

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»,

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХЗВЕННОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Аннотация: моделируется применение предварительно обученной искусственной нейронной сети в качестве регулятора положения свободных звеньев двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса. Рассмотрены вопросы математического моделирования механической составляющей системы включая механизм изменения положения звеньев; формирования обучающей выборки координат положения конечного свободного звена; выбора структуры искусственной нейронной сети и ее обучение для решения обратной задачи кинематики; анализа точности полученной системы позиционирования.

Ключевые слова: двухзвенная кинематическая цепь, сферическая кинематическая пара, математическая модель, обратная задача кинематики, искусственная нейронная сеть, точность позиционирования.

Введение

Переход от использования универсальных робототехнических систем с развитым аппаратом математического обеспечения [1, 2] к практике конструирования манипуляторов с кинематической схемой, ориентированной на специфическую решаемую задачу, из промышленно выпускаемых модульных системы кинематических пар с приводом и датчиками обратной связи [3] заказчиком непосредственно на объекте, приводит к задаче разработки алгоритмов функционирования систем управления манипулятором, способных адаптироваться к неточностям сборки и возникающим в процессе эксплуатации изменениям. В работе [4]

получены предварительные результаты для задачи позиционирования отдельной сферической кинематической пары, движущейся относительно жестко закрепленного звена.

Целью работы является компьютерное моделирование адаптивной системы позиционирования двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса с использованием обученной искусственной нейронной сети в качестве регулятора положения свободных звеньев цепи.

Достижение поставленной цели требует решения ряда основных задач:

1. Построение математической модели механической составляющей системы позиционирования кинематической цепи в плоской системе координат O, X, Y относительно жестко закрепленного основания в соответствии с заданными координатами X, Y .

2. Реализация структурной схемы механизма изменения положения звеньев рассматриваемой двухзвенной кинематической цепи в плоской системе координат O, X, Y .

3. Формирование обучающей выборки координат положения конечного свободного звена рассматриваемой двухзвенной кинематической цепи в процессе ее перемещения в системе координат O, X, Y относительно ее основания.

4. Выбор структуры искусственной нейронной сети и ее обучение с целью обеспечения решения обратной задачи кинематики для двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединённым сферическими кинематическими парами третьего класса.

5. Анализ точности функционирования автоматической системы позиционирования свободного звена рассматриваемой двухзвенной кинематической цепи, в плоской системе координат O, X, Y относительно жестко закрепленного основания в соответствии с заданными координатами X, Y .

Механическая составляющая системы позиционирования, обеспечивающей значения требуемых координат X, Y в системе координат O, X, Y представляет собой исполнительную кинематическую цепь, состоящую из двух сферических кинематических пар третьего класса (рис. 1).

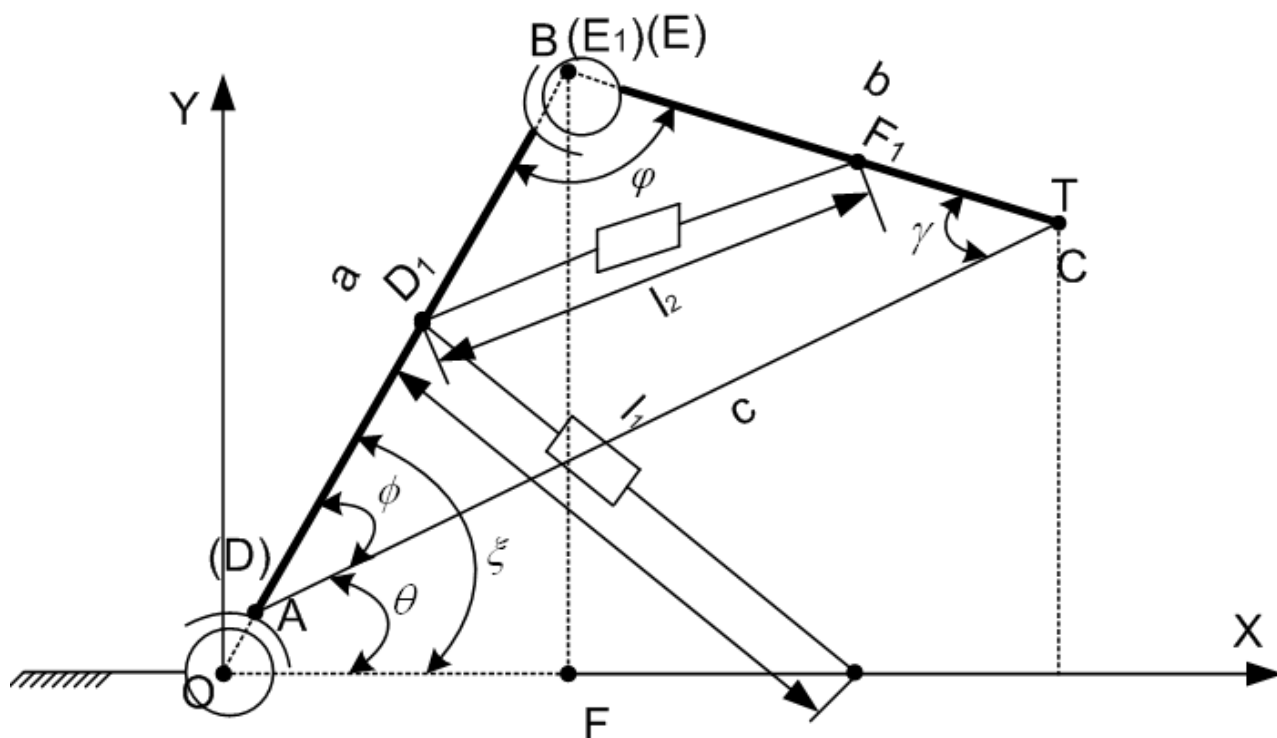


Рис. 1. Структурная схема механической составляющей адаптивной системы автоматического позиционирования с учетом механизмов изменения положения элементов кинематической цепи

Одно из звеньев сферической кинематической пары, выполняющей в рассматриваемой исполнительной кинематической цепи роль основания, жёстко зафиксировано, а подвижное звено выступает как составляющая второй сферической кинематической пары, подвижное звено которой определяет положение точки T в системе координат O, X, Y .

Задача автоматической системы позиционирования рассматриваемой двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса,

состоит в изменении положения искомой кинематической цепи с целью обеспечения требуемых координат X, Y точки T , в зависимости от заданных значений ее координат X^*, Y^* в системе координат O, X, Y .

Для обеспечения изменения положения подвижных звеньев сферических кинематических пар в системе координат O, X, Y в системе используются поступательные кинематические пары пятого класса с длинами выдвижения штоков соответственно l_1 и l_2 .

В рассматриваемой структуре параметрами, определяющими значения координат точки T в системе координат O, X, Y , являются значения углов ϕ , ξ и γ , и значение длины отрезка c , рассматриваемого как третья сторона треугольника $\triangle ABC$. Значение длины стороны c треугольника $\triangle ABC$ определяется как результат сложения векторов a и b , определяющих соответственно длины сторон AB и BC треугольника $\triangle ABC$ [5]. Значения углов ξ и ϕ зависят от длин выдвижения штоков l_1 и l_2 поступательных кинематических пар пятого класса и расположения точек их крепления к подвижным звеньями сферических кинематических пар третьего класса [4]. Рассматриваемый способ крепления зависит от условий функционирования данного механизма и может быть изменен в зависимости от поставленной задачи. Таким образом, указанные выше углы определяются как углы треугольников $\triangle DEF$ и $\triangle D_1E_1F_1$ в зависимости от значений его сторон (теорема косинусов) [5]. Угол ϕ соответствует третьему углу треугольника $\triangle ABC$ и его значение определяется в соответствии с правилами вычисления подробного вида углов [5].

Рассматриваемая механическая составляющая системы позиционирования двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединённым сферическими кинематическими парами третьего класса, образуют рабочую зону, форма которой представлена на рис. 2.

Задача искусственной нейронной сети состоит в решении обратной задачи кинематики для рассматриваемой двухзвенной кинематической цепи и заключается в определении значений длины выдвижения штоков l_1 и l_2 , обеспечивающих требуемое положение точки Т в границах рабочей зоны в плоской системе координат O, X, Y , определяемое координатами X, Y .

Положительные результаты применения искусственных нейронных сетей для решения обратной задачи кинематики приведено в работах [6,7].

Для решения поставленной задачи в работе было предложено использовать двухслойную искусственную нейронную сеть прямого распространения со структурой 10-2 (рис. 3), обученную в соответствии с парадигмой обучения "с учителем" с использованием метода прямого распространения сигнала и обратного распространения ошибки по методу Левенберга-Маквардта [8].

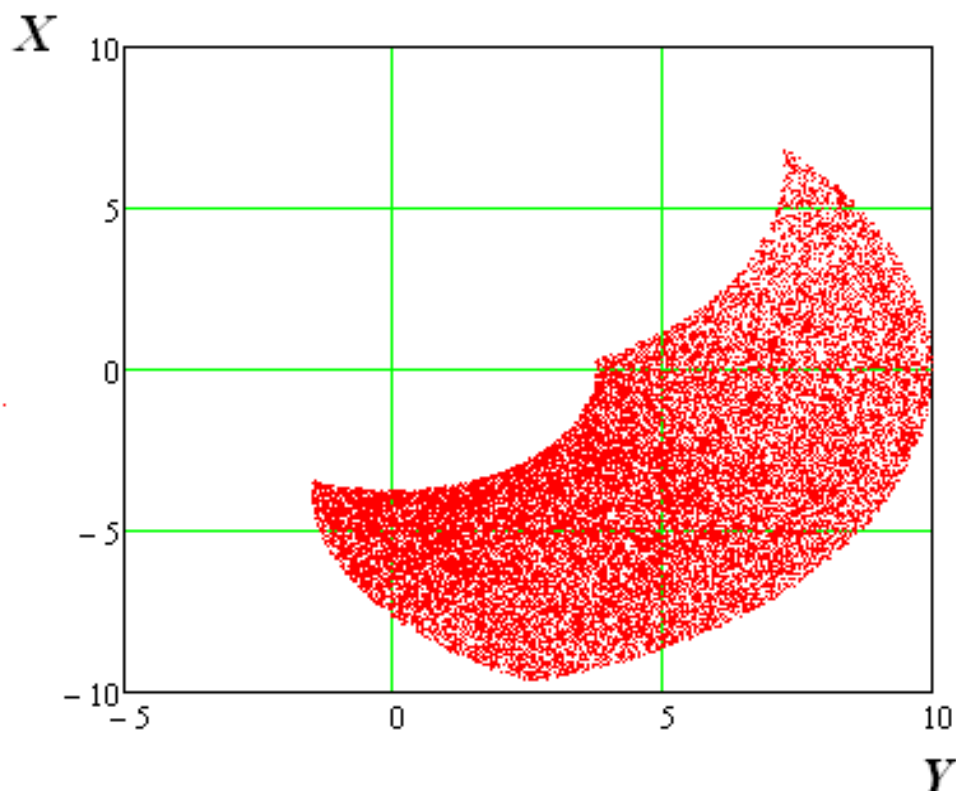


Рис. 2. Рабочая зона кинематической цепи автоматической системы
позиционирования

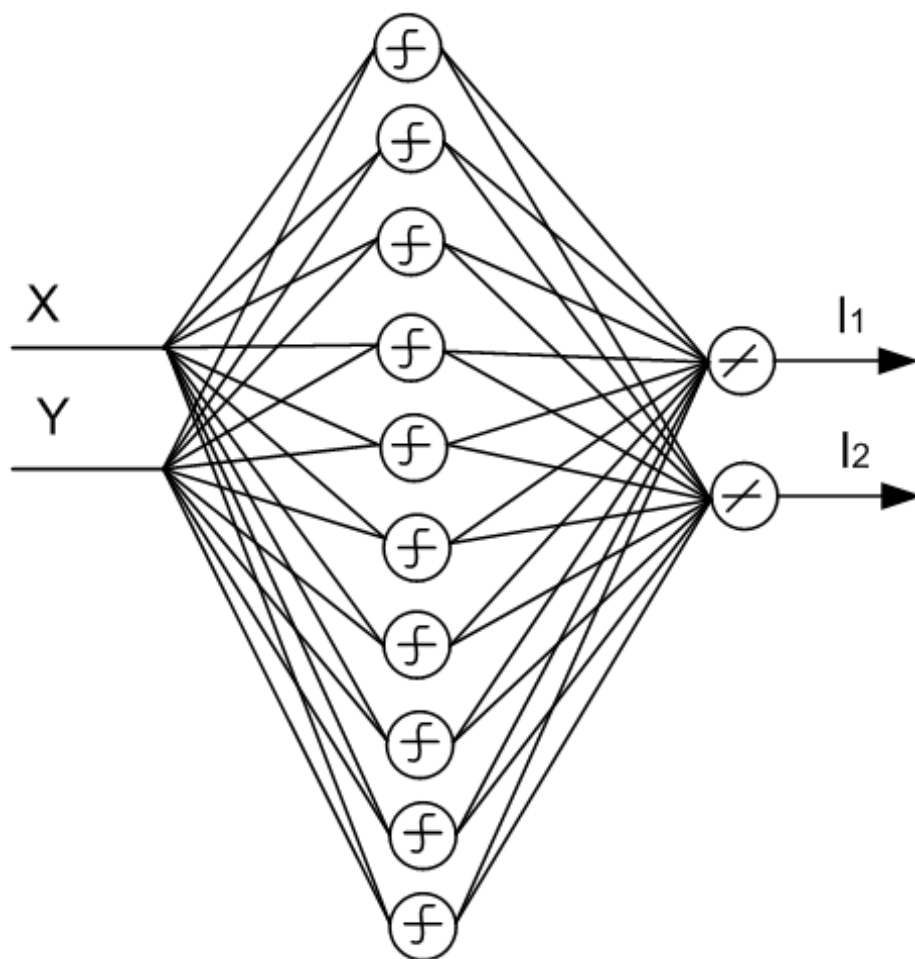


Рис. 3. Структура искусственной нейронной сети

С целью уточнения влияния объема обучающей выборки на точность обучения в работе были сформированы пять обучающих выборок, объемом соответственно 100, 1000, 10000, 15000 и 20000 элементов, входными значениями в которых выступали значения координат X, Y точки T в пределах рабочей зоны рассматриваемой кинематической цепи, а целевыми значениями – величины l_1 и l_2 выдвижения штоков соответствующих поступательных кинематических пар пятого класса, обеспечивающих требуемое положение точки T в рассматриваемой области рабочей зоны, реализуемой искомой кинематической цепью, в плоскости системы координат O, X, Y . Для точки $X = 7,306, Y = -1,694$ и значений величин $l_1^* = 7,8$ и $l_2^* = 3$, определяемых математической моделью двухзвенной кинематической цепи (рис. 2) результат функционирования обученной искусственной нейронной сети представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Выходные параметры искусственной нейронной сети

Объем выборки	Величина l_1	Величина l_2
100	7,7849	2,9752
1000	7,7916	3,002
10000	7,7999	3,0069
15000	7,7982	2,9994
20000	7,804	2,9997

Величина относительной ошибки обучения во всех пяти случаях не превышает 0,001, что указывает на возможность использования рассматриваемой искусственной нейронной сети в качестве регулятора в автоматической системе позиционирования кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса.

Структурная схема системы позиционирования двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса в системе координат O, X, Y в которой предварительно обученная искусственная нейронная сеть выступает в качестве регулятора, который по заданным значениям выходных координат X, Y вырабатывает управляющие величины l_1 и l_2 выдвижения штоков соответствующих поступательных кинематических пар пятого класса, обеспечивающих требуемое положение точки Т в рассматриваемой области рабочей зоны, реализуемой искомой кинематической цепью, в плоскости системы координат O, X, Y представлена на рис. 4. Выходные координаты X', Y' положения свободного звена двухзвенной кинематической цепи вместе с определившими их величинами l_1 и l_2 могут быть вновь поданы для дообучения нейронной сети, обеспечивая возможность адаптации [4].

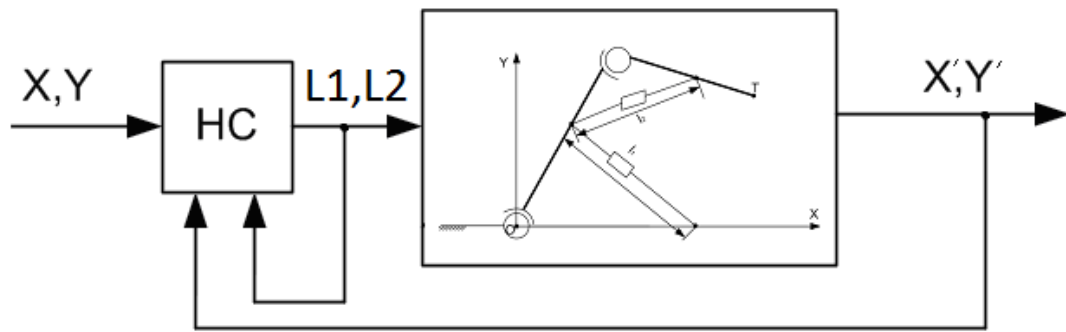


Рис. 4. Структурная схема системы позиционирования положения звена сферической кинематической пары

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 решение обратной задачи кинематики системы позиционирования двухзвенной кинематической цепи, образованной последовательно соединёнными сферическими кинематическими парами третьего класса.

3. Относительная точность, обеспечиваемая искусственной нейронной сетью при решении задачи позиционирования двухзвенной кинематической цепи достигает 10^{-3} при объеме выборки размером 100 элементов. Дальнейшее увеличение обучающей выборки не оказывает значительного влияния на повышение относительной точности.

Список использованных источников

1. "Robotics Technology and Flexible Automation 2nd Edition" S.R. Deb. McGraw Hill. New Delhi. 2010 ISBN 0-07-007791-6
2. "Robot Modeling and Kinematics" Manseur, Rachid. DaVinci Engineering Press. Boston, MA. 2006 ISBN 1-58450-851-5 Ch.4-5

3. P. Moubarak, et al., Modular and Reconfigurable Mobile Robotics, Journal of Robotics and Autonomous Systems, 60 (12) (2012) 1648—1663.
 4. 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.
 5. Понарин Я. П. Элементарная геометрия. В 2 т. — М.: МЦНМО, 2004.— ISBN 5-94057-170-0.
 6. S. Tejomurtula and S. Kak : «Inverse kinematics in robotics using neural networks» Information Sciences, Vol. 116, pp. 147–164, 1999.
 7. Y. Maeda, T. Fujiwara and H. Ito : «Robot control using high dimensional neural networks» Procs. of SICE Annual Conference 2014, pp. 738–743, 2014.
 8. 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 of the department "Information and control systems" of the Luhansk State University named after Vladimir Dal,

Sinepolsky D.O. - senior lecturer of the Department "Information and Control Systems" of the Luhansk State University named after Vladimir Dal,

Balalayechnikov A.V. - senior lecturer of the Department "Information and Control Systems" of the Luhansk State University named after Vladimir Dal.

MODELING OF AN ADAPTIVE ARTIFICIAL NEURALNETWORK BASED POSITIONING SYSTEM FOR A TWO-LINK KINEMATIC CIRCUITS

Abstract: Tthe application of a pretrained artificial neural network as a regulator for positioning of free links of a two-link kinematic chain formed by series-connected spherical kinematic pairs of the third class is modeled. The issues of mathematical modeling of the mechanical component of the system, including the mechanism for changing the position of the links; formation of a training sample of coordinates of the position of the final free link; choosing the structure of an artificial neural network and training it to solve the inverse problem of kinematics; analysis of the accuracy of the resulting positioning system, are considered.

Keywords: two-link kinematic chain, spherical kinematic pair, mathematical model, inverse kinematics problem, artificial neural network, positioning accuracy.