были использованы функции двух переменных  $\phi_i(x)$ , являющиеся полиномами второго порядка, а именно такие, линии уровней которых образованы эллипсами. Это позволяет вычислить экстремумы функций аналитически. Очевидно, минимумы и максимумы достигаются либо в некоторых внутренних точках, либо на границах прямоугольников.



Рисунок 1 Робот параллельной структуры (3d принтер Anycubic kossel)

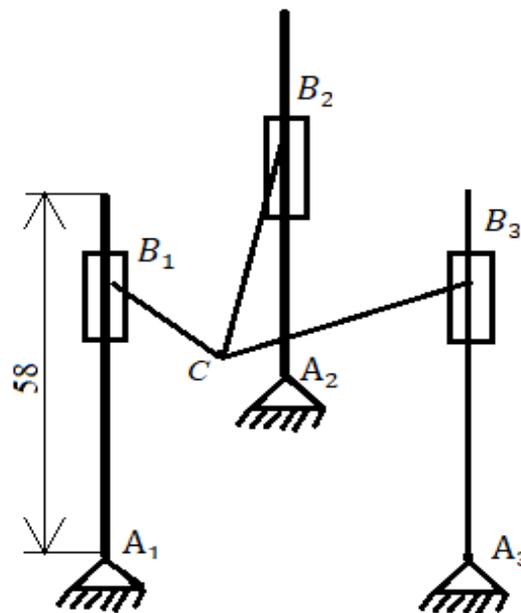


Рисунок 2 Кинематическая схема

Данный вид робота имеет 3 штанги  $A_i B_i$ , которые совершают поступательные движения и  $B_i C$ , совершающие плоскопараллельное движение. Для него координатами актуаторов являются положения точек  $B_i$ , т.е. длины штанг  $A_i B_i$ . Допустим, что длины штанг  $B_i C$   $i=1,2,3$  не могут быть произвольны и ограничены сверху и снизу некоторыми величинами  $l_{min}$ ,  $l_{max}$ , одними и теми же для всех трех стержней, зависящими от положения актуаторов. Положение рабочего

органа  $C$  в операционном пространстве задается координатами центра масс  $(x, y)$  и углом поворота платформы  $\varphi$  в плоскости  $Oxy$ . Обозначим через  $D$  длину штанги  $B_iC$ , которая является постоянной величиной для данного робота,  $h_i$  высоту подъема точки  $B_i$  от уровня  $C$  и через  $\varphi_i$  углы  $A_iB_iC$  между штангой  $B_iC$  и вертикальной стойкой  $A_iB_i$ .

Запишем ограничения на координаты центра платформы, связанные с длинами штанг в плоскости  $Oxy$ :

$$l_{min} \leq |B_iC \sin \varphi_i| \leq l_{max}, \quad i = \overline{1,3},$$

или, в развернутом виде как

$$(x - x_{B_i})^2 + (y - y_{B_i})^2 - l_{imax}^2 \leq 0, \quad (3)$$

$$l_{imin}^2 - (x - x_{B_i})^2 - (y - y_{B_i})^2 \leq 0, \\ i = \overline{1,3}.$$

здесь

$$l_i = D \sin \varphi_i,$$

$$\varphi_i = \arccos \frac{h_i}{D},$$

$$l_i = D \sin \left( \arccos \frac{h_i}{D} \right) = \sqrt{D^2 - h_i^2}, \quad (4)$$

$$\left| \frac{h_i}{D} \right| < 1, \quad 0 < h_i < D.$$

Как видим, ограничения для данного робота имеют тот же вид, что и для плоского робота типа 3RPR. Это означает, что кинематическая схема робота приводится к той же схеме, что и для робота 3RPR. Для данного робота вычисления значительно сокращаются, в следствии того, что рабочий орган представляет печатающую головку и имеет малые размеры по сравнению с другими геометрическими параметрами модели. Это означает, что рабочий орган можно моделировать как материальную точку, а не как платформу с конечными размерами.

Для численного моделирования определения рабочей области были взяты натуральные данные данного принтера:  $D = B_iC = 22$  см,  $A_iB_j \leq 58$  см,  $A_1A_2 = 28$  см.

В приведенных ниже численных примерах были заданы фиксированное значение максимальной и минимальной высоты  $h_{max} = 21$  см,  $h_{min} = 7$  см и вычислены возможные покрытия границ и внутренности рабочей области и объем рабочей области.

$$h_{max} = 21 \text{ см},$$

$$h_{min} = 7 \text{ см}$$

Таблица 1 - Объем рабочей области для фиксированных высот актуаторов.

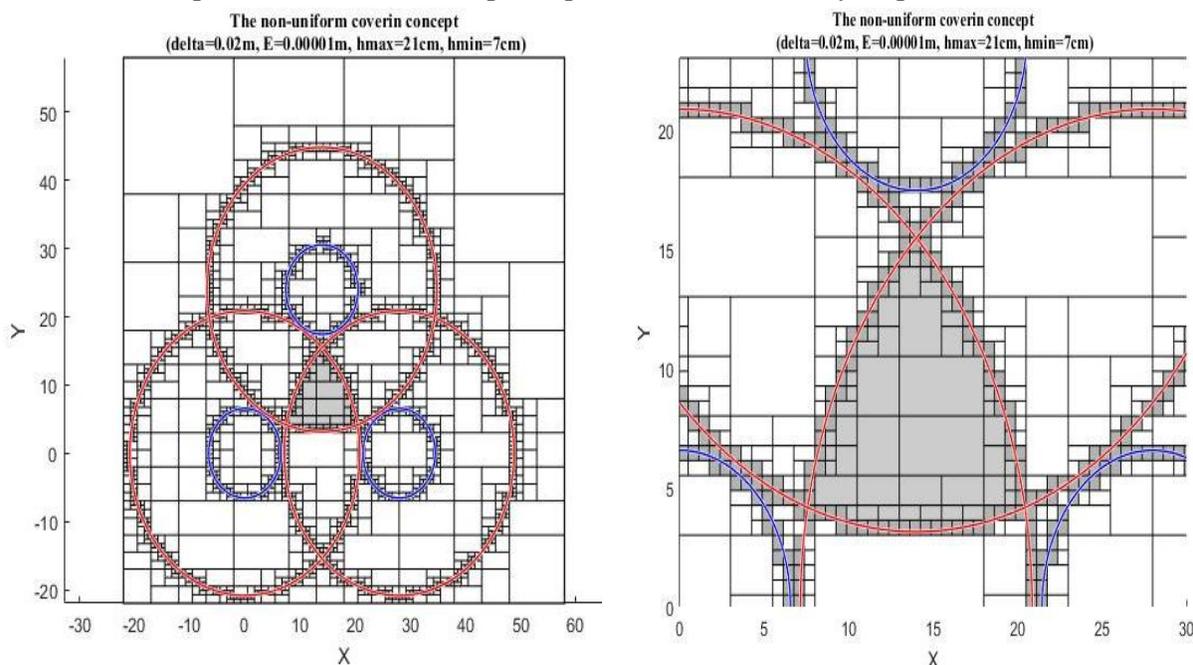


Рисунок 3. Покрытие рабочей области и ее границ, построенное методом неравномерных покрытий при максимальных и минимальных значениях высот  $h_{max} = 21$  см,  $h_{min} = 7$  см.

Для проверки метода в эффективности были проведены расчеты для различной точности. Был посчитано количество прямоугольников для покрытия, которые были получены во время расчетов.

$\delta / \varepsilon$ (м)	0.02 / 0.0001	0.015/0.0001	0.01/0.0001	0.005/0.0001
Число прямоугольников в покрытии рабочей области	48	72	112	245
Число прямоугольников в покрытии границы	988	1476	2006	3565
Число прямоугольников в обработке	2483	3447	4883	9672

Таблица 2 – Количество обрабатываемых в алгоритме прямоугольников для разной точности вычислений и допуске  $\varepsilon$

Расчеты выполнены на персональном компьютере на языке C++, визуализация результатов проведена в пакете Matlab.

Численные расчеты показали, что метод неравномерных покрытий может быть применен для разных моделей роботов параллельной структуры, в частности для плоского робота с тремя степенями свободы 3RPR .

#### **Список использованных источников**

1. Merlet J. P. Parallel robots.// Springer Science & Business Media, 2006., Т. 128. – 245 p.
2. Азимова Д.Н. О методе неравномерных покрытий для решения систем нелинейных неравенств и приложения в робототехнике. // Сборник материалов 15 международной научной конференции студентов и молодых ученых «Gylym jáne bilim - 2019» Нур-Султан, 2019, стр 1366-1370.
3. Муканова Б.Г., Посыпкин М.А., Ахметжанов М.А., Азимова Д.Н. Численная реализация алгоритма неравномерных покрытий. //Вестник КазНУТУ, Алматы, 2019, стр 567-571.
4. Maksat Kalimoldayev, Maxat Akhmetzhanov, Balgaysha Mukanova, Dinara Azimova. Implementation of covering algorithm for the robot with parallel structure. // NEWS of the academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Almaty, 2019, p.197-202.
5. Посыпкин М.А., Ахметжанов М.А., Намазбаев Б.Д. Методы аппроксимации решения систем уравнений и неравенств.//Труды науч. конф. ИИВТ МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». Алматы, 2018.- С.228-235.
6. Евтушенко Юрий Гаврилович, Посыпкин Михаил Анатольевич. Метод неравномерных покрытий для решения задач многокритериальной оптимизации с гарантированной точностью // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2013. — Vol. 53, no. 2. — P. 209–224.

УДК 519.21

### **РАСЧЕТ ДОХОДНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМО ВИДА М/М/S**

**Алимбаева Махзура Маратовна**

[magzura@mail.ru](mailto:magzura@mail.ru)

Магистрант 2 курса Механико-математического факультета

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

Научный руководитель: к.т.н., доцент Сергибаев Р.А.

Посредством методов теории массового обслуживания могут быть решены многие экономические задачи. Так, в организации торговли данные методы позволяют определить оптимальное количество торговых точек, частоту завоза, минимально необходимую численность продавцов и другие параметры. Другим характерным примером систем массового обслуживания могут служить склады или базы снабженческо-сбытовых организаций. Задача теории массового обслуживания в данном случае сводится к тому, чтобы установить оптимальное соотношение между числом поступающих на базу требований на обслуживание пи числом обслуживающих устройств, при котором расходы будут минимальными. Часто системы массового обслуживания (далее СМО) применяются в планировании банковской деятельности; при решении ряда задач организации и нормирования труда; при расчете площади складских помещений и т.п. Таким образом, владение и применение методов теории массового обслуживания при решении различных социально-экономических проблем является