

11. Nyrkov, A. A., and A. P. Nyrkov. *Imitacionnoe modelirovanie transportnyh processov*. SPb.: SPGUVK, 2010.

12. Zubarev, Ju. Ja., I. V. Kukushkin, and A. P. Nyrkov. *Imitacionnaja model processov obrabotki kabotazhnyh sudov (IMPOKS): computer program*. Certificate № 2016610037. 11 Jan. 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кукушкин Иван Викторович — аспирант.
Научный руководитель:
Нырко́в Анатолий Павлович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
Iron-win@mail.ru
Нырко́в Анатолий Павлович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
kaf.koib@gmail.com, kaf_koib@gumrf.ru
Нырко́в Андрей Анатольевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
kaf.koib@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kukushkin Ivan Viktorovich — Postgraduate.
Supervisor:
Nyrkov Anatoliy Pavlovich.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
Iron-win@mail.ru
Nyrkov Anatoliy Pavlovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kaf.koib@gmail.com, kaf_koib@gumrf.ru
Nyrkov Andrey Anatolievich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kaf.koib@gmail.com

Статья поступила в редакцию 24 февраля 2016 г.

УДК 658.562(100)(075.8)

А. А. Вардомская

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОННАЯ МОДЕЛЬ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА КАК ЗВЕНА ПОРТОВОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрена модель двухзвенного манипулятора, построенная на основе гибридной нейронной сети с использованием блоков ANFIS для решения инверсной кинематической задачи обеспечения движения рабочего элемента по заданной траектории. Двухзвенные манипуляторы широко используются в перегрузочном оборудовании, которым оснащены современные порты и транспортные терминалы. Показано, что применение элементов гибридных сетей с простыми способами обучения и настройки позволяет значительно повысить эффективность и качество функционирования манипуляторов путем использования решений, основанных на фундаментальных положениях теории систем искусственного интеллекта. Для задания траекторий движения спредера применены сплайны. Приведены уравнения динамики модели двухзвенного манипулятора, позволяющие выполнять оценки допустимых нагрузок элементов конструкции и обеспечивать безаварийные режимы функционирования манипулятора.

Ключевые слова: манипулятор, модель, гибридная сеть, обучающая выборка, искусственный интеллект, сплайн, инверсная кинематическая задача, траектория движения

В ПОСЛЕДНЕЕ время проявляется большой интерес к системам искусственного интеллекта, которые находят все большее применение в различных сферах человеческой деятельности [1]. Высокая размерность моделей технологических процессов, сложность их математической формализации при наличии нестационарных нелинейных связей в системах, дополняемых комплексом логических переходов и параметрических ограничений, определяет необходимость обращения к технологиям построения систем искусственного интеллекта как наи-

более приемлемым для решения задач высокой сложности [2]. Широкое распространение системы искусственного интеллекта находят в технических, экономических, экологических и социальных системах, в медицине, а также на водном транспорте в различных приложениях [3].

Для построения систем искусственного интеллекта, как правило, используются нейронные сети и инструментарий фаззи-систем с применением генетических алгоритмов [4]. На водном транспорте нейронные сети используются для решения навигационных задач различной сложности, прогнозирования траекторий движения судна, построения предиктивных систем управления [5]. Математическая теория размытых и нечетких множеств и инструментарий фаззи-систем применяются для принятия решений в случаях нечеткого вывода, построения адаптивных регуляторов, анализа и синтеза гибридных сетей и систем.

Гибридные сети наиболее адаптированы к различным способам, условиям и технологиям построения сложных моделей функционирования объектов, и, по сути, являются тем инструментом, который обеспечивает достижение целей моделирования простыми способами [6]. Практика применения нейронных и фаззи-систем показала, что каждой из них в отдельности присущи определенные недостатки [7]. Например, нейронные сети эффективны при распознавании образов, но определить путь решения задачи, если число нейронов и их слоев велико, на практике невозможно [8]. Трудности возникают при выборе способа обучения, реализации процедур переобучения и др. В системах с нечеткой логикой можно в определенных случаях восстановить алгоритм достижения цели, однако вектор переменных состояния в таких системах не может иметь большую размерность, поскольку требуется разделять универсальное множество на отдельные подмножества [2]. В гибридных системах выбранные функции принадлежности встраиваются в систему на базе алгоритмов обучения нейронных сетей, а выводы формируются с помощью аппарата нечеткой логики [9]. В таких системах эффективно используется априорная информация для получения новых «знаний» и упрощаются процедуры моделирования проектируемых систем принятия решений. Гибридная сеть представляет собой симбиоз нейронной сети с четкими сигналами, функцией активизации и весами, где сигналы и веса используются с оценками треугольных норм: T -нормы, T -конормы. Входы и выходы гибридной сети должны быть вещественными числами, изменяющимися на интервале $[0,1]$.

Гибридные сети могут успешно применяться для создания моделей и алгоритмов управления механизмами и устройствами портового перегрузочного оборудования, приводами промышленных роботов, манипуляторов; группового управления мобильными перегрузочными средствами и терминалами [10].

Далее приводятся модель и алгоритм реализации заданной траектории движения двухзвенного манипулятора на основе гибридной сети. Манипулятор представляет собой двухзвенный механизм с шарнирными соединениями (рис. 1). Траектория перемещения звеньев манипулятора определяется углами поворота приводов α_1 и α_2 в шарнирных соединениях. На рис. 1 введены вспомогательные углы Θ_1 и Θ_2 , длины звеньев манипулятора обозначены, соответственно, символами L_1 и L_2 . Положение «пяты» первого звена на плоскости обозначено точкой (x_0, y_0) . Видно, что координаты колена (x_1, y_1) , а спредер, расположенный от начала координат на расстоянии R , находится в точке с координатами (x, y) .

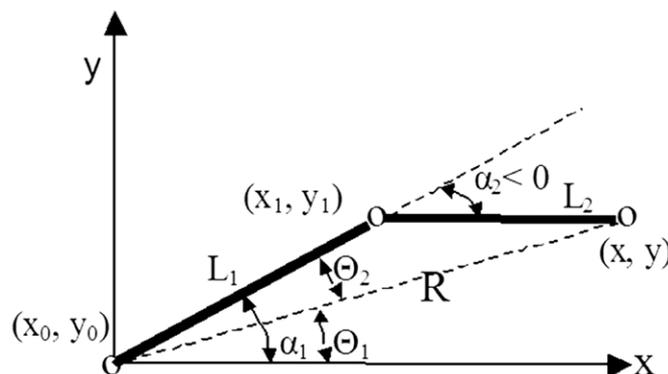


Рис. 1. Схема манипулятора

С помощью гибридной модели решается инверсная задача реализации заданной траектории движения спредера путем оценки углов поворота звеньев манипулятора. Модель основана на применении архитектуры адаптивной нечеткой сети класса *anfis*. Управление манипулятором состоит в установлении таких углов поворота механизмов в шарнирных соединениях, при которых обеспечивается движение спредера по заданной траектории. Для построения модели искусственного интеллекта, предназначенной для решения инверсной кинематической задачи, основанной на использовании гибридной сети, воспользуемся следующими соотношениями, устанавливающими связь между положением спредера и углами поворота механизмов приводов в «пяте» и колене манипулятора. С учетом обозначений, введенных на рис. 1, получим

$$\cos \alpha_2 = \frac{R^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}. \quad (1)$$

Используя x и y как координаты спредера манипулятора, запишем:

$$\Theta_1 = \arctg(y/x);$$

$$R^2 + L_1^2 - 2RL_1 \cos \Theta_2 = L_2^2 \text{ или } \cos \Theta_2 = \frac{R^2 + L_1^2 - L_2^2}{2RL_1}. \quad (2)$$

Из рис. 1 также следует, что должны соблюдаться условия

$$\alpha_1 = \Theta_1 - \Theta_2, \text{ если } \alpha_2 > 0 \text{ или } \alpha_1 = \Theta_1 + \Theta_2, \text{ если } \alpha_2 < 0. \quad (3)$$

Если $L_1 > L_2$, то нетрудно оценить минимальное и максимальное значения R для углов поворота α_1 и α_2 , изменяющихся в допустимых границах. С другой стороны, углы α_2 и Θ_2 являются нелинейными функциями только аргумента R , поскольку

$$\alpha_2 = \arccos((R^2 - L_1^2 - L_2^2)/(2L_1 \cdot L_2)) \quad (4)$$

и

$$\Theta_2 = \arccos((R^2 + L_1^2 - L_2^2)/(2L_1 \cdot R)). \quad (5)$$

Если теперь сгенерировать значения в выражениях (4) и (5) для изменяющихся величин R в диапазоне $R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$ с шагом d , то можно получить массивы чисел для построения адаптивной системы нейро-нечеткого вывода *anfis*-инструментария, содержащегося в приложении Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MatLAB. Он предназначен для настройки системы логического вывода типа Sugenо. Сформированные массивы чисел удобно также использовать для обучения *anfis*. В процессе обучения устанавливаются параметры системы нечеткого логического вывода (параметры функций принадлежности), обеспечивающие минимум погрешности аппроксимации расчетных (экспериментальных) данных, представленных в обучающей выборке. В работе используется следующий синтаксис функции:

$$[\text{fis}, \text{error}] = \text{anfis}([\text{матрица «радиус_угол»}], [\text{идентификатор с опциями}], [\text{число циклов обучения}]), \quad (6)$$

где аргументами являются: идентификатор обучающей выборки [матрица «радиус_угол»], исходная система нечеткого логического вывода типа Sugenо нулевого порядка [идентификатор с опциями], вектор параметров настройки [число циклов обучения] с данными о количестве проводимых циклов обучений (эпох).

В принятой модели используются два выхода: структура *fis*, применяемая для моделирования при поступлении на вход текущих значений (x, y) , расположенных на заданной траектории движения спредера, и ошибка моделирования *error* угла поворота соответствующего звена манипулятора. Далее приведен фрагмент программы в кодах MatLAB для создания моделей *fis* и *fis1*, аппроксимирующих углы α_2 и W_2 , согласно соотношениям (4) и (5). Поскольку $L_1 = 4$ и $L_2 = 3$, то $R_{\min} = 1$ и $R_{\max} = 7$. Выбран шаг дискретности $d = 0,01$. Подготовка данных для обучения сети выполнена с помощью функции *genfis1*, генерирующей структуру системы нечеткого вывода типа Sugenо. Функция является исходной для последующего обучения гибридной системы с соответ-

ствующими параметрами настройки, где с помощью `gbellmf` введена функция принадлежности обобщенного колоколообразного типа.

1. `R=(1:0.01:7)';`
2. `L1=4; L2=3;`
3. `d=sign((R.^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2));`
4. `alf2=acos((R.^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2));`
5. `epoch_n=20;`
6. `in_fis1= genfis1([R alf2],150,'gbellmf');`
7. `[fis,error]=anfis([R alf2],in_fis1,epoch_n)`
8. `Ym=evalfis(R,fis);`
9. `[Ym alf2]`
10. `tet2=acos((R.^2+L1^2-L2^2)/(2*L1*R));`
11. `epoch_n=20;`
12. `in_fis2= genfis1([R tet2],150,'gbellmf');`
13. `[fis1,error1]=anfis([R tet2],in_fis2,epoch_n)`
14. `Y1m=evalfis(R,fis1);`
15. `[Y1m tet2]`
16. % Наименования вычислительных блоков гибридной сети:
17. `ANFIS_1=fis; ANFIS_2=fis1;`

Выбранные параметры настройки модели сети и матрица «радиус_угол» размерности (601×2) для обучения `anfis` с числом циклов `epoch_n=20` позволили получить требуемую точность аппроксимации обучающей выборки, возвращаемой функцией `evalfis`. Погрешность аппроксимации можно оценить по графикам, приведенным на рис. 2.

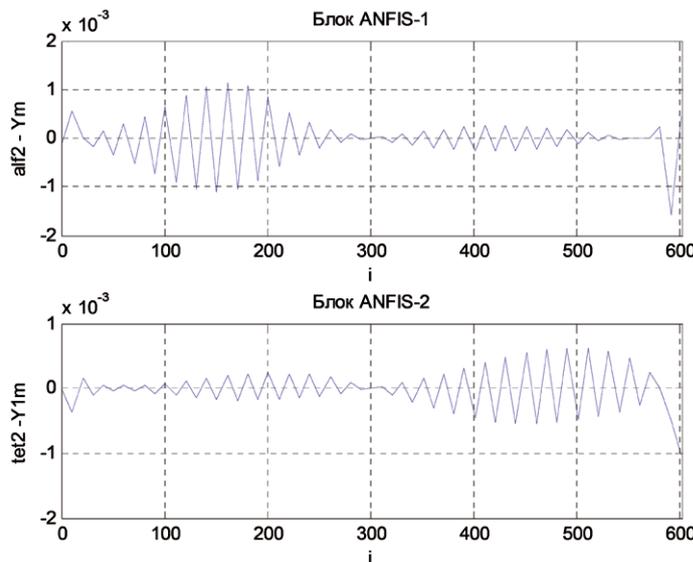


Рис. 2. Ошибка при моделировании обучающей выборки блоками системы ANFIS_1 и ANFIS_2

Время обучения блоков `anfis` применительно к рассматриваемой модели двухзвенного манипулятора зависит, главным образом, от размерности выборки и числа эпох обучения и может составлять при моделировании на ноутбуке, например, отвечающем спецификации PC99A, несколько десятков секунд, что вполне допустимо. Будучи однажды сформированными и настроенными, эти блоки должны использоваться для генерирования углов α_2 и Θ_2 для любых матриц «радиус_угол», элементы которых принадлежат множеству выборки обучения.

Управление манипулятором осуществляется с помощью блоков ANFIS_1 и ANFIS_2, предназначенных для расчета углов поворота, соответственно, α_2 и Θ_2 , после чего, с учетом условия (3),

находится угол α_1 . Входными переменными блоков являются координаты точек траектории, на которой должен располагаться спредер (рабочий элемент манипулятора).

Предположим, что траектория спредера манипулятора должна проходить через точки с координатами

$$(xy)^T = \begin{bmatrix} 6.00 & 3.25 & 0.50 & -2.25 & -5.00 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}.$$

Для этих точек определим вектор RPe R: $RP = [6.0000 \ 3.4004 \ 2.0616 \ 3.7500 \ 6.4031]$.

Используя блоки ANFIS_1 и ANFIS_2 и функцию преобразования evalfis, получим решение инверсной кинематической задачи, представленное ниже фрагментом программы в кодах MatLAB:

```
RP = sqrt(xy(2,:).^2+xy(1,:).^2);
S1 = evalfis(RP,ANFIS_1)
S2 = evalfis(RP,ANFIS_2)
% Выполнение условия (3) с учетом знака a2:
tetP = atan2(xy(2,:),xy(1,:));
if S1<0
alf1P = tetP+S2';
else
alf1P = tetP-S2';
end
% Углы (в градусах):
Tet = tetP*180/pi; Alf1P = alf1*180/pi; Alf2P = [S1*180/pi]';
```

В результате вычислений для выборки, представленной матрицей $(xy)^T$ имеем:

```
Wp = Tet = [0 17.1027 75.9638 126.8699 141.3402],
a1P = Alf1P = [-26.4119 -29.8551 28.9684 81.4442 120.8664],
a2P = Alf2P = [62.7273 124.0286 149.8803 117.1379 48.1923].
```

Построение положения звеньев манипулятора на плоскости выполнено в расчетных точках траектории, полученных с помощью сплайна [11], проходящего через узлы интерполяции с координатами $(xy)^T$. По сплайну путем деления траектории на 50 равных шагов определены координаты спредера в процессе движения, выделенные в виде массива точек. Согласно модели, с помощью блоков ANFIS_1 и ANFIS_2 получены углы поворота звеньев, по которым фиксированы положения звеньев манипулятора в каждой точке траектории. На рис. 3 выполнены графические построения положения звеньев, где выделены звенья при расположении рабочего элемента в точках (1–5) утолщенными линиями.

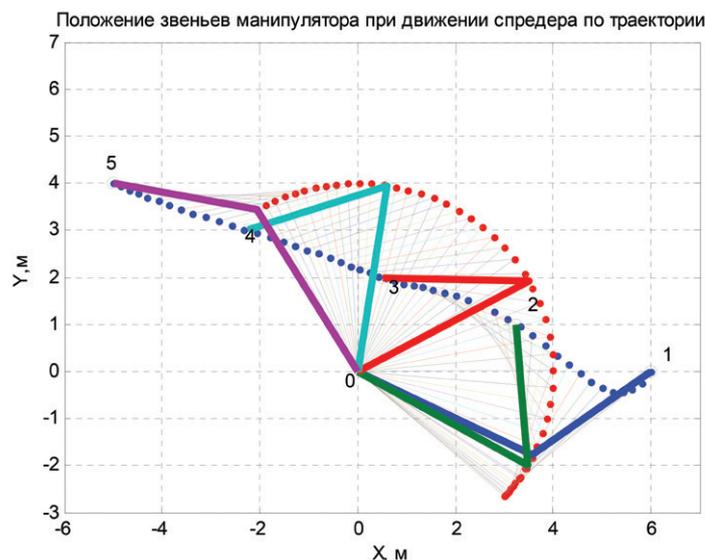


Рис. 3. Положение звеньев манипулятора при движении спредера по траектории

Сплаины целесообразно использовать для управления перемещением спредера по заданной траектории во времени [12]. Важно обеспечить такие режимы движения, которые соответствуют нормальным (допустимым) нагрузкам на элементы конструкции с учетом динамики и безопасности функционирования. Модель динамики манипулятора в стандартной форме можно представить матричным уравнением [13]:

$$M(q)\cdot\dot{q} + V(q, \dot{q}) + P(q) = H, \quad (7)$$

где $M(q)$ — инерционная матрица; $V(q, \dot{q})$ — вектор, учитывающий ускорения при поступательном и вращательном движении; $P(q)$ — вектор гравитационных составляющих системы; H — вектор моментов, приложенных в механизмах приводов звеньев; q — вектор переменных состояния.

Если предположить, что массы звеньев манипулятора m_1 и m_2 сосредоточены на концах звеньев (в спредере и колене соответственно), а вектор $q = [a_1 \ a_2]^T$, то нелинейное уравнение (7) можно записать в терминах конструктивных параметров манипулятора. При этом аддитивные составляющие (7) вычисляются с помощью аналитических зависимостей

$$M(q) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где

$$M_{11} = (m_1 + m_2) \cdot L_{12} + m_2 \cdot L_{22} + 2m_2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos\alpha_2;$$

$$M_{22} = m_2 \cdot L_{22};$$

$$M_{12} = M_{21} = m_2 \cdot L_{22} + m_2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos\alpha_2;$$

$$V(q, \dot{q}) = [-m_2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot (2 \frac{da_1}{dt} \cdot \frac{da_2}{dt} + (\frac{da_2}{dt})^2) \cdot \sin\alpha_2; m_2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \sin\alpha_2]; \quad (9)$$

$$P(q) = [(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L_1 \cdot \cos\alpha_1 + m_2 \cdot g \cdot L_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2); m_2 \cdot g \cdot L_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2)]; \quad (10)$$

$$H = [h_1 \ h_2]^T. \quad (11).$$

Интегрирование уравнений (7) – (11) следует производить только численными методами после их приведения к форме пространства состояний с использованием матрицы Якоби. Моделирование показало, что динамические процессы при повышении быстродействия системы могут существенно влиять на напряженное состояние элементов конструкции и их целесообразно использовать для введения ограничений в широком диапазоне вариации рабочих параметров и скоростных режимов. Большое разнообразие выбираемых траекторий и цикловых диаграмм с различными режимами работы приводов (с заданием траекторий, соответствующих максимальному быстродействию, циклограмм трапецеидальной формы и др.) требуют оперативного решения вопросов настройки и реализации режимов движения рабочего органа. При этом блоки ANFIS_1 и ANFIS_2 в модели играют роль инструмента, обеспечивающего решение проблемы на качественно новом уровне.

Таким образом, нейронная модель двухзвенного манипулятора позволяет при должном научном обосновании с требуемой для практики точностью построить траекторию движения спредера, определить скорости и ускорения всех элементов манипулятора в любой точке траектории.

Применение модели, обеспечивающей высокую точность аппроксимации траекторных процессов в нелинейной динамической системе (манипуляторе), дает возможность повысить безопасность работы портового перегрузочного оборудования за счет ограничений моментов и сил, возникающих в механизмах приводов звеньев в случаях повышения быстродействия манипулятора. Создание гибридной модели с использованием оператора ANFIS способствует существенному упрощению конструкции механизмов манипулятора и заданию режимов работы с помощью функции, широко используемой в современных интеллектуальных системах управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясницкий Л. Н. Искусственный интеллект и новые возможности компьютерного моделирования / Л. Н. Ясницкий // Вестник Пермского университета. Серия: Информационные системы и технологии. — 2005. — № 4. — С. 81–86.
2. Еремин Д. М. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления / Д. М. Еремин, И. Б. Гарцев. — М.: МИРЭА, 2004. — 75 с.
3. Ярушклина Н. Г. Современный интеллектуальный анализ нечетких временных рядов / Н. Г. Ярушклина // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. V-я Междунар. науч.-практ. конф. — 2007. — С. 19–29.
4. Чернодуб А. Н. Обзор методов нейроуправления / А. Н. Чернодуб, Д. А. Дзюба // Проблемы программирования. — 2011. — № 2. — С. 79–94.
5. Шмыков В. Г. Моделирование и автоматизация технологических процессов на водных путях / В. Г. Шмыков, В. В. Сахаров, С. В. Сабуров. — Котлас: Изд-во филиала «Дом печати – ВЯТКА», 2015. — 192 с.
6. Терехов В. А. Нейросетевые системы управления / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. — М.: Высшая школа, 2002. — 184 с.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
8. Калацкая Л. В. Организация и обучение искусственных нейронных сетей: экспериментальное учеб. пособие / Л. В. Калацкая, В. А. Новиков, В. С. Садов. — Минск: Изд-во БГУ, 2003. — 72 с.
9. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.
10. Сахаров В. В. Модели и алгоритмы оптимизации технологических процессов на объектах водного транспорта в среде MATLAB: монография / В. В. Сахаров, А. А. Кузьмин, А. А. Чертков. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 436 с.
11. Сахаров В. В. Слайн — метод экономичного управления расходом топлива на речных судах / В. В. Сахаров, А. А. Кузьмин, А. А. Чертков [и др.] // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 3(68). — С. 62–65.
12. Хакимов Б. Б. Моделирование корреляционных зависимостей сплайнами на примерах в геологии и экологии / Б. Б. Хакимов. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — 141 с.
13. Андрианов Е. Н. Модальный метод параметрического демпфирования динамической системы / Е. Н. Андрианов, В. В. Сахаров, А. Г. Таранин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2012. — № 4. — С. 56а–66.

TWO – LINK MANIPULATOR HYBRID NEURAL MODEL AS A PART OF PORT CARGO HANDLING EQUIPMENT

Two-link manipulator model that constructed on hybrid neural net with ANFIS blocks is considered. Blocs ANFIS intends for kinematic inverse to problem that insure working element moving on setting trajectory. Two-link manipulators are widely used in the reloading equipment in modern ports and transportation terminals. It is shown that implement hybrid net elements with a simple manner turn permits considerable to increase efficiency and quality of function manipulators with solution use based on fundamental theoretical artificial intellect systems states. Splines implements manipulator trajectory move. Model dynamic equations for two – link manipulator are considered. Model permits to estimate allow loads for ensure safety manipulator regimes.

Key words: manipulator, model, hybrid net, training selection, artificial intellect, spline, inverse kinematic task, moving trajectory.

REFERENCES

1. Jasnickyj, L. N. “Iskusstvennyj intellekt i novye vozmozhnosti komp’juternogo modelirovaniya.” *Vestnik Permskogo universiteta. Serija: Informacionnye sistemy i tehnologii* 4 (2005): 81–86.
2. Eremin, D. M., and I. B. Garceev. *Iskusstvennye nejronnye seti v intellektual’nyh sistemah upravlenija*. M.: MIRJeA, 2004.

3. Jarushkina, N. G. "Sovremennyj intellektual'nyj analiz nechetkih vremennyh rjadov." *Integrirovannye modeli i mjagkie vychislenija v iskusstvennom intellekte. V Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija*. 2007: 19–29.
4. Chernodub, A. N., and D. A. Dzjuba. "Obzor metodov nejroupravlenija." *Problemy programmirovanija* 2 (2011): 79–94.
5. Shmykov, V. G., V. V. Saharov, and S. V. Saburov. *Modelirovanie i avtomatizacija tehnologicheskikh processov na vodnyh putjah*. Kotlas.:Izd. filial «Dom pečati – VJaTKA», 2015.
6. Terehov, V. A., D. V. Efimov, and I. Ju. Tjukin. *Nejrosetevye sistemy upravlenija*. M.: Vysshaja shkola, 2002.
7. Hajkin, S. *Nejronnye seti: polnyj kurs (Neural Networks: A Comprehensive Foundation)*. 2 izd. M.: Viljams, 2006.
8. Kalackaja, L. V., V. A. Novikov, and V. S. Sadov. *Organizacija i obuchenie iskusstvennyh nejronnyh setej: Jeksperimental'noe ucheb. posobie*. Minsk: Izd-vo BGU, 2003.
9. Kruglov, V. V., M. I. Dli, and R. Ju. Golunov. *Nechetkaja logika i iskusstvennye nejronnye seti*. M.: Fizmatlit, 2001.
10. Saharov, V. V., A. A. Kuzmin, and A. A. Chertkov. *Modeli i algoritmy optimizacii tehnologicheskikh processov na obektah vodnogo transporta v srede MATLAB: monografija*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2015.
11. Saharov, V. V., A. A. Kuz'min, A. A. Chertkov, and D. S. Tormashev. "The spline-method of fuel consumption economical control on river ships." *River transport (XXIst century)* 3(68) (2014): 62–65.
12. Hakimov, B. B. *Modelirovanie korrelycionnyh zavisimostej splajnami na primerah v geologii i jekologii*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2003.
13. Andrianov, E. N., V. V. Saharov, and A. G. Taranin. "Modally damped parametric method for ship constructions." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 4 (2012): 56a–66 .

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вардомская Анна Александровна —
старший преподаватель.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
AnutaV9@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vardomskaia Anna Alexandrovna —
Senior lecturer.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
AnutaV9@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14 сентября 2015 г.

УДК 623.9

А. В. Кузьменко

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ БОРЬБОЙ ЗА ЖИВУЧЕСТЬ КОРАБЛЯ ПРИ КОМПЛЕКСНЫХ АВАРИЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье рассмотрен подход к управлению борьбой за живучесть корабля при комплексных аварийных ситуациях на основе методов ситуационного анализа и имитационного моделирования. При использовании экспертных систем, базирующихся на ситуационном выборе управленческих решений, процесс доступа к информации приводит к многошаговым процедурам диалога оператора с базой данных, неприемлемым в условиях дефицита времени на принятие решений и реальной аварии в силу ее быстротечности, которая, как правило, носит комплексный характер. Для повышения качества рекомендаций и эффективности принимаемых решений в ходе борьбы за живучесть корабля предлагается подход к построению системы информационной поддержки принятия решений, в котором механизм выбора управленческих решений осуществляется на базе имитационного моделирования потоков опасных событий и их последствий в комплексной аварийной ситуации на объекте. Правило выбора основывается на ситуационном анализе,