

ВІДГУК

рецензента доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Алексеєва Михайла Олександровича на дисертаційну роботу Колисниченка Іллі Юрійовича «Автоматизація процесу ваговимірювання рухомих залізничних об'єктів», представлену до захисту в разову спеціалізовану раду на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування

Актуальність теми. Під час транспортування вантажу між підприємствами, ключовим завданням є максимальна точність ідентифікація та зважування, оскільки від них залежить точність кінцевого розрахунку.

Ці процеси забирають багато часу, а у випадку виникнення збоїв, які часто відбуваються через присутність людського фактору, призводять до необхідності переважування усіх вагонів у рухомому складі.

Створення універсальної системи ідентифікації та зважування рухомих об'єктів, яка дозволить мінімізувати похибку ідентифікації та зважування, при цьому пришвидшивши швидкість обчислення є актуальною тематикою та може широко використовуватись підприємствами при впровадженні таких систем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи поставлена задача зменшення часу зважування залізничних вагонів та збільшення точності класифікації рухомих об'єктів за рахунок виявлення нових залежностей інформаційних ознак від конструктивних параметрів вагонів.

Для досягнення поставлених задач в роботі сформульовані наступні завдання:

– виконання аналізу процесу зважування залізничних вагонів з позиції класифікації їх типів на основі аналізу сигналу з ваговимірювальної платформи, а також відомих алгоритмів класифікації;

- виконання дослідження точності класифікації типів залізничних вагонів від параметрів алгоритму фрагментації сигналу з ваговимірювальної платформи;
- дослідження типів та параметрів апроксимуючих функцій з метою мінімізації похибки апроксимації експериментальних епюр, отриманих з тензовимірювальної платформи;
- дослідження залежностей точності класифікації вагонів від різних ситуацій за умови проїзду вагону через ваговимірювальну платформу (зміна швидкості потяга, вібрації, шуми в сигналі).
- обґрунтування вибору елементів алгоритму класифікації типів залізничних вагонів
- дослідження роботи системи автоматизації процесу обліку залізничних вагонів за умови використання запропонованого алгоритму класифікації типу вагонів з метою підтвердження його ефективності.
- проведення експериментальних досліджень та оцінка ефективності розробленого метода класифікації вагонів та програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше сформульована умова досягнення максимальної точності класифікації типів залізничних вагонів, яка полягає у використанні функції Гевісайда при апроксимації експериментальних епюр тензометричних систем за умови підготовки вхідних даних для навчання системи.

2. Вперше запропонований метод фрагментації сигналу з ваговимірювальної платформи на основі епюр проїзду вагонів, який дозволяє на основі таких характеристик, як співвідношення бази вагона до довжини вагона між автозчепленнями та вісність кожному фрагменту сигналу зіставити певну ділянку проїзду потяга, що є необхідною умовою підготовки даних для ефективного навчання системи.

3. Вперше запропонований метод класифікації типів залізничних вагонів за такими характеристиками, як співвідношення довжини вагона до бази вагона, вісність, вага, кількість візків. В основі цього методу закладено використання набору характеристик рухомого залізничного об'єкту, комбінації

яких є унікальною для різних моделей вагону, при цьому усунута залежність результатів від швидкості проїзду вагонів шляхом виконання нормалізації даних за тензометричними показаннями та часом, що дозволяє підвищити пропускну спроможність ваговимірювальних систем підприємств.

4. Вперше запропонований алгоритм визначення додаткового інформаційного критерію для класифікації типів вагонів на основі співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленням. В основі алгоритму покладено виконання сегментації та кластеризації даних наступним чином – база вагона визначається як відстань між серединою двох візків, а довжина вагона між автозчепленнями - як середня відстань між візками до середини автозчеплення. Додатковий критерій дозволяє виконати класифікацію вагонів у випадку ідентичності решти критеріїв.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів підтверджується: коректністю постановки та вирішення задач; застосуванням сучасних методів штучного інтелекту та математичного моделювання; результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень; впровадженні результатів на підприємствах.

Практичне значення одержаних результатів.

Підвищення точності та швидкості ідентифікації вагона у цілому, а також можливість ідентифікувати тип вагона з однаковою кількістю осей у залізничному складі, зменшує час простою підприємства, що сприяє збільшенню кількості зважених та ідентифікованих рухомих об'єктів. Методи, наведені у дисертаційній роботі, можуть бути використанні як для ідентифікації, так і для задач, кінцевим результатом яких є класифікація вхідних даних.

Результати реалізації системи впровадженні на підприємствах: ТОВ «Компанія «Ваговимірювальні системи»» та ТОВ «Дніпровський ваговий завод».

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на 1 міжнародній науково-технічній та 1 Всеукраїнській науково-практичній конференціях.

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 6 друкованих робіт, зокрема 4 у наукових фахових виданнях, 1 в матеріалах науково-технічної конференції з індексацією у наукометричній базі Scopus, 1 в матеріалах науково-технічних конференцій.

Особистий внесок автора. Всі основні наукові положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Автор здійснював експериментальне визначення вагових коефіцієнтів та робив розрахунки даних проїзду рухомих об'єктів через тензометричні платформи на підприємствах, брав участь у аналізі та обробці результатів експериментальних даних, налаштуванні тензометричних систем. Здійснював дослідження та апроксимацію динамічних сигналів тензометричних систем. Розробив алгоритмічне рішення та реалізував його у вигляді програмного забезпечення для наближення функцій до експериментальних даних, провів експериментальне порівняння реальних та відновлених даних. Спроектував та реалізував у вигляді програмного забезпечення згорткову нейронну мережу, яка розпізнає дані, отримані у реальному часі з тензометричних систем за категоріями рухомих залізничних об'єктів

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків, викладених на 143 сторінках машинописного тексту, ілюстрованого рисунками. Робота містить 10 таблиць, список використаної джерел із 107 і 1 додатку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи обґрунтована актуальність проведення даного дослідження, сформульовані основна мета та завдання дослідження. Також визначена новизна отриманих результатів та їх практична цінність. У розділі вказано, які заходи були проведені для апробації одержаних результатів та наведено кількість наукових публікацій, присвячених темі дисертаційної роботи. Підкреслено особистий внесок автора у проведенні дослідження.

Перший розділ

В результаті аналізу існуючих систем та наукових робіт стосовно ідентифікації та зважування залізничних рухомих об'єктів сформульовані наступні проблеми:

1. **Недостатня точність:** Багато існуючих систем зважування вантажів не забезпечують необхідної точності. Це особливо стосується випадків, коли користувач порушує рекомендації, надані розробниками, такі як швидкість руху об'єкта в межах 3-12 км/год та відсутність дефектів колісних пар. При порушенні цих рекомендацій точність ідентифікації вагонів суттєво знижується.
2. **Відсутність обробки даних у реальному часі:** Багато існуючих систем не здатні обробляти дані в режимі реального часу, що обмежує їхню ефективність у вимірюванні та ідентифікації рухомих об'єктів у русі.
3. **Обмеженість систем:** Деякі існуючі системи зважування вимагають наявності конкретних шаблонів проїзду вагонів через певну систему, яку було налаштовано, або використання додаткових систем окрім тензометричної.

Ці недоліки призводять до зниження продуктивності процесів зважування вантажів в русі та обмежують їхню ефективність.

По результатам аналізу у розділі сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі проведено аналіз епюр проїзду різних типів рухомих об'єктів. У результаті апроксимації емпіричних даних поліномами отримано систему рівнянь, що описує проїзд 1-го візка 4-хвісного локомотива через 1-ну платформну вагову платформу.

Використавши числові методи при обробці експериментальних даних, отриманих з тензометричних систем, а саме наближення функцією Гевісайда з подальшим накладанням шуму, отримано алгоритм апроксимації проїзду автозчеплень для різних комбінацій візків та візків вагонів окремо

Використавши нормалізацію даних датчиків за часом, уникнено залежності кінцевих результатів від швидкості проїзду вагону, висловивши у процентному

співвідношенні залежність перебування осей вагону на ваговій платформі, що дало змогу ідентифікувати різні типи вагонів з однаковою вісністю, але різними характеристиками база вагону, база візку, використовуючи співвідношення часу перебування осей на ваговій платформі.

Третій розділ присвячений аналізу алгоритмів штучного інтелекту для вирішення задач ідентифікації, а також побудові моделі згорткової нейронної мережі, для вирішення завдання категоризації візків та автозчеплень, яка показала результат розпізнавання на тестових даних – 100%.

У четвертому розділі реалізовано алгоритм ідентифікації та зважування вагонів у русі з використанням таких методів машинного навчання, як згорткові нейронні сітки, алгоритми кластеризації та сегментації.

Розроблено алгоритм визначення додаткового інформаційного критерію для класифікації типів вагонів на основі співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленням. В основі алгоритму покладено виконання сегментації та кластеризації даних наступним чином – база вагона визначається як відстань між серединою двох візків, а довжина вагона між автозчепленнями - як середня відстань між візками до середини автозчеплення. Додатковий критерій дозволяє виконати класифікацію вагонів у випадку ідентичності решти критеріїв.

Використовуючи ваговий коефіцієнт для конкретної тензометричної системи, під час калібрування ваг, отримано залежність ваги вагону від його типу та маси кожної с осей.

Експериментальна перевірка розроблених моделей ідентифікації проїзду рухомого складу через одноплатформні залізничні ваги на основі згорткових нейронних мереж, кластеризації показала, що, використовуючи унікальні характеристики вагону, при зважуванні рухомих об'єктів у реальному часі похибка вимірювання зменшується в порівнянні з існуючими системами на 3-7%, в залежності від налаштувань тензометричної системи та швидкості проїзду рухомого складу.

Зауваження та пропозиції

Дисертація містить незначні зауваження та дискусійні положення:

У першій главі, розділ 1.1.2 описано використання ГОСТ 30414-96, але не описується, про що саме цей ГОСТ, та чи доцільне його використання з а оцінки класу точності. Необхідно надати більше опису цього документу;

У частини малюнків(2.3 - 2.6, 2.9, 2.10, 2.18 - 2.20) відсутні підписи осей, що не дає у повному обсязі зрозуміти сутність значень, які описані на графіках;

При розробці алгоритму ідентифікації типу рухомого об'єкту наведено, що використовується кількість епох для загорткової нейронної мережі, але відсутні опис, як саме було обрано саме 25 епох, чи достатньо такої кількості, як змінюється якість розпізнавання зі збільшенням чи зменшенням цього значення;

На малюнку 4.11 наведено графік, побудований на основі тестових даних, емітуючи некоректно налаштовану тензометричну систему. Доречно додати опис некоректності налаштування, додати декілька варіантів налаштувань та зробити порівняльний аналіз результатів.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності функціонування систем ідентифікації та зважування рухомих залізничних об'єктів. Наявність зауважень не змінює позитивного висновку стосовно дисертаційної роботи. За своєю актуальністю, новизною постановки та вирішенню поставленого завдання, теоретичною та практичною значущістю робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рушення разової вченої ради закладу вищою освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії Постановки Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а автор дисертаційного дослідження Колисниченко Ілля Юрійович заслуговує на присудження наукового ступеня

доктора філософії за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування.

Рецензент, доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем,
НТУ «Дніпровська політехніка»

Михайло АЛЕКСЄВ