

УДК 519.217

О МЕТОДЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ И ПРИЛОЖЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Азимова Динара Нарзуллаевна

Azimovaadn@gmail.com

Докторант кафедры «Математическое и компьютерное моделирование»

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

Научный руководитель – Б. Муканова

История робототехники берет свое начало в древнем мире. Современная концепция начала развиваться с началом промышленной революции, которая позволила использовать сложную механику и последующее внедрение электричества. Это позволило приводить в действие машины с небольшими компактными двигателями. Сегодня можно представить роботов размером с человека, способных к мысли и движениям почти человека.

Первые применения современных роботов были на заводах в качестве промышленных роботов - простых стационарных машин, способных выполнять производственные задачи, которые позволяли производить с меньшими потребностями с человеческой помощи. Промышленные роботы с цифровым управлением и роботы с использованием искусственного интеллекта были созданы с 2000-х годов.

В настоящее время инновации в области программного обеспечения и искусственного интеллекта послужили быстрому развитию робототехники, что является одним из приоритетных направлений развития научно-технического прогресса в настоящее время. Также роботы находят свое применение в производстве, космической и военной промышленности, автомобилестроении, медицине и многих других областях.

У подавляющего большинства роботов действительно есть общие черты. Так что, из себя представляет робот? Прежде всего, почти у всех роботов есть подвижное тело. Некоторые обладают только моторизованными колесами, у других есть десятки подвижных сегментов, как правило, из металла или пластика. Как кости в вашем теле, отдельные сегменты соединяются вместе с помощью суставов.

Существуют различные классы роботов, среди которых важнейшими являются автоматические манипуляционные роботы. Частный вид этих роботов - промышленные роботы. Среди всех частей промышленного робота исполнительное устройство - механизм, обеспечивающий движение рабочего органа, - имеет определяющее значение. Именно от этого устройства во многом зависят такие важные характеристики робота, как быстродействие, маневренность, точность позиционирования, возможность работы в стесненных пространствах.

Часто используемые манипуляторы это манипулятор последовательной и параллельной структуры. Последовательные манипуляторы представляют собой ряд звеньев, соединённых между собой шарнирами. Манипулятор называется последовательным, потому что приводы этого манипулятора располагаются последовательно, друг за другом. Чаще всего приводы последовательного манипулятора располагаются на шарнирах или же согласованы с шарниром. Все звенья, основание, также исполнительное звено составляют кинематическую цепь манипулятора.

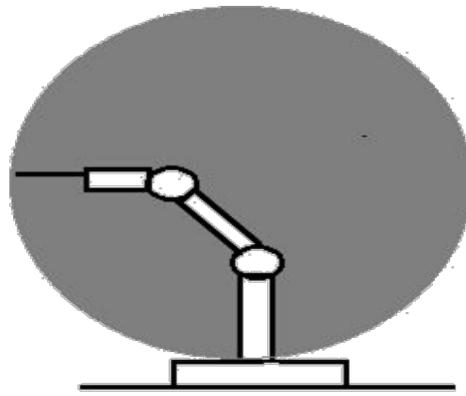


Рис 1. Манипулятор сварщик последовательной структуры

Параллельный манипулятор- это манипулятор, который включает в себя не одну кинематическую цепь, а больше. Исполнительное звено, является пересечением этих кинематических цепей. Каждая цепь накладывает связь на остальные, тем самым не даёт им перемещаться полностью, как это было в последовательном манипуляторе. Особенность этих манипуляторов в том, что приводы не располагаются друг за другом, привод лишь один в одной кинематической цепи либо его нет, и тогда цепь просто накладывает связь.

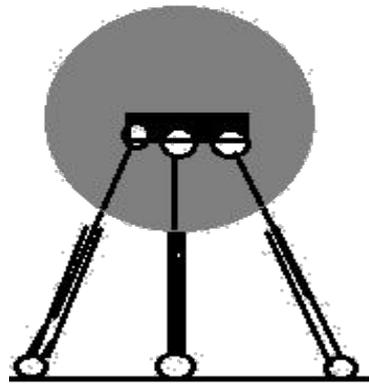
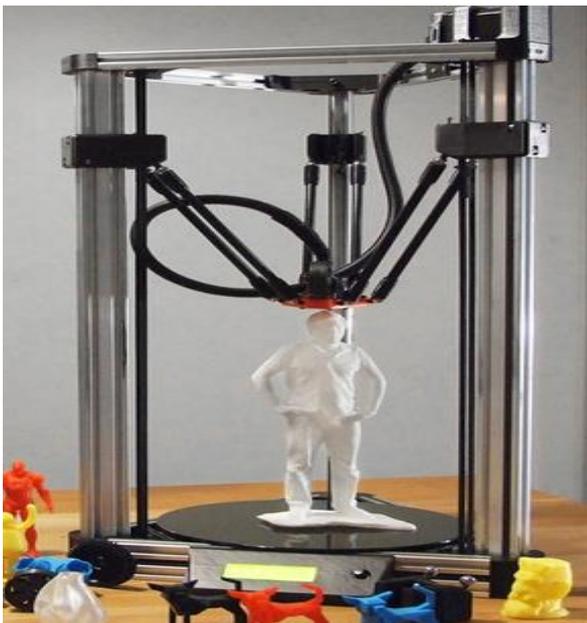


Рис 3. Дельта робот параллельной структуры

Рис 4. Рабочая область дельта робота

За последние десятилетия параллельные роботы, привлекли к себе внимание большого количества ученых со всего мира. Они обладают целым рядом преимуществ, таких как жесткость и точность позиционирования, что привело к их широкому распространению во всех областях промышленности. Важной задачей, решаемой при проектировании роботов, является определение его рабочей области, т.е. множества точек, которые может достигнуть инструмент, управляемый роботом. Объем рабочей области является ключевой характеристикой робота. Сама рабочая область служит основой для прокладки траектории движения рабочего инструмента.

В задачах проектирования и управления роботами основную роль играют методы математического моделирования. В частности, возникает ряд задач, для решения которых применяются методы оптимизации. Одной из таких задач, является задача определения

рабочей области робота, т.е. множества возможных положений его рабочего инструмента. Для решения данной задачи применяются различные подходы. Например, предлагают следующую классификацию методов нахождения рабочей области: геометрические, алгебраические, и основанные на дискретизации. Геометрические и алгебраические методы являются достаточно эффективными для сравнительно простых роботов. Методы, основанные на дискретизации имеют более широкое применение, но их недостатком является необходимость организации перебора большого числа вариантов.

В задачах робототехники наиболее эффективными и общими являются методы, основанные на сведении задачи аппроксимации рабочей области к нахождению множества решений системы нелинейных неравенств. Исследуемая область разбивается на ряд подобластей, каждая из которых либо относится к решению либо отбрасывается, когда в подобласти нет ни одной точки решения. Ограничения на рабочую область задаются в виде неравенств, которые можно описать любыми полиномами 2 порядка.

Одним из методов определения рабочей области является метод неравномерных покрытий. Вкратце алгоритм неравномерных покрытий (АНП) записывается в виде:

АлгоритмCovEq

```

L := {[a, b]}
while L ≠ ∅ do
  take P ∈ L, L := L \ {P}
  M = maxx∈P φ(x), m = minx∈P φ(x)
  if m ≤ 0 ≤ M then
    if d(P) ≤ δ then
      A := A ∪ {P}
    else
      {P1, P2} = divide P
      L := L ∪ {P1, P2}
  endif
endif
done

```

Принцип работы данного алгоритма состоит в том, что исходный прямоугольник делится на прямоугольники меньшего размера до тех пор, пока диаметр прямоугольника не станет меньше заданной величины δ . Обрабатываемые прямоугольники заносятся в список L . Деление происходит всегда вдоль максимального ребра, что обеспечивает конечность алгоритма. При этом, прямоугольники, заведомо не содержащие точек из множества решений системы, отбрасываются. Для этого выполняется следующий тест: если $m > 0$ или $M < 0$, то прямоугольник P не содержит ни одной точки из X и может быть исключен из дальнейшего рассмотрения. Действительно, если $m > 0$, то значит, хотя бы для одного $i \in 1, \dots, m$ выполняется $m_i > 0$. Следовательно, $f_i(x) > 0$ для всех $x \in P$ и система (1) очевидно несовместна на текущем прямоугольнике.

Для наглядного представления алгоритма неравномерных покрытий рассмотрим ограничения заданного двумя эллипсами, где рабочей областью является покрытие расположенное между двумя эллипсами :

$$\begin{aligned}
 (x-2.2)^2 + 4(y-1.1)^2 - 4 &\leq 0, \\
 0.16 - 0.64(x-2)^2 - 0.25(y-1)^2 &\leq 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для начала мы должны ограничить нашу область в виде начального прямоугольника так, чтобы множество решений неравенств (1) гарантированно содержалось в данном прямоугольнике. Далее используем метод неравномерных покрытий, в котором алгоритм

обрабатывает три списка прямоугольников: A есть список элементов покрытия внутренней области, B есть список элементов покрытия границы, список L динамически формируется из параллелепипедов, кандидатов на включение в списки A или B . В конце работы алгоритма образуются два списка параллелепипедов, A и B , которые содержат приближенное покрытие внутренней области и границы соответственно.

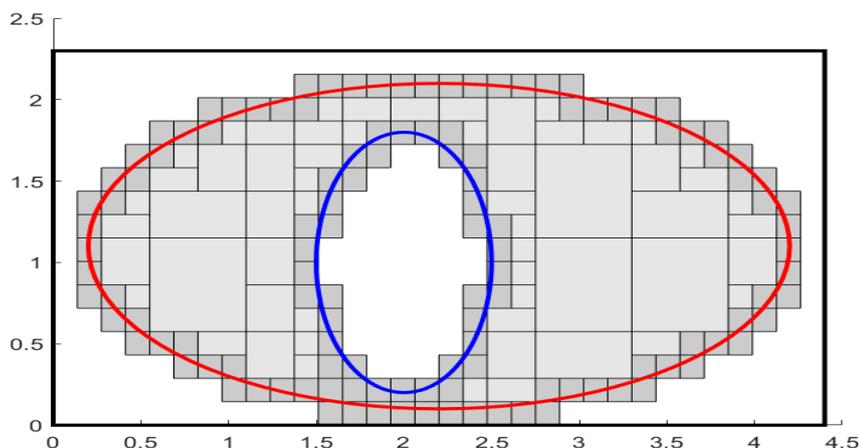


Рис. 5 – Построение покрытия границы и внутренней допустимой области в виде кольца, заключенного между двумя эллипсами (1).

На рисунке 5 видно, что покрытие внутренней области образовано прямоугольниками разных размеров, тогда как покрытие границы образовано прямоугольниками диаметром не более заданного параметра $\delta > 0$.

Цель построения покрытия рабочей области и ее границы заключается в том, что для каждого из прямоугольников понадобится вычислять экстремумы функций. Это связано с тем, что прямоугольники есть множества простой структуры, а на них вычисление экстремумов нелинейных функционалов может быть упрощено. Затем из этих значений экстремумов требуется выбрать глобальный экстремум. Но, тем не менее, задача вычисления экстремума на каждом из этих прямоугольников, в свою очередь, резко увеличивает трудоемкость вычислений. Поэтому использование высокопроизводительных технологий является необходимым шагом в приложении метода неравномерных покрытий.

Таким образом, можно отметить, что метод неравномерных покрытий является одним из эффективных и имеющим широкую область применения для определения рабочей области роботов параллельной структуры.

Список использованных источников

1. Merlet J. P. Parallel robots. – Springer Science & Business Media, 2006., Т. 128. – 245 p.
2. 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.
3. Посыпкин М.А., Ахметжанов М.А., Намазбаев Б.Д. Определение рабочей области робота с помощью метода неравномерных покрытий. Материалы XIV Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Алматы. 2018. Часть 2. –С.368.
4. Малышев, Д. И., Посыпкин, М. А., Рыбак, Л. А., Усов, А. Л. (2018). Анализ рабочей области робота DexTAR-dexterous twin-arm robot. International Journal of Open Information Technologies, 6(7).
5. Maksat Kalimoldayev Assel Abdildayeva Maksat Akhmet-zhanov Beglan Namazbayev About the Numerical Solution of Optimal Control Problems for Complex Electric Power Systems IX International Conference on Optimization Methods and Applications OPTIMIZATION AND APPLICATIONS OPTIMA-2018. – С. 89.
6. Евтушенко, Ю. Г., Посыпкин, М. А., Рыбак, Л. А., & Туркин, А. В. Отыскание множеств решений систем нелинейных неравенств //Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2017. – Т. 57, №. 8. – С. 1248-1254.

7. Evtushenko, Y., Posypkin, M., Turkin, A., Rybak, L. The non-uniform covering approach to manipulator workspace assessment // Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), 2017 IEEE Conference of Russian. – IEEE, 2017. – C. 386-389.