

УДК 681.515

Шульгин С.К., кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,

Синепольский Д.О., старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,

Юрков В.А., старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОДЗАДАЧИ ИНВЕРСНОЙ КИНЕМАТИКИ

Аннотация: исследуется возможность применения предварительно обученной искусственной нейронной сети в задаче планирования траектории движения исполнительской кинематической цепи для решения обратной задачи кинематики в узловых точках траектории. Рассмотрены вопросы аппроксимации и вид полиномов для участков траектории движения исполнительской кинематической цепи; формирования обучающей выборки искусственной нейронной сети для решения обратной задачи кинематики; моделирования движения исполнительской кинематической цепи и определения законов изменения обобщенных координат, скоростей и ускорений при реализации заданной траектории.

Ключевые слова: обратная задача кинематики, аппроксимация траектории, аппроксимирующий полином, задача планирования траектории, обобщенные координаты, искусственная нейронная сеть.

Применение искусственных нейронных сетей, благодаря своей продуктивности, находит все большее применение в сфере робототехники. Моделирование кинематики, построение рабочей зоны манипулятора, решение обратной задачи кинематики – все эти задачи стали сферой применения искусственных нейронных сетей [1, 2, 3]. Одной из задач, определяющих поведение манипулятора в процессе выполнения требуемых операций в области рабочей зоны, является задача планирования траектории.

Целью работы является решение задачи планирования траектории движения исполнительской кинематической цепи с использованием обученной искусственной нейронной сети для решения обратной задачи кинематики в

узловых точках траектории. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. В установленных пределах рабочей зоны исполнительный кинематической цепи выбрать траекторию движения.
2. Выбрать метод аппроксимации и вид полиномов для участков траектории движения исполнительный кинематической цепи.
3. Сформировать обучающую выборку, необходимую искусственной нейронной сети для решения обратной задачи кинематики в установленных узловых точках траектории.
4. Обучить искусственную нейронную сеть с целью определения значений обобщенных координат исполнительный кинематической цепи в зависимости от значений координат узловых точек траектории.
5. Путем решения задачи моделирования траектории движения исполнительный кинематической цепи определить законы изменения обобщенных координат, скоростей и ускорений при реализации заданной траектории движения с использованием обученной искусственной нейронной сети.

На сегодняшний день, задача управления движением манипулятора по заданной траектории разделяется на две независимые подзадачи – выбор (планирование) траектории и движение манипулятора по выбранной траектории [4]. Задача планирования траектории состоит в выборе математического аппарата для описания желаемого движения манипулятора между начальной и конечной точками траектории [4]. В общем случае планирование траектории движения манипулятора в декартовых координатах состоит из двух последовательных шагов: формирование узловых точек, расположенных вдоль планируемой траектории движения схвата и выбор некоторого класса функций, аппроксимирующих участки траектории между узловыми точками в соответствии с некоторым критерием. Наиболее распространенным способом аппроксимации участков траектории между узловыми точками является использование многочленов типа 4-3-4, когда вся

планируемая траектория движения манипулятора делится на три участка, при этом первый участок между начальной точкой и точкой ухода и третий участок траектории между точкой подхода и конечной точкой аппроксимируется полиномами четвертой степени, а второй участок траектории между точкой ухода и точкой подхода аппроксимируется полиномом третьей степени. Основной сложностью при решении задачи планирования траектории движения манипулятора путем аппроксимации участков траектории с помощью полиномов является необходимость решения обратной задачи кинематики для каждой из узловых точек планируемой траектории с целью определения вектора обобщенных координат манипулятора, характеризующих его конфигурацию в данной узловой точке траектории. Для случая, когда исполнительная кинематическая цепь может быть аналитически описана с использованием метода Денавита-Хартенберга, для решения обратной задачи кинематики для каждой из узловых точек планируемой траектории могут быть использованы итерационные методы, основанные на линеаризации, такие как метод Ньютона или метод простых итераций, ввиду того, что описание конфигурации исполнительного механизма в рассматриваемой точке планируемой траектории при использовании метода Денавита-Хартенберга представляет собой систему нелинейных уравнений [5]. В случае, когда для описания конфигурации исполнительного механизма используются методы, не основывающиеся на идеях Денавита-Хартенберга, решение обратной задачи кинематики манипулятора в каждой точке планируемой траектории удобнее производить с помощью искусственной нейронной сети. В рассматриваемом случае, нейронная сеть обучена формировать на выходе вектор обобщенных координат манипулятора в зависимости от координат рассматриваемой узловой точки планируемой траектории манипулятора.

На рис.1 представлена исполнительная кинематическая цепь, образованная двумя сферическими кинематическими парами третьего класса, соединенными между собой подвижным звеном.

Для решения обратной задачи кинематики, рассматриваемой исполнительной кинематической цепи, в заданных узловых точках планируемой траектории была использована двухслойная искусственная нейронная сеть прямого распространения со структурой 10-2, обученная в соответствии с парадигмой обучения "с учителем" с использованием метода прямого распространения сигнала и обратного распространения ошибки по методу Левенберга-Маквардта [9].

Для обучения рассматриваемой нейронной сети была сформирована обучающая выборка объемом 25000 элементов, входными параметрами которой являлись значения координат узловых точек планируемых траекторий I и II, лежащих внутри рабочей зоны исполнительной кинематической цепи, а целевыми значениями выступали значения углов ξ и φ , соответствующих данным узловым точкам и представляющих собой, в данном случае, обобщенные координаты рассматриваемой механической системы (табл. 1).

Таким образом, из таблицы 1 видно, что величина относительной ошибки обучения не превышает 0,001 для двух обобщённых координат в случае двух траекторий, что указывает на возможность использования рассматриваемой искусственной нейронной сети в качестве решателя обратной задачи кинематики в заданных узловых точках траекторий.

Таблица 1

Результат сравнения функционирования математической модели
и нейронной сети

Координаты узловых точек траектории I		Моделируемые значения ξ	Сформированные значения ξ	Моделируемые значения φ	Сформированные значения φ	Координаты узловых точек траектории 2		Моделируемые значения ξ	Сформированные значения ξ	Моделируемые значения φ	Сформированные значения φ
X	Y					X	Y				
-0.521	-6.479	0.253	0.2534	0.6587	0.65893	-0.521	-6.479	0.253	0.2534	0.6589	0.65893
2.086	-3.479	1.1255	1.1253	0.4066	0.40694	1.086	-7.479	0.3601	0.36004	0.77606	0.77601
3.801	-3.322	1.3362	1.3367	0.50974	0.50974	3.801	-7.322	0.6226	0.62227	0.84958	0.84954
7.577	4.731	2.1945	2.1949	0.9273	0.9277	7.577	4.731	2.1944	2.1949	0.9279	0.9277

В процессе решения задачи планирования траектории движения рассматриваемой ИКЦ с применением обученной нейронной сети в качестве решателя ОЗК в заданных узловых точках траектории были получены графики изменения обобщенных координат, скоростей и ускорений для первой и второй

степени подвижности рассматриваемой исполнительный кинематической цепи для каждой из предложенных траекторий движения (рис. 3,4).

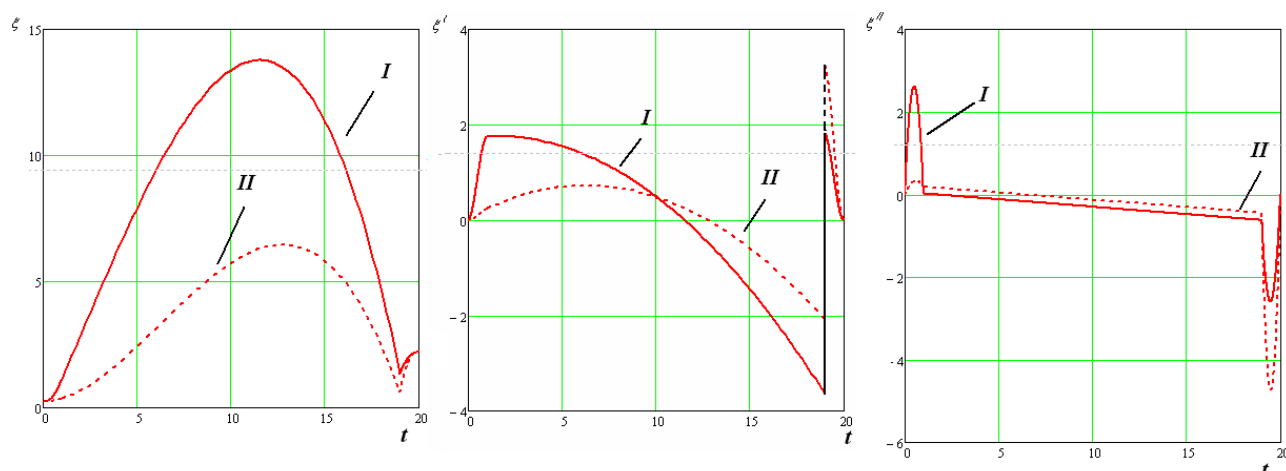


Рис. 3. Закон изменения величины, скорости и ускорения обобщенной координаты ξ исполнительный кинематической цепи в случае перемещения по траекториям I и II

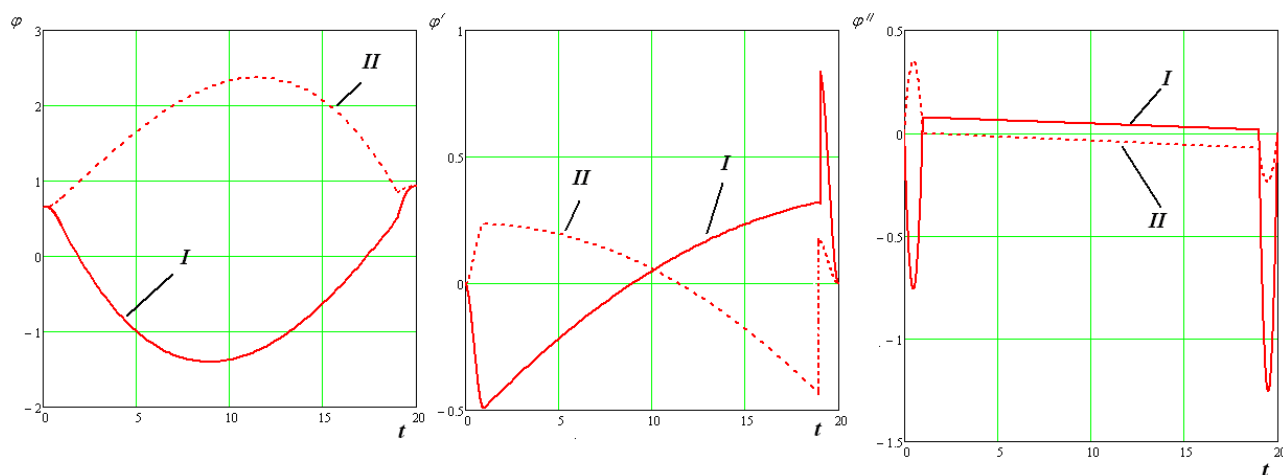


Рис. 4. Закон изменения величины, скорости и ускорения обобщенной координаты φ исполнительный кинематической цепи в случае перемещения по траекториям I и II

Таким образом, можно утверждать, что ввиду того, что величина относительной ошибки обучения не превышает 0,001 для двух обобщённых координат в случае двух траекторий, обученную искусственную нейронную сеть можно использовать в качестве решателя обратной задачи кинематики в

заданных узловых точках траекторий при решении задачи планирования траектории.

Заключение

1. Рабочая зона двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединённым сферическими кинематическими парами третьего класса, имеет форму, представленную на рис. 2.
2. Двухслойная искусственная нейронная сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки, структура которой определяется схемой 10-2, с сигмоидной активационной функцией во входном слое является и линейной активационной функцией в выходном обеспечивает относительную ошибку, не превышающую 0,001 для двух обобщенных координат в случае двух траекторий.
3. Обученную искусственную нейронную сеть можно использовать в качестве решателя обратной задачи кинематики в заданных узловых точках траекторий при решении задачи планирования траектории.

Список использованных источников

1. S. Tejomurtula and S. Kak: «Inverse kinematics in robotics using neural networks» Information Sciences, Vol. 116, pp. 147–164, 1999.
2. A.V. Duka: «Neural network based inverse kinematics solution for trajectory tracking of a robotic arm» Procedia Technology, Vol. 12, pp. 20–27, 2014
3. Y. Maeda, T. Fujiwara and H. Ito: «Robot control using high dimensional neural networks» Procs. of SICE Annual Conference 2014, pp. 738–743, 2014
4. Фу, Кинсан. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли; Перевод с англ. А. А. Сорокина и др.; под ред. В. Г. Градецкого. - М.: Мир, 1989. - 620с. : ил.; 22 см.;
5. Шахинпур, М. Курс робототехники / М. Шахинпур. – М.: Мир, 1990. – 527 с.

6. Шульгин С.К. Моделирование адаптивной системы позиционирования звена сферической кинематической пары на основе искусственной нейронной сети [Текст] / Шульгин С.К., Синепольский Д.О. // Вестник ЛГУ им. В. Даля / ГОУ ВО ЛНР ЛГУ им. В. Даля. – Луганск, 2022. – №6.
 7. S. Tejomurtula and S. Kak: «Inverse kinematics in robotics using neural networks» Information Sciences, Vol. 116, pp. 147–164, 1999.
 8. Y. Maeda, T. Fujiwara and H. Ito : «Robot control using high dimensional neural networks» Procs. of SICE Annual Conference 2014, pp. 738–743, 2014.
 9. Practical optimization, Philip E. Gill, Walter Murray and Margret H. Wright, Academic Press Inc. (London) Limited, 1981.
-

Shulgin S.K. - candidate of technical sciences, associate professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Luhansk Vladimir Dahl State University»,

Sinepolsky D.O. - Senior Lecturer Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Luhansk Vladimir Dahl State University»,

Yurkov V.A. - Senior Lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Luhansk Vladimir Dahl State University».

KINEMATIC CIRCUITS TRAJECTORY PLANNING USING A NEURAL NETWORK FOR SOLVING THE INVERSED KINEMATICS SUBTASK

Abstract: The possibility of using a pretrained artificial neural network in the problem of planning the trajectory of the executive kinematics chain for solving the inverse kinematics problem at the nodal points of the trajectory is investigated. The questions of approximation and the form of polynomials for sections of the executive kinematics chain motion trajectory; formation of a training sample of an artificial neural network to solve the inverse problem of kinematics; modelling the movement of the executive kinematics chain and determining the laws of change of generalized coordinates, velocities and accelerations in the implementation of a given trajectory are considered.

Keywords: inverse kinematics problem, trajectory approximation, approximating polynomial, trajectory planning problem, generalized coordinates, artificial neural network.