

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується невідомим зростанням обсягів візуальних даних і ускладненням задач, що ставляться перед системами автоматичного аналізу зображень. Ефективність роботи таких систем визначається не лише архітектурою застосовуваних моделей машинного навчання, але й способом подання та відбору вхідних ознак. Цифрові зображення характеризуються високою розмірністю простору ознак та значною кореляцією між сусідніми пікселями, що породжує проблему інформаційної надлишковості. У цих умовах якість процесу формування підмножин ознак безпосередньо впливає на стабільність навчання, відтворюваність експериментів та узагальнювальну здатність побудованих моделей. Поширені стохастичні методи вибору ознак, до яких належать механізм випадкового вимикання ознак та метод випадкових підпросторів, не забезпечують контрольованого та неповторного покриття простору ознак, що ускладнює аналіз поведінки моделей. Це створює передумови для пошуку детермінованих способів формування підмножин ознак фіксованої потужності, які дозволяють поєднати переваги підпросторових підходів із можливістю чіткого контролю над процесом вибору.

Мета роботи. Підвищення стабільності та відтворюваності процесу навчання моделей розпізнавання зображень шляхом розроблення способу детермінованого формування M -кратних векторів ознак на основі оптимізованого алгоритму комбінаторного індексування.

Об'єкт дослідження. Процес розпізнавання зображень у системах машинного навчання.

Предмет дослідження. Алгоритмічні способи детермінованого формування підмножин ознак фіксованої потужності для моделей класифікації зображень.

Методи дослідження. У роботі застосовано методи комбінаторного аналізу для формалізації задачі та обґрунтування детермінованого індексування підмножин ознак, методи теорії множин та лінійної алгебри для опису простору

М-кратних векторів, методи машинного навчання для побудови моделей класифікації, а також методи експериментального моделювання для порівняльного аналізу запропонованого та існуючих підходів. Програмна реалізація виконана мовою Python із використанням бібліотек PyTorch, torchvision, NumPy та scikit-learn. Аналіз результатів проведено за допомогою методів описової статистики й оцінки стабільності навчання за множиною незалежних запусків.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті виконання роботи отримано такі наукові результати. Удосконалено спосіб формування підмножин ознак для моделей класифікації зображень. На відміну від поширених стохастичних підходів, запропонований спосіб ґрунтується на детермінованому комбінаторному індексуванні М-кратних векторів, що забезпечує однозначну відповідність між номером комбінації та підмножиною активних ознак, унеможливорює повторний вибір однакових комбінацій у межах заданого простору індексів і сприяє більш рівномірному охопленню простору вхідних даних. Дістав подальшого розвитку підхід до інтеграції структурованих методів вибору ознак у механізми регуляризації нейронних мереж та ансамблеві схеми класифікації, що, на відміну від існуючих рішень, дозволяє замінити стохастичну складову детермінованим компонентом без істотної зміни архітектури моделей.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений спосіб детермінованого формування М-кратних векторів та реалізована на його основі програмна система можуть бути використані для проведення експериментальних досліджень у задачах машинного навчання, де важливими є відтворюваність результатів та контрольоване формування підпросторів ознак. Результати роботи мають перспективу застосування у системах розпізнавання рукописних символів, попередньої обробки медичних зображень, аналізу документів і у дослідницьких засобах для оцінювання впливу структури вибору ознак на якість класифікації. Програмна система побудована за модульним принципом і допускає інтеграцію розробленого алгоритму у наявні навчальні процедури без істотної зміни архітектури застосовуваних моделей.

Особистий внесок магістранта. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримано автором особисто. У спільних публікаціях здобувачем виконано аналіз сучасного стану методів вибору ознак у задачах розпізнавання зображень, узагальнено обмеження поширених стохастичних підходів і сформульовано концепцію детермінованого комбінаторного формування підмножин ознак. У межах магістерської дисертації автором самостійно розроблено формалізоване описання простору M -кратних векторів та оптимізований алгоритм їх формування на основі комбінаторного індексування. Крім того, автором спроектовано та реалізовано програмну архітектуру системи експериментального дослідження запропонованого підходу й підготовлено методику порівняльного аналізу. Науковий керівник здійснював постановку задачі, загальне керівництво дослідженням і консультативну допомогу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи були представлені й обговорювались на XVIII науковій конференції магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг – ПМК'2025» (м. Київ, 19–21 листопада 2025 р.).

Публікації. За результатами проведених досліджень та суміжних робіт автора опубліковано три наукові праці: тези доповіді на Вісімнадцятій міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси – ПРТК-2025» (м. Київ, 20–21 травня 2025 р.); тези доповіді на Вісімнадцятій науковій конференції магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг – ПМК'2025» (м. Київ, 19–21 листопада 2025 р.), у яких безпосередньо викладено основні положення цієї магістерської дисертації; а також статтю у фаховому науковому виданні «Information, Computing and Intelligent Systems».

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу та загальних висновків по роботі, списку використаних джерел і додатків.

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність обраного напрямку досліджень, сформульовано мету і задачі,

визначено об'єкт і предмет дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до розпізнавання зображень і вибору ознак, розглянуто проблему надлишковості та кореляції ознак у зображеннях, проаналізовано існуючі методи зменшення розмірності та формування підпросторів ознак, виявлено обмеження стохастичних підходів та обґрунтовано доцільність розроблення детермінованих способів вибору ознак.

У другому розділі формалізовано задачу вибору M -кратних векторів ознак, розглянуто математичні основи комбінаторного індексування підмножин, досліджено лексикографічний і колексикографічний порядок комбінацій, описано запропонований оптимізований алгоритм формування M -кратних векторів та проаналізовано його властивості.

У третьому розділі описано програмну реалізацію системи експериментального дослідження запропонованого алгоритму, обґрунтовано вибір засобів реалізації та архітектуру програмного забезпечення, наведено опис основних модулів системи.

У четвертому розділі викладено методика експериментального дослідження, наведено результати порівняльного аналізу запропонованого підходу з базовими та випадковими методами вибору ознак, виконано оцінку точності та стабільності навчання моделей.

У висновках підсумовано результати проведеної роботи.

Робота викладена на 99 сторінках, містить 10 рисунків, 11 таблиць, посилання на список використаних джерел із 14 найменувань.

Ключові слова: розпізнавання зображень, вибір ознак, M -кратні вектори, комбінаторне індексування, Combinadics, Feature Dropout, Feature-Subspace Ensemble, MNIST, машинне навчання, нейронні мережі.

ABSTRACT

Topic relevance. The contemporary development of information technology is accompanied by a steady increase in the volume of visual data and a growing complexity of tasks faced by automated image analysis systems. The performance of such systems is determined not only by the architecture of the underlying machine learning models, but also by the way in which input features are represented and selected. Digital images are characterised by a high-dimensional feature space and substantial correlation between neighbouring pixels, which gives rise to the problem of information redundancy. Under such conditions, the way feature subsets are formed directly affects training stability, experimental reproducibility and the generalisation capability of the constructed models. Widely used stochastic feature-selection methods, including random feature dropout and the random subspace method, do not guarantee a controlled and non-repetitive coverage of the feature space, which complicates the analysis of model behaviour. This creates a strong motivation for investigating deterministic methods for forming fixed-cardinality feature subsets that combine the benefits of subspace-based approaches with the ability to exercise explicit control over the selection process.

Aim of the work. Improving the stability and reproducibility of the training process for image recognition models through the development of a method for deterministic formation of M -fold feature vectors based on an optimised combinatorial indexing algorithm.

Object of research. The process of image recognition in machine learning systems.

Subject of research. Algorithmic methods for deterministic formation of fixed-cardinality feature subsets for image classification models.

Research methods. The work applies methods of combinatorial analysis to formalise the task and to substantiate the deterministic indexing of feature subsets, methods of set theory and linear algebra to describe the space of M -fold vectors, machine learning techniques to construct classification models, and experimental modelling for the comparative analysis of the proposed and existing approaches. The

software implementation is carried out in Python with the use of the PyTorch, torchvision, NumPy and scikit-learn libraries. The analysis of results relies on descriptive statistics and on the evaluation of training stability across multiple independent runs.

Scientific novelty. The following scientific results have been obtained in the work. The method for forming feature subsets in image classification models has been improved. Unlike widely used stochastic approaches, the proposed method is based on deterministic combinatorial indexing of M -fold vectors, which provides a one-to-one correspondence between the number of a combination and the corresponding subset of active features, eliminates repeated selection of identical combinations within a given index range and contributes to a more uniform coverage of the input feature space. The approach to integrating structured feature-selection methods into neural-network regularisation mechanisms and ensemble classification schemes has received further development; in contrast to existing solutions, it allows the replacement of the stochastic component with a deterministic one without substantial modifications to model architecture.

Practical value. The proposed method for deterministic formation of M -fold vectors and the software system implemented on its basis can be used in experimental studies of machine learning tasks where reproducibility of results and controlled construction of feature subspaces are important. The results have prospective applications in handwritten character recognition systems, in the preprocessing of medical images, in document analysis, and in research tools for evaluating the influence of the feature-selection structure on classification quality. The software system is built on a modular basis and supports the integration of the developed algorithm into existing training procedures without substantial changes to model architecture.

Personal contribution of the master's student. All major scientific and practical results of the dissertation were obtained by the author personally. In the joint publications, the author carried out an analysis of the current state of feature-selection methods in image recognition tasks, generalised the limitations of common stochastic approaches and formulated the concept of deterministic combinatorial formation of

feature subsets. Within the master's dissertation, the author personally developed the formal description of the M-fold vector space and the optimised algorithm for their formation based on combinatorial indexing. In addition, the author designed and implemented the software architecture of the system for experimental research and prepared the methodology of the comparative analysis. The supervisor provided the problem statement, overall research guidance and consultative assistance.

Approbation of the dissertation results. The main provisions and results of the work were presented and discussed at the 18th Scientific Conference of Master's and PhD Students "Applied Mathematics and Computing – AMC'2025" (Kyiv, 19–21 November 2025).

Publications. Three scientific works have been published on the basis of the conducted research and the author's related studies: conference theses presented at the 18th International Scientific and Practical Conference "Integrated Intelligent Robotic Systems – IIRTC-2025" (Kyiv, 20–21 May 2025); conference theses presented at the 18th Scientific Conference of Master's and PhD Students "Applied Mathematics and Computing – AMC'2025" (Kyiv, 19–21 November 2025), which directly outline the main provisions of this master's dissertation; and a paper published in the professional scientific journal "Information, Computing and Intelligent Systems".

Structure and scope of the work. The master's dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions to each chapter and general conclusions, a list of references and appendices.

The introduction provides a general description of the work, substantiates the relevance of the chosen research direction, formulates the aim and tasks, defines the object and subject of research, and reflects the scientific novelty and practical value of the obtained results.

The first chapter analyses contemporary approaches to image recognition and feature selection, examines the problem of redundancy and correlation of features in images, reviews existing methods of dimensionality reduction and feature subspace formation, identifies the limitations of stochastic approaches and substantiates the need for deterministic feature-selection methods.

The second chapter formalises the task of selecting M-fold feature vectors, examines the mathematical foundations of combinatorial subset indexing, investigates lexicographic and colexicographic orderings of combinations, describes the proposed optimised algorithm for forming M-fold vectors and analyses its properties.

The third chapter describes the software implementation of the experimental research system, substantiates the choice of implementation tools and the architecture of the software, and outlines the principal modules of the system.

The fourth chapter presents the methodology of the experimental study, the results of the comparative analysis of the proposed approach against baseline and random feature-selection methods, and the evaluation of model accuracy and training stability.

The conclusions summarise the results of the conducted work.

The work is presented on 99 pages, contains 10 figures, 11 tables and references to a list of 14 sources.

Keywords: image recognition, feature selection, M-fold vectors, combinatorial indexing, Combinadics, Feature Dropout, Feature-Subspace Ensemble, MNIST, machine learning, neural networks.