

методи малоефективні через відсутність знання про об'єкт керування. При реалізації нечітких моделей виникає проблема задавання числа вхідних і вихідних нечітких змінних, числа нечітких і лінгвістичних правил, числа термів відповідних нечітких і лінгвістичних змінних, координат модальних значень на осях вхідних і вихідних нечітких змінних, числа нейронів у ШНМ, що забезпечують гарантовану точність реалізації моделі, процесів моделювання і керування. На даний час відсутні методи визначення складності моделей залежно від заданої точності їхньої реалізації. У роботі [1], наприклад, при реалізації нечіткої продукційної моделі число термів вхідних і вихідних змінних рекомендується вибирати від 5 до 7, із посиланням на дослідження із психології (людина із середніми здібностями може одночасно зберігати в пам'яті від 5 до 9 інформаційних гранул (термів)). Однак ці рекомендації і

формули не мінімізують число термів нечітких змінних або число нейронів у проміжному шарі ШНМ залежно від необхідної точності реалізації моделі.

Модель системи визначається у вигляді відрізків прямих ліній, що проходять через точки з координатами x_1, y_1 і x_2, y_2 , заданими таблицею лінгвістичних правил, що знаходяться на кривій другого порядку. Тобто йдеться про апроксимацію кривої другого порядку відрізками прямих, що проходять через дві точки з координатами x_1, y_1 і x_2, y_2 кривої із заданою максимальною похибкою Δ_{\max} . У таблиці наведено залежність числа необхідних ділянок апроксимації n і числа термів m нечітких змінних від заданої у відсотках похибки апроксимації Δ_{\max} .

Список використаних джерел

1. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат. - М. : Бинном, 2009. – 798 с.

$\Delta^2_{\max}, \%$	0.5^2	0.25^2	0.15^2	0.125^2	0.1^2	0.05^2	0.025^2
n	1	2	3	4	5	10	20
m	2	3	4	5	6	11	21

УДК 656.2:004

Т. Г. Петренко

ПОБУДОВА МОДЕЛІ РОЗУМНОГО ВАГОНА ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

T. Petrenko

CONSTRUCTION OF A SMART RAIL CAR MODEL BASED ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Сучасна система залізничного транспорту (Railway Transport System – RTS) – це об'єднання цифрових технологій і фізичної інфраструктури. Взаємодія підсистем та елементів RTS є складною. Способи вирішення складності полягають у моделюванні різних точок зору на RTS.

Технологія цифрового двійника (Digital Twin – DT) дозволяє побудувати симулятивні програмні моделі елементів RTS та інтегрувати їх у підсистеми більш високого рівня. Кожна симулятивна модель подається як сукупність інтелектуальних моделей та даних. Підхід DT забезпечує

розуміння процесів функціонування RTS ще до її фізичної реалізації.

У роботі наведено модель розумного вагона як DT сучасного вагона. Розумний вагон, як елемент розумного поїзда, має підсистеми: речей (фізичні об'єкти, які включають до себе сенсори й актуатори), мережевої, хмарової інфраструктур і шлюзів. Перераховані підсистеми забезпечують архітектуру Інтернету Речей (Internet of Things – IoT) розумного вагона. DT технологія, у свою чергу, забезпечує побудову програмної системи, яка дозволяє моделювати середовище та життєві цикли об'єктів у їх фізичному середовищі (за допомогою хмар), адаптуючи моделі до середовища, що змінюється. Основними напрямками DT технології для побудови

моделі розумного вагона є збір та аналітика даних від сенсорів, віртуальне прототипування, передбачення аварійних ситуацій.

Аналітика даних від сенсорів у моделі розумного вагона виконується на першому етапі за допомогою мікропроцесорів у реальному часі. Другий етап – обробка даних засобами штучного інтелекту (нечіткої логіки) з метою виявлення тенденцій та вузьких місць системи. У роботі також використовується система Watson компанії IBM, яка дозволяє аналізувати дані, що розміщуються у хмарі.

DT технологія забезпечує цифрову трансформацію сучасного залізничного вагона до його цифрового двійника – моделі розумного вагона.

УДК 004.822

О. І. Іванюк

ОБРОБКА ПЕРВИННИХ СЕНСОРНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ У ГРАНУЛЯРНИХ СТРУКТУРАХ

О. Ivaniuk

PROCESSING OF RAW SENSORY DATA FOR PRESENTATION IN GRANULAR STRUCTURES

Гранулярна структура (GS) – модель подання знань і метод обробки даних, заснований на принципах абстрагування та категоризації [1]. Ключовим поняттям GS є інформаційна гранула (IG) – порція знань, що описує ситуацію. GS являє собою багаторівневий граф, де вершини нульового рівня – IG, що описують значення сенсорних даних, а вершини вищих рівнів – IG, що описують дані різного рівня абстрагування.

Кожна IG характеризується нечіткою характеристикою та швидкістю старіння інформації $v \in [0, 1]$.

У доповіді розглядається метод формування IG нульового рівня. На нульовому рівні GS виконується

гранулювання первинних сенсорних даних. Сенсорам ставиться у відповідність множина IG, кожна з яких відповідає певному інтервалу значень з діапазону можливих показань сенсора. Розмір IG доцільно визначати на основі технічних характеристик сенсора, враховуючи похибку вимірювання.

Гранулювання діапазону сенсорних значень розглянуто на прикладі сенсора вологості і температури DHT11. З технічного опису отримано діапазон вимірювання вологості 20-80 % із похибкою ± 5 %, діапазон вимірювання температури 0-50 °C із похибкою ± 2 °C. Визначено кількість IG для кожної з вимірюваних величин: