

СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ЧАДНОГО ГАЗУ НА ОСНОВІ БЕЗДРОТОВОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА КОНЦЕНТРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі запропоновано модель з використанням випадкового лісу для системи виявлення чадного газу на основі бездротового оптико-електронного сенсора концентрації. В певному середовищі, яке може бути небезпечним для людини, розміщується сенсор, який дистанційно передає інформацію про концентрацію газу на комп'ютер, де за допомогою машинного навчання відбувається обробка отриманої інформації. В якості методів машинного навчання запропоновано використати метод випадкового лісу, оскільки він забезпечує високу точність в умовах неоднорідних даних та складних нелінійностей, добре працює з мінімальним тонким налаштуванням гіперпараметрів, має високу інтерпретованість, стійкість та гнучність і найбільше підходить для виявлення чадного газу. Також в роботі запропоновано використовувати модель випадкового лісу для обробки даних бездротового оптико-електронного сенсора концентрації чадного газу. Дослідження запропонованої моделі виявлення чадного газу на основі випадкового лісу було проведено шляхом моделювання, під час якого оцінювались точність навчання та перевірки моделі, чутливість, F-оцінка, ефективність, побудовано матрицю сплутаності за класами, а також дано оцінку важливості ознак.

Ключові слова: чадний газ, оптико-електронний сенсор, концентрація, машинне навчання, метод випадковий ліс.

Abstract

The paper proposes a model using a random forest for a carbon monoxide detection system based on a wireless optoelectronic concentration sensor. In a certain environment that may be dangerous for humans, a sensor is placed that remotely transmits information about the gas concentration to a computer, where the information obtained is processed using machine learning. As a machine learning method, it is proposed to use the random forest method, since it provides high accuracy in conditions of heterogeneous data and complex nonlinearities, works well with minimal fine-tuning of hyperparameters, has high interpretability, stability and flexibility and is most suitable for carbon monoxide detection. The paper also proposes to use a random forest model for data processing of a wireless optoelectronic carbon monoxide concentration sensor. The study of the proposed carbon monoxide detection model based on a random forest was conducted through simulation, during which the accuracy of model training and validation, sensitivity, F-score, efficiency were evaluated, a confusion matrix was constructed by classes, and the importance of features was assessed.

Keywords: carbon monoxide, optoelectronic sensor, concentration, machine learning, random forest method.

Вступ

На сьогодні в багатьох галузях техніки існують різноманітні методи дослідження газів, які дають змогу визначити їх фізичні параметри, такі як густина, концентрація, вміст домішок, кількісний склад тощо. Серед них важливим параметром є концентрація. На базі методів контролю концентрації газу створено широку класифікацію різних сенсорів, датчиків, газоаналізаторів і систем, які дають змогу вимірювати концентрацію тих чи інших газів і їх сполук в різних середовищах.

Серед газів, виявлення та контроль яких є дуже важливим, помітне місце посідає чадний газ. Це надзвичайно отруйний газ, який впливає на організм людини навіть у невеликих концентраціях. Він може утворюватися, накопичуватися та поширюватися в побутових умовах, в котельних, газогенераторних, доменних, мартенівських і ливарних цехах, у вугільних шахтах, у транспортних засобах при включеному двигуні, кабінах літаків, гаражах, у хімічній промисловості під час синтезу деяких речовин тощо [1].

Таким чином, ефективне виявлення та, відповідно, реагування на появу чадного газу є надзвичайно важливою задачею. Це сприяло до розвитку ефективних систем виявлення та раннього попередження про появу чадного газу. Серед таких є рішення, які поєднують сенсори з нейронними

мережами чи алгоритмами машинного навчання, що дозволяє здійснювати надійне та інтелектуальне виявлення чадного газу через вимірювання його концентрації в динамічних умовах.

Тому метою роботи є підвищення точності виявлення чадного газу шляхом розробки моделі з використанням машинного навчання для системи виявлення чадного газу на основі бездротового оптико-електронного сенсора концентрації.

Результати дослідження

В роботі запропоновано модель виявлення чадного газу на основі випадкового лісу, яка обробляє дані з модифікованого оптичного сенсора концентрації [2] чадного газу. Її дослідження було проведено шляхом моделювання, під час якого оцінювались точність навчання та перевірки моделі, чутливість, F -оцінка, ефективність, побудовано матрицю сплутаності за класами, а також дано оцінку важливості ознак. Для кожного з 5 класів модель демонструє високу ефективність, однак значення цих показників варіюється залежно від класу (табл. 1).

Таблиця 1– Показники ефективності для класів запропонованої моделі випадкового лісу

Номер класу	Показники ефективності		
	Точність	Чутливість	F -оцінка
0	0,854	0,960	0,904
1	0,916	0,827	0,869
2	0,973	0,964	0,969
3	1,000	0,973	0,986
4	0,991	1,000	0,996

Як видно з таблиці, значення точності, чутливості та F -оцінки є досить значними, що вказує на високу ефективність запропонованої моделі випадкового лісу. У класах з малими значеннями концентрації точність дещо менша через більший вплив шумів та завад. Для класів 0 (відсутність чадного газу) та 1 (незначна концентрація) модель добре виявляє цей клас, але деякі з інших класів помилково відносить до нього. Для класів 2 (середня концентрація), 3 (висока концентрація) та 4 (дуже висока концентрація) відбувається втрата невеликої частини правильно виявлених випадків цього класу. Таким чином, модель краще виявляє чадний газ при зростанні значення його концентрації.

На рис. 1 показано побудовану матрицю сплутаності на основі передбачених і фактичних міток.



Рис. 1. Матриця сплутаності для моделі випадкових лісів за 5 класами

Як видно з рисунку, найбільші помилки спостерігаються при малих концентраціях, що відповідає

класам «немає» та «незначна». Це пов'язано з тим, що при малих значеннях більший вплив похибки сенсора. Найбільш точне виявлення чадного газу відбувається при великих значеннях концентрації. Загалом, матриця підтвердила, що для деяких класів (наприклад, плутання «немає» з «дуже висока») грубих помилок практично не спостерігається. Це свідчить про надійність моделі в умовах виявлення та вимірювання концентрації чадного газу у реальних середовищах.

На рис. 2 показано графіки навчання та перевірки моделі, які показують зміну її точності на навчальних і перевіірочних даних із зростанням кількості вимірювань.

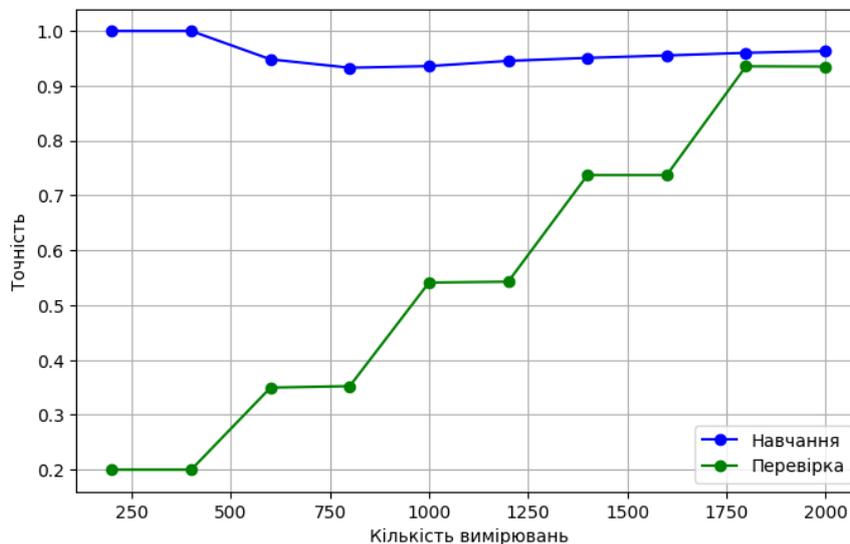


Рис. 2. Графік точності навчання та перевірки моделі

Як видно з рисунку, графік точності для навчальної вибірки є високим при менших обсягах даних, потім знижується, після чого відбувається корекція значень, що веде до певної стабілізації. Графік точності для перевіірочної вибірки поступово зростає наздоганяючи графік точності для навчальної вибірки на великих обсягах даних. Це показує, що модель добре узагальнює та не потребує значної кількості додаткових вимірювань для стабільного навчання.

На рис. 3 показано графік робочих характеристик моделі (ROC-кривих) та обраховані для кожного класу площі під графіком (AUC).

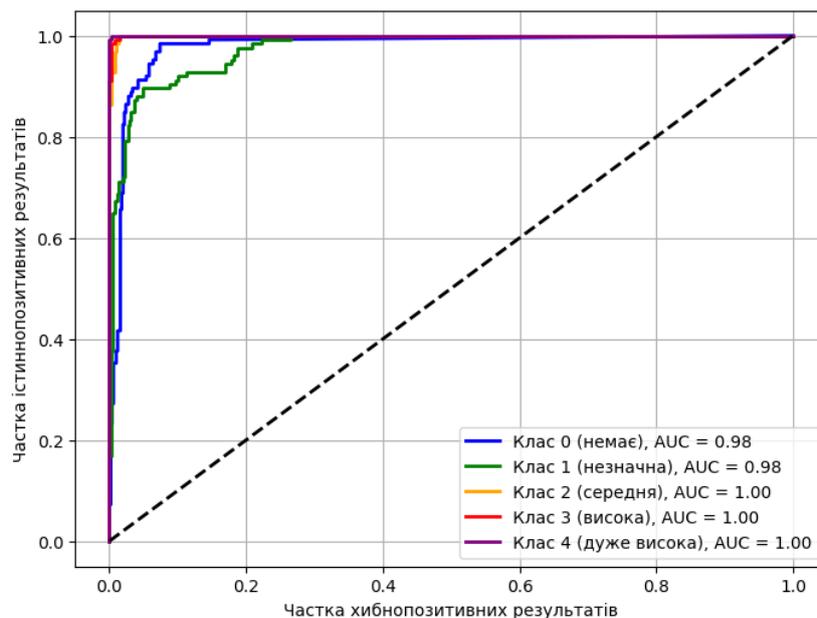


Рис. 3. Графік ROC-кривих моделі

Як видно з рисунку, обчислене значення AUC дозволяє кількісно оцінити здатність моделі розрізняти зразки з та без відповідного рівня концентрації чадного газу. Усі побудовані криві знаходяться вище діагоналі випадкового класифікатора, що свідчить про хорошу якість моделі. Також наведено усереднене по класах значення AUC (macro-average AUC), яке складає 0,99, та усереднене значення AUC з врахуванням ваги кожного класу (micro-average AUC), яке складає 0,995. Вони показують загальну здатність моделі класифікувати дані з урахуванням балансу по класах. Високі значення цих метрик підтверджують ефективність запропонованої моделі виявлення чадного газу відповідно до класів його концентрації.

Висновки

В роботі запропоновано модель з використанням випадкового лісу для системи виявлення чадного газу на основі бездротового оптико-електронного сенсора концентрації. Дослідження запропонованої моделі виявлення чадного газу на основі випадкового лісу було проведено шляхом моделювання, під час якого оцінювались точність навчання та перевірки моделі, чутливість, F -оцінка, ефективність, побудовано матрицю сплутаності за класами, а також дано оцінку важливості ознак. В процесі навчання та перевірки запропонованої моделі було отримано такі характеристики: середня точність виявлення чадного газу на перевірочній вибірці склала близько 0,947; збалансованість класів забезпечена розподілом даних по 400 прикладах на кожен клас (всього 2000 прикладів); macro-average AUC склало близько 0,99; micro-average AUC склало близько 0,995; чутливість та F -оцінка склала близько 0,945; отримана матриця сплутаності показала, що більшість помилок виявлення чадного газу відбуваються на сусідніх класах при малих концентраціях, що ймовірно пов'язано з впливом завад на значення приймачів інфрачервоного випромінювання. На основі отриманих характеристик було встановлено, що запропонована модель демонструє надійність і точність для задачі виявлення чадного газу на основі сенсорних даних. Окрім точності, модель також продемонструвала хорошу стійкість до шумів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Небезпека отруєння чадним газом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/1021-nebezpeka-otruennya-chadnim-gazom/> (дата звернення: 03.10.2025).
2. Пат. 68725 UA, МПК G01N 21/01. Оптичний сенсор концентрації газу [Текст] / Б. П. Книш, Й. Й. Білинський (Україна). - № u201110898 ; заявл. 12.09.2011 ; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. – 5 с.

Книш Богдан Петрович – канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Knysch Bogdan P. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tutmos-3@i.ua.