

УДК 004.94

Программная реализация метода управления манипулятором щупальца, эксплуатируемого в экстремально сложных условиях

К.А. Пахомов

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., М.Е. Семенов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ivanov@tpu.ru

Software implementation of the method of manipulator-tentacle control, operated in extremely difficult conditions

K.A. Pakhomov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., M.E. Semenov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ivanov@tpu.ru

Abstract. In the present study, we have developed software for controlling the tentacle manipulator, using deep neural learning, object recognition technology and creating a formative one in the form of a cubic spline. In our work, we used a positioning pitch along the spline of 15 mm, positioning accuracy of 0.00001, while the length of the (i) segment reached 65 mm, and the distance from the axis of the spline to the actuator was 35 mm.

Key words: Neural networks, computer vision, cubic spline, manipulator, tentacles.

Введение

В современной робототехнике существует потребность в совершенствовании методов управления манипуляторами, способных работать в экстремально сложных условиях [1]. Задача управления манипулятором щупальца – одна из таких задач, которая требует особого внимания и инженерных решений.

Цель работы – выполнить программную реализацию метода управления манипулятором щупальца.

Экспериментальная часть

Основываясь на анатомии головоногих заметим, конечность осьминога может быть разделена на $(n-1)$ секторов, где n количество групп продольных мышц. Тогда сведем задачу к позиционированию n точек в пространстве [2]. На рисунке 1 представлена принципиальная модель манипулятора.

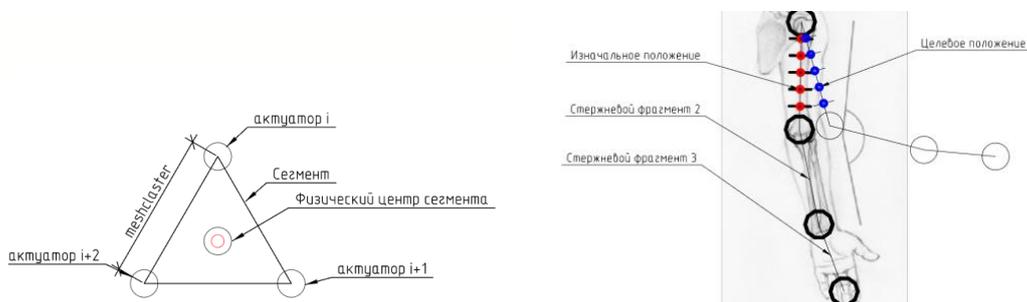


Рис. 1 Математическая модель манипулятора:
а) поперечное сечение, б) вид сбоку с 6-ю центрами сегментов

Для осуществления перемещения в заданную точку, каждому актуатору (мышце) сегмента необходимо передать такое количество энергии чтобы восполнить разницу между текущим положением и требуемым [3]. Предполагаем, что изначально все звенья

манипулятора находятся в нулевых координатах – звенья манипулятора направлены вертикально. Как следствие на все актуаторы сегментов действует равнонаправленное напряжение. Движения манипулятора описываются в двух плоскостях через интерполяцию кубического сплайна, где область определения разбита на конечное число отрезков через интерполяционные узлы (рис. 2).

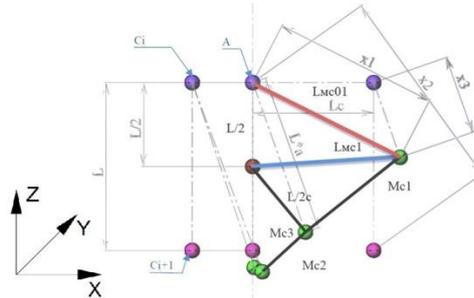


Рис. 2. Характерные точки математической модели сегмента $i, i+1$ (вид сбоку): $(i+1)$ -ый сегмент (розовый), i -ый сегмент (фиолетовый), $i+1$ сегмент новое положение (зеленый)

Отрезки с индексами Mci и величина $L/2$ образуют прямоугольный треугольник, тогда определим величины $L_{mc(1)} = \sqrt{\frac{L^2}{2} + M_{c(1)}^2}$, при этом $M_{c(1)}$ – длина гипотенузы.

Для нахождения величины $L_{mc(0,1)}$ обратимся к теореме косинусов:

$$L_{mc(0,1)} = \sqrt{\frac{L^2}{2} + L_{mc(1)}^2 - 2 \frac{L^2}{2} L_{mc(1)}^2 - \cos(a)}, \quad (1)$$

где

a – угол между сторонами $\frac{L}{2}$ и L_{mc1} , который определяется как $180-55-38=87$, где 55° – константа, 38° – угол образованный между осью $L/2$ и вертикальной осью. Далее поставим задачу следующим образом: Пусть известны стороны $L_{mc1} = a$, $L_{mc01} = b$, $\frac{L}{2} = c$ треугольника ABC и координаты вершин A и B . По теореме косинусов координаты вершины C можно выразить через координаты вершины A :

$$\begin{cases} xC = xA + b \cdot \cos A \\ yC = yA + b \cdot \sin A \end{cases} \quad (2)$$

Результаты

В ходе работы алгоритма материал в формате «mp4» был проанализирован алгоритмами компьютерного зрения и нейронными сетями для получения координат положения реперов. Указанный массив данных будем именовать «DataframeHANDfiltr» в составе которого находятся координаты положения конечности оператора по всем кадрам. На рисунке 3 представлен пример работы алгоритма.



Рис. 3 Кадр 0 видео контента, движения оператора: красные точки – реперы

Используя поправочные коэффициенты получаем матрицу вида:

$$DF_{split0M} = \begin{pmatrix} DF_{split0M[0][0]} * Mas_{newproekt} & DF_{split0M[cdf][0]} * Mas_{newproekt} \\ DF_{split0M[0][1]} * Mas_{newproekt} & \dots & DF_{split0M[cdf][1]} * Mas_{newproekt} \\ \dots & \dots & \dots \\ DF_{split0M[0][rdf]} * Mas_{newproekt} & DF_{split0M[cdf][rdf]} * Mas_{newproekt} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Где, $Mas_{newproekt}$ – коэффициент отношения между фактической длиной конечности оператора и Эвклидовой длиной точками $DF_{split0M[0][0]}$ и $DF_{split0M[cdf][0]}$

Итогом вычислений является Dataframe «DFsplit0M» с параметрами координат X,Y,Z из которого значения координат 5 точек присваиваются переменным x_{vhod} , y_{vhod} и $z_{vhod}(i)$, после чего применяем схему Горнера для построения кубического сплайна.

$$\varphi(x) = c_0 + x * (c_1 + x * (c_2 + x * (c_3 + x * (\dots + c_n + x) \dots))) \quad (4)$$

Расчетная схема определения $i + 1$ координаты z, x, y узла сегмента имеет вид пространственной трапеции (рисунок 4) с точками $B_{1(i)(z,x,y)}$, $B_{1(i+1)(z,x,y)}$, $A_{1(i)(z,x,y)}$, $A_{1(i+1)(z,x,y)}$. Так как изначально, значения точки $A_{1(i+1)(z,x,y)}$ неизвестно. Вводим дополнительную точку, как точку симметрии $M_{1(i+1)(z,x,y)}$ и определяем длину $|A_{(i)}A_{1(i+1)}|$, значение определяем как сторону треугольника:

$$|A_{(i)}A_{1(i+1)}| = \sqrt{|A_{(i)}M_{(i)(i+1)}|^2 + |A_{(i)}M_{(i)(i+1)}|^2 - 2|A_{(i)}M_{(i)(i+1)}| * \cos(beta3d)} \quad (5)$$

В свою очередь

$$beta3d = 180 - 2 * \sqrt{\frac{|A_{(i)}M_{(i)(i+1)}|^2 + |B_{(i)}M_{(i)(i+1)}|^2 - |B_{(i)}A_{(i)(i+1)}|^2}{2 * |A_{(i)}M_{(i)(i+1)}| * |B_{(i)}M_{(i)(i+1)}|}} \quad (6)$$

таким образом имея длину $|A_{(i)}A_{1(i+1)}|$, производим проход от $A_{(i)}$ до $A_{1(i+1)}$ и в случае если $|A_{(i)}A_{1(i+1)}| = |A_{(i)}A_{1(i+1)}|$ (шаговая) точке $A_{1(i+1)}$ присваиваются новые координаты.

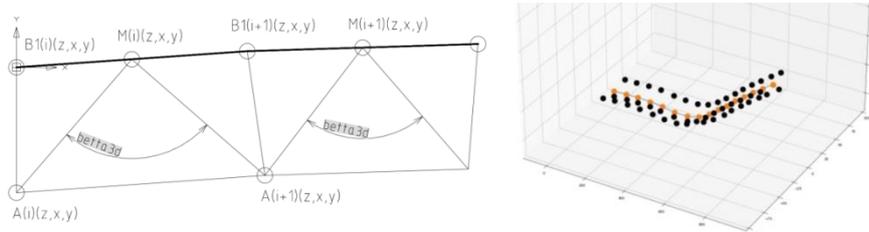


Рис. 4. Трапеция в плоскости точек $A(i)$, $B1(i)$, $B1(i+1)$.
Координаты точек кубического сплайна и вершин сегментов

Заключение

В результате получаем набор команд для актуаторов: «x_yy_zzz», где x – номер группы сегмента, «yy» принимает значение $1n, 1p, \dots, 3n, 3p$, в котором префикс 1–3 – номер актуатора, суффикс n/p – характер работы растяжение/сжатие, «zzz» – величина усилия актуатора. Команды в виде x_yy_zzz отправляются на главный контроллер типа Master, далее распределяются на котроллеры типа Slave с последующей адресацией на актуаторы.

Список литературы

1. Козлов А. Восемь умных ног // Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова. – Наука и жизнь. – 2019. – № 7. – С. 1.

2. Липовский Д.Д., Васильев А.В., Абаева К.С. Специальные требования к робототехническим комплексам войск радиационной, химической и биологической защиты. – Вольск, 2018. – С. 72–79.

3. Вабищевич А.Н., Восков Л.С. Беспроводная система захвата движения на основе платформы беспроводной сенсорной сети и инерциальных датчиков // Научные труды (Вестник МАТИ) – 2013. – Выпуск 20 (92). – С. 200–210.