

УДК 539.3: 624.04: 681.51

ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО КЕРУВАННЯ КОНСТРУКЦІЯМИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ КРАНІВ

**Ю.В. Човнюк, доц., к.т.н., Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
М.Г. Діктерук, доц., к.т.н., К.І. Почка, доц., к.т.н.,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ**

Анотація. Наведено загальну варіаційну постановку задачі нейромережного керування конструкціями вантажопідйомних механізмів кранів. Для реалізації інтелектуальної системи автоматичного керування використані мехатронні пристрої із властивостями навчання (самонавчання).

Ключові слова: мехатронні системи, нейромережі, конструкції, вантажопідйомні механізми, крани.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЯМИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ КРАНОВ

**Ю.В. Човнюк, доц., к.т.н., Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев,
М.Г. Диктерук, доц., к.т.н., К.И. Почка, доц., к.т.н.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев**

Аннотация. Приведена общая вариационная постановка задачи нейросетевого управления конструкциями грузоподъемных механизмов кранов. Для реализации интеллектуальной системы автоматического управления использованы мехатронные устройства со свойствами обучаемости (самообучаемости).

Ключевые слова: мехатронные системы, нейросети, конструкции, грузоподъемные механизмы, краны.

USE OF MECHATRONIC SYSTEMS FOR NEURAL-NETWORK CONTROL OF CRANE LOAD-LIFTING MECHANISM STRUCTURES

**Yu. Chovnyuk, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc.,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv,
M. Dikteruk, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., K. Pochka, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc.,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv**

Abstract. A general variation problem-setting of neural-network control of crane load-lifting mechanism structures has been given. To realize the intellectual system of automatic control, mechatronic devices with learning ability (self-learning ability) have been used.

Key words: mechatronic system, neural network, structure, load-lifting mechanisms, cranes.

Вступ

Завдяки синтезу двох напрямів: нейроінформатики та керування конструкціями (механі-

змами підйому вантажу кранів, зокрема) виникла основа нового етапу еволюції конструкцій – нейрокеровані конструкції та пристрої (вантажопідйомні крани). Їх найважливіша

особливості полягає у можливостях навчання та врахуванні реальних властивостей конструкції. Нейрокеровані конструкції механізмів підйому вантажу кранів є різновидом інтелектуальних систем автоматичного керування і можуть називатися конструкціями, здатними до навчання/самонавчання.

На думку авторів даного дослідження, саме варіаційний підхід дозволяє встановити глибинні енергетичні зв'язки вказаних вище конструкцій, а також за новими сценаріями трактувати та практично організовувати нейрокеровані системи вантажопідйомних кранів. Він узгоджується із сучасною фізичною теорією керування і базується на безпосередньому врахуванні законів технічної та будівельної механіки, ресурсів та пріоритетів сучасного світу.

Аналіз публікацій

Розробки, присвячені нейромережному керуванню конструкціями, започатковані у роботах [1–3]. Вибір раціональної архітектури нейромереж для керування об'єктами наведений у [4], а створення мереж (нейромережних контрольно-керуючих приладів) здійснене у роботах [5, 6]. Результати зазначених вище робіт використані у даному дослідженні для обґрунтування задач нейрокерування вантажопідйомними механізмами кранів.

Мета і постановка задачі

Мета даної роботи полягає в обґрунтуванні загальної постановки задачі нейрокерування механізмами підйому вантажу кранів, яку доцільно ставити повністю для всієї керованої системи, щоб отримати кінцевий результат – керований вплив (на систему).

Застосування мехатронних систем для нейромережного керування

У роботі [3] задача нейрокерування ставилась окремо для нейронної мережі та здійснювалась шляхом попереднього навчання нейромережі на ПЕОМ доволі значної потужності з наступним перенесенням алгоритму функціонування навченої мережі у нейроконтролер мехатронної системи керування.

У даному дослідженні використано енергетичний підхід задля досягнення мети роботи. Нехай існує деякий механічний об'єкт (меха-

нізм підйому вантажу крана), енергія деформування якого $E(U_i, B)$, де U_i – переміщення у точках i , а B – деякі регульовані (підлаштовані) параметри керування, при функціонуванні прямує до мінімального значення. Тоді рівняння функціонування вказаного об'єкта записується у вигляді

$$\frac{\partial E}{\partial U_i} = 0. \quad (1)$$

Задля спрощення подальших міркувань граничні умови для рівняння (1) не обговорюються.

Введемо керування деформуванням об'єкта (конструкції) за допомогою актуаторів мехатронної системи (МС), які з'єднуються з нейромережним керуючим модулем. Для навчання нейромережі введемо функціонал оцінки $H(U_i)$, який описує відхилення дійсних переміщень об'єкта (надалі під цим терміном розуміємо механізм підйому вантажу крана) від бажаних. Згідно з нейромережним підходом навчання об'єкта буде полягати у мінімізації даного функціонала за допомогою зміни регульованих (підлаштовуваних) параметрів B . Тоді задача керування об'єктом зводиться до розв'язку рівняння (1), за умови виконання мінімізації функціонала оцінки $H(U_i)$. Цю невільну варіаційну задачу можна замінити еквівалентною вільною варіаційною задачею, використовуючи метод множників Лагранжа. Тоді функція Лагранжа буде мати такий вигляд

$$W = H(U_i) + \sum_i \mu_i \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial U_i} \right), \quad (2)$$

де μ_i – множники Лагранжа.

Тоді $\frac{\partial W}{\partial \mu_i} = \frac{\partial E}{\partial U_i} = 0$ – рівняння функціонування, а розв'язок рівняння $\frac{\partial W}{\partial U_k} = 0$ визначить множники Лагранжа μ_i , коли переміщення виміряні у точках k .

Диференціюючи функцію Лагранжа W за параметрами U_k , матимемо рівняння для множників Лагранжа

$$\frac{\partial W}{\partial U_k} = \frac{\partial H(U_i)}{\partial U_k} + \sum_i \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 E}{\partial U_i \cdot \partial U_k} \right) = 0. \quad (3)$$

До цих пір енергія деформування об'єкта та функціонування керуючого модуля розглядалися окремо. Розглянемо випадок, коли функціонування всієї системи «керований об'єкт – керуючий (мехатронний) модуль» може бути записане як мінімізація загальної енергії

$$\tilde{E} = E(U_i) + \varepsilon \cdot H(U_i). \quad (4)$$

Тут функцію $H(U_i)$ можна розглядати як функціонал оцінки з коефіцієнтом ε , який виражає ступінь нашого «невдоволення» поведінкою об'єкта, представленою як енергія системи керування цим об'єктом. Рівняння функціонування для цілісної системи можна записати у вигляді

$$\frac{\partial \tilde{E}}{\partial U_i} + \varepsilon \cdot \frac{\partial H}{\partial U_i} = 0. \quad (5)$$

Якщо $\varepsilon = 0$, тоді маємо розглянутий вище випадок. Розглянемо випадок, коли ε має мале значення (тобто $\varepsilon \rightarrow 0$, $\varepsilon \ll 1$). Диференціюючи (5), отримаємо тотожність

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left(\frac{\partial \tilde{E}}{\partial U_i} + \varepsilon \cdot \frac{\partial H}{\partial U_i} \right) = 0. \quad (6)$$

Використовуючи правила диференціювання суперпозиції функцій багатьох змінних і розглядаючи U_i як функції ε , матимемо для похідних при $\varepsilon = 0$

$$\left. \frac{\partial H}{\partial U_i} \right|_{\varepsilon=0} + \sum_k \left(\frac{\partial^2 E}{\partial U_i \cdot \partial U_k} \right) \cdot \left(\frac{dU_k}{d\varepsilon} \right) \Big|_{\varepsilon=0} = 0. \quad (7)$$

Порівнюючи (3) та (7), матимемо

$$\mu_i = \left. \frac{dU_i}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0}. \quad (8)$$

Згідно з (8), якщо U_i – деякі переміщення, тоді ми маємо можливість, діючи на об'єкт, наприклад – на конструкцію механізму підйому вантажу крана, фізично виміряти множники Лагранжа як зміни переміщень у деяких точках, після цього відповідно змінити

підлаштовувати параметри керування (зробити крок навчання). У результаті реагування об'єкта на зовнішні впливи зміниться у бік зменшення функціонала оцінки.

Відомо [7], що у теорії нейромереж процедура навчання багато у чому полягає у знаходженні множників Лагранжа. Саме тут існує можливість вимірювати множники Лагранжа безпосередньо на конструкції за допомогою датчиків, після чого відповідно змінювати підлаштовувати параметри системи. Останнє є доволі простою процедурою, яку легко реалізувати як у цифровому, так і в аналоговому варіанті.

Вказаний підхід відрізняється від [3], де окремо існують власне керована конструкція з актуаторами МС та керована нейромережа (у нейронконтролері МС), тим, що тут нейромережа окремо не будується, а замість неї використовується сама механічна конструкція (її конструкція та зв'язки), на якій проводять експерименти і навчання (з вимірюванням множників Лагранжа та зі зміною підлаштовуваних параметрів керування).

Для реалізації такого навчання у контрольних перерізах балки (мостового крана), яка є елементом механізму підйому вантажу крана, у точках k тимчасово (на період навчання) розміщуються допоміжні пристрої, що здійснюють (реалізують) функції вимірювання переміщень та створення додаткових навантажень (пропорційних переміщенням). Існують датчики і у точках i , де розміщені керуючі актуатори. Результат навчання (підлаштовувано параметри керування) розміщуються у керуючому модулі (наприклад, у мікросхемі МС), який подає керуючі сигнали на актуатори конструкції, тобто здійснює керування її деформуванням за різноманітних зовнішніх впливів на неї.

Після навчання допоміжні пристрої можуть бути видалені (зняті). Якщо поставлено задачу додаткового навчання конструкції у процесі експлуатації, тоді допоміжні пристрої продовжують використовувати.

Кожний цикл навчання складається з таких кроків:

Крок 1. Вплив зовнішнього навантаження на конструкцію. Вимірювання переміщень (прогинів) у точках k . При цьому керуючі актуа-

тори у точках i працюють відповідно до наявних на даний момент підлаштовуваних параметрів керування.

Крок 2. Прикладання у точках k допоміжного навантаження, пропорційного переміщенням, що були виміряні.

Крок 3. Вимірювання у точках i переміщень, що використовуються як множники Лагранжа μ_i .

Крок 4. Зміна підлаштовуваних параметрів керування з використанням вимірюваних μ_i .

Кількість циклів навчання визначається критеріями керування. Розглянемо далі приклад конструкції механізму підйому вантажу крана, що навчається. Як ілюстрації замість фізичного експерименту зроблено комп'ютерну імітацію конструкції, що коливається, з використанням наведеного вище підходу (на прикладі балки мостового крана).

У даному випадку процедура функціонування є програмною імітацією прямого експерименту на конструкції, у результаті якого вимірюються переміщення у точках, де існують датчики. За цими переміщеннями визначається функціонал оцінки. Процедура двоїстого функціонування є програмною імітацією двоїстого експерименту, в якому здійснюються додаткові малі впливи на конструкцію у точках, де визначався функціонал оцінки, та вимірюються переміщення у точках, де існують актуатори МС (множники Лагранжа). Після того, як ми виміряли множники Лагранжа, доволі легко здійснити модифікацію підлаштовуваних параметрів.

Програму для комп'ютерної імітації виконано у середовищі EXCEL мовою Visual Basic. У даному ілюстративному прикладі експериментальне визначення переміщень за допомогою датчиків замінюється на розв'язок системи лінійних рівнянь методом Жордана.

Після кількох циклів навчання (приблизно десяти) помилка функціонування системи зменшилась у 9 разів за рахунок імітації роботи навчених актуаторів. Відповідно зменшились прогини балки у порівнянні з балкою (мостового крана) без керування.

Висновки

Запропонована варіаційна енергетична постановка задачі нейрокерування (механізмом підйому вантажу крана) для всієї системи (яка включає у себе і вантажний візок, розміщений на балці мостового крана) відкриває нові можливості органічного вбудування нейромережі у керовану конструкцію. При цьому можлива заміна частини нейромережного алгоритму навчання фізичним експериментом. Процедура двоїстого функціонування, у результаті якого визначаються множники Лагранжа, необхідні для навчання, може бути замінена двоїстим експериментом, що є спеціально організованими тестовими впливами на конструкцію, у результаті якого множники Лагранжа вимірюються безпосередньо на конструкції за допомогою датчиків.

Визначено фізичний зміст множників Лагранжа для нейрокерованих конструкцій, яким у розглянутому випадку є переміщення, що вимірюються у точках розміщення основних актуаторів МС, від допоміжних/додаткових впливів мікроактуаторів, розміщених у точках вимірювання переміщень конструкції, що виникають у відповідь на зовнішні впливи.

При використанні даного підходу реалізується повне врахування реальних властивостей конструкції механізму підйому вантажу (мостових кранів) при навчанні. Нейромережа настільки органічно вписана у конструкцію, що на рівні зв'язків між елементами нейромережі є конструкцією, а конструкція – нейромережею. Велике практичне значення має можливість розпаралелювання тестових впливів (вони здійснюються одночасно у всіх критичних точках конструкції).

Автори дослідження схильні розглядати запропонований підхід як один з перших кроків до створення нейрокерованих конструкцій механізмів підйому вантажу кранів (з мехатронними системами керування), здатних до самонавчання та діючих аналогічно живим організмам.

Література

1. Абовский Н.П. Управляемые конструкции и нейроподобные системы / Н.П. Абовский // Нейроинформатика и её приложения: тезисы докладов VI Всероссий-

- ского семинара. – Красноярск, 1998. – С. 38–42.
2. Автоматическое управление конструкциями с помощью нейронных сетей. / Н.П. Абовский, П.С. Абросимов, В.Б. Бабанин и др. – Красноярск: КрасГАСА, 1997. – 88 с.
 3. Абовский Н.П. Управление конструкциями с использованием нейронных сетей / Н.П. Абовский, Л.Г. Смолянинова // Известия вузов. Строительство. – 1988. – № 7. – С. 66–69.
 4. Абовский Н.П. Принцип привязки архитектуры к структуре объекта при нейросетевом управлении / Н.П. Абовский, В.А. Охонин, Л.Г. Смолянинова // Нейроинформатика и её приложения: доклады V Всероссийского семинара. – Красноярск, 1997. – С. 23–28.
 5. Пат. 97107519 Российская Федерация, G 01 L1/00. Способ автоматического управления несущей способностью многопролётной неразрезной балки и устройство для его реализации / Абовский Н.П., Бабанин В.Б., Смолянинова Л.Г.; заявитель и патентообладатель Красноярская государственная архитектурно-строительная академия. – №2122188; заявл. 05.05.97; опубл. 20.11.98.
 6. Абовский Н.П. Нейросетевые контрольно-управляющие приборы / Н.П. Абовский, В.Б. Бабанин, Л.Г. Смолянинова // Нейроинформатика и её приложения: тезисы докладов V Всероссийского семинара. – Красноярск, 1997. – С. 42–46.
 7. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А.Н. Горбань, Д.А. Россиев. – Новосибирск: Наука, 1996. – С. 73–76.
- Рецензент: О.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья надійшла до редакції 28 квітня 2014 р.
-