

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

СНИТКІН МАКСИМ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 004.932.2:004.93'1

ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ART

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор,
Руденко Олег Григорійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри електронних
обчислювальних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Гороховатський Володимир Олексійович,
Харківський інститут банківської справи
Університету банківської справи Національного банку
України, завідувач кафедри інформаційних
технологій;

доктор технічних наук, професор,
Каргін Анатолій Олексійович,
Донецький національний університет, завідувач
кафедри комп'ютерних технологій.

Захист відбудеться «___» _____ 2014 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «___» _____ 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Винокурова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Збільшення обсягів інформації, що зберігається, передається та обробляється в цифровому вигляді, яке спостерігається в останній час, пов'язане з все більшим проникненням цифрових технологій в науку, техніку і повсякденне життя. У зв'язку з цим виникає необхідність постійного вдосконалення алгоритмів і методів обробки інформації. Актуальними виявляються розв'язання задач кластеризації та класифікації, кодування і стискання зображень. Всі наведені задачі вимагають обробки значних обсягів даних в реальному часі. У зв'язку з тим, що ці задачі є нелінійними, використання традиційних методів для їх розв'язання найчастіше виявляється складним. У багатьох випадках виправдовує себе застосування нейромережевого підходу. При цьому розв'язання зазначених задач зводиться до вибору відповідного типу мережі та налаштування її параметрів за допомогою деякого алгоритму навчання, який мінімізує заздалегідь обраний функціонал похибки.

Серед великої кількості існуючих штучних нейронних мереж (ШНМ) в задачах обробки зображень досить широке застосування знайшли ШНМ статичного типу: багатошаровий перцептрон, радіально-базисні мережі, мапи Кохонена тощо. Останнім часом увагу дослідників пригорнули динамічні ШНМ, серед яких одними з найбільш ефективних уявляються мережі, побудовані на основі теорії адаптивного резонансу (ART). Незважаючи на наявність важливих теоретичних досліджень щодо властивостей цих мереж та на перспективність їх використання в задачах обробки зображень, на цей час не існує загальних рекомендацій щодо практичного впровадження тієї чи іншої мережі ART для вирішення конкретних проблем.

Тому актуальною є *науково-технічна задача* розробки ефективних схем кодування інформації на основі нейронної мережі ART, методів навчання мережі при розв'язанні задач кластеризації, класифікації та обробки зображень, методів підвищення швидкості навчання мережі, а також розробці різноманітних підходів для оптимізації її роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетних і госпдоговірних тем, що виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ). Дисертаційну роботу виконано згідно з планом науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках тем №ДР0101U001762 "Розробка теоретичних основ та математичного забезпечення нейро-фаззі-систем ранньої діагностики, прогнозування та моделювання в умовах апріорної і поточної невизначеності", №ДР0101U001948 «Розробка математичних методів, алгоритмів та інструментальних засобів надшвидких перетворень зображень», №ДР0104U004074 «Дослідження і розробка методів, структурних і архітектурних принципів, апаратних і програмних засобів швидких цифрових перетворень зображень», а також госпдоговірної теми №ДР0104U009291 «Розробка та виготовлення системи збору та обробки інформації про стан трубчастих печей виробництва феросплавів, що обертаються», що виконувалися у ХНУРЕ і в яких автор брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у розробленні ефективних методів обробки інформації в реальному часі шляхом синтезу обчислювальних структур, які дозволять зменшити апаратні витрати при збереженні або поліпшенні функціональних характеристик на основі ШНМ ART.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються такі основні задачі:

1. Аналіз відомих нейромережових методів класифікації і кластеризації образів при обробці великих обсягів даних.
2. Розробка ефективних стратегій і методу навчання штучної нейронної мережі ART.
3. Розробка методу навчання нейронних мереж ART при їх використанні в задачах обробки зображень.
4. Вдосконалення моделей обчислювальних засобів, які реалізують нейронну мережу ART в задачах стискання та фільтрації зображень.
5. Розробка методів підбору основних параметрів навчання нейронної мережі для підвищення ступеня автоматизації систем, що побудовані на базі нейронних мереж ART.
6. Імітаційне моделювання роботи мереж ART і вирішення на їх основі ряду практичних задач.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивної обробки інформації, яка представляє собою великі обсяги графічних або інших даних разом з можливими завадами або похибками у них, на основі нейронних мереж ART.

Предмет дослідження – нейронні мережі ART, нейромережові системи класифікації та кластеризації, методи обробки, фільтрації та стискання зображень.

Методи дослідження. Основні результати роботи отримані на основі використання теорії обчислювального інтелекту, а саме методів теорії штучних нейронних мереж, які дозволили синтезувати нейромережові моделі та нейрорегулятори і отримати процедури їх навчання; теорії оптимальності, за допомогою якої були синтезовані швидкодіючі процедури навчання; теорії фільтрації і обробки зображень для синтезу ефективних нейромережових схем фільтрації та стискання зображень. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах і на реальних об'єктах.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено ефективні стратегії та методи навчання штучної нейронної мережі ART, які дозволяють використовувати цей тип мереж для вирішення задач класифікації, кластеризації, а також обробки зображень, та, на відміну від існуючих методів, потребують значно менших обсягів інформації, необхідних для навчання мережі, і таким чином забезпечують значне скорочення тривалості процесу навчання.

2. Вперше запропоновано метод, оснований на використанні нейронної мережі ART для векторного квантування в задачах обробки зображень, який, на відміну від існуючих, вільний від недоліку, що пов'язаний з необхідністю попереднього підбору параметрів нейронної мережі, а також забезпечує збільшення ступеня стискання зображення.

3. Вдосконалено обчислювальні методи обробки, стискання і фільтрації зображень, які відрізняються використанням нейронної мережі ART на основі

нечіткої логіки (Fuzzy ART), що дозволило значно зменшити апаратні витрати і обсяг пам'яті для зберігання зображень.

4. Отримав подальший розвиток метод вибору параметрів навчання мережі шляхом використання єдиного уніфікованого параметру, який визначає якість стисненого зображення, що дозволяє значно підвищити ступінь автоматизації систем, побудованих на базі нейронних мереж ART.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення полягає в тому, що отримані результати теоретичних досліджень реалізовано за допомогою нових процедур, які забезпечують високу якість обробки візуальної інформації. Розроблені процедури дозволяють поширити спектр використання нейромережових технологій, а також розробити нові різноманітні системи обробки зображень.

Розроблені та досліджені методи для обробки відеоінформації були використані в ТОВ «Побузький феронікелевий комбінат» при розробці інфрачервоної телевізійної системи вимірювання температурних полів трубчастих печей, що обертаються. Розроблена система забезпечує безперервний контроль температури по всій поверхні трубчастої печі, що дозволяє ефективно керувати процесом випалювання руди та забезпечує підвищення терміну експлуатації футерівки та кожуху печі.

Основні положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи, використано при підготовці курсів “Нейронні обчислювальні структури”, “Моделювання систем” та “Цифрова обробка інформації” на кафедрі електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, здобувач отримав самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: в [1] дослідження ефективності методів стискання зображень на основі нейронних мереж ART; в [2] розробка методів класифікації та кластеризації за допомогою нейронних мереж ART; в [3] синтез нейромережової структури та методів стискання зображень за допомогою штучної нейронної мережі ART; в [4] дослідження впливу різних алгоритмів кодування інформації в нейронній мережі ART на якість стискання зображення, розробка методів вибору типу нейронної мережі та алгоритму стискання в практичних задачах; в [5] розробка методу класифікації за допомогою нейронної мережі Fuzzy ARTMAP; в [6] розробка методу стискання зображень за допомогою нейронних мереж Fuzzy ART; в [7] дослідження ефективності методу стискання зображень на основі нейронної мережі Gaussian ART; в [8] розробка та порівняльний аналіз ефективності методів стискання зображень на основі нейронних мереж ART; в [9] порівняльний аналіз ефективності методів класифікації на основі нейронних мереж ART 2 та Fuzzy ART; в [10] дослідження методу класифікації за допомогою нейронних мереж ART 2; в [11] дослідження методу стискання зображень за допомогою штучної нейронної мережі ART; в [12] розробка та дослідження методу стискання зображень на основі штучної нейронної мережі ART 2; в [13] дослідження ефективності методу обробки зображень на основі нейронної мережі ART; в [14] аналіз ефективності методів класифікації на основі нейронних мереж ART 2-E та Fuzzy ART; в [15] дослідження методу стискання зображень на основі штучної нейронної мережі Fuzzy ART; в [17] дослідження

методу класифікації за допомогою нейронної мережі Fuzzy ARTMAP; в [20] порівняльний аналіз ефективності методів стискання зображень на основі нейронних мереж ART 2, Fuzzy ART та Gaussian ART.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 10-й Міжнародній конференції "Теорія і техніка передачі, прийому й обробки інформації" (Туапсе-Харків, 2004 р.), на 13-й Міжнародній конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-2006", (Вінниця, 2006 р.), на 7-й Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні інформаційні та електронні технології" (Одеса, 2006 р.), на Міжнародній науковій конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій" (Євпаторія, 2006 р.), на 1-й Міжнародній науковій конференції "Глобальні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку" (Харків-Туапсе, 2006 р.), на 2-й Міжнародній науковій конференції "Глобальні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку" (Харків, 2007 р.), на 1-й Міжнародній науковій конференції "Електронна компонентна база. Стан та перспективи розвитку" (Харків-Судак, 2008 р.), на 7-й та 9-й Міжнародних науково-технічних конференціях "Проблеми інформатики і моделювання" (Харків, 2007 р., 2009 р.), на 1-й та 2-й Міжнародних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології в навігації і управлінні" (Харків, 2010 р., 2011 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції "Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення" (Севастополь, 2012 р.).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано у 20 наукових працях: 1 колективна монографія, 7 статей в наукових фахових виданнях України з технічних наук (з них 1 стаття входить до наукометричної бази Scopus), а також 12 публікацій матеріалів і тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Повний обсяг дисертації становить 172 сторінки, що включає 34 рисунка, 13 таблиць (рисунки та таблиці, що займають окрему площу на 15 стор.), список використаних джерел, що включає 140 найменувань, займає 15 сторінок, 1 додаток на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи: актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами; об'єкт і предмет, мета і задачі дослідження; методи, що використовувалися при проведенні дослідження; отримані нові наукові результати, їх практичне значення; особистий внесок автора у спільних публікаціях, відомості щодо апробації результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі проаналізовано стан проблеми класифікації та кластеризації даних, а також стискання зображень. Розглянуто основні принципи побудови таких систем. Проведено аналіз існуючих архітектур ШНМ, які використовуються для вирішення вказаних задач. Показано, що всі ці задачі можливо звести до задачі векторного квантування, яка здійснюється за методом "найближчого сусіда", причому під "найближчим" розуміється вектор, що

задовольняє різним вимогам. Прикладом вимоги може служити мінімальна Евклідова відстань до опорного представника. Задача, в такому випадку, зводиться до мінімізації деякого вартісного функціоналу, наприклад, описуваного виразом:

$$I(x, w_j) = \|x - w_j\|^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - w_{ij})^2, \quad (1)$$

де x – вхідний образ, w_j – опорний представник j -го класу.

Завдання мінімізації вартісного функціоналу вирішується за допомогою настройки (навчання) параметрів нейронної мережі.

У результаті проведеного аналізу сформульовано основні задачі наукового дослідження, викладеного у дисертаційній роботі.

У другому розділі розглянуто узагальнену структуру нейронної мережі ART, принципи побудови та функціонування цієї мережі. Проведено аналіз особливостей обробки інформації в різних типах ШНМ ART, також розглянуто основні етапи обробки даних.

Залежно від виду вхідних даних і способу їх обробки розрізняють наступні моделі мереж ART: ART 1, що використовує двійкові вхідні вектори; ART 2, ART 2A, що використовує як двійкові, так і безперервні вектори входів; ART 3, що використовується для моделювання біологічних процесів; ART MAP, що представляє собою комбінацію двох ART-мереж, об'єднаних MAP полем; Fuzzy ART, що використовує нечітку логіку.

Початкова обробка в будь-якій мережі ART виконується в модулі, який представляє собою конкурентну нейронну мережу, як показано на рис. 1. Вхідні m нейронів шару $F1$ зберігають вхідний образ $I = (i_1, i_2, \dots, i_m)$. На кожен нейрон вихідного шару $F2$ надходить висхідна мережева активність t_j , яка сформована з усіх виходів $S = I$ шару $F1$. Елементи вектора $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ можна розглядати як результат порівняння між вхідним образом I і прототипами $W_1 = (w_{11}, \dots, w_{1m}), \dots, W_n = (w_{n1}, \dots, w_{nm})$. Ці прототипи є ваговими коефіцієнтами синаптичних зв'язків між шарами $F1$ і $F2$. Вихід тільки одного нейрона J шару $F2$, що отримав найбільшу висхідну мережеву активність t_j , тобто нейрона-переможця, встановлюється в одиницю, на виходах інших нейронів залишаються нулі:

$$u_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t_j > \max(t_k : k \neq j) \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2)$$

Одним з можливих шляхів обчислити мережеву активність t_j і таким чином визначити ступінь подібності між векторами I і W_j є зважена сума

$$t_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot i_i. \quad (3)$$

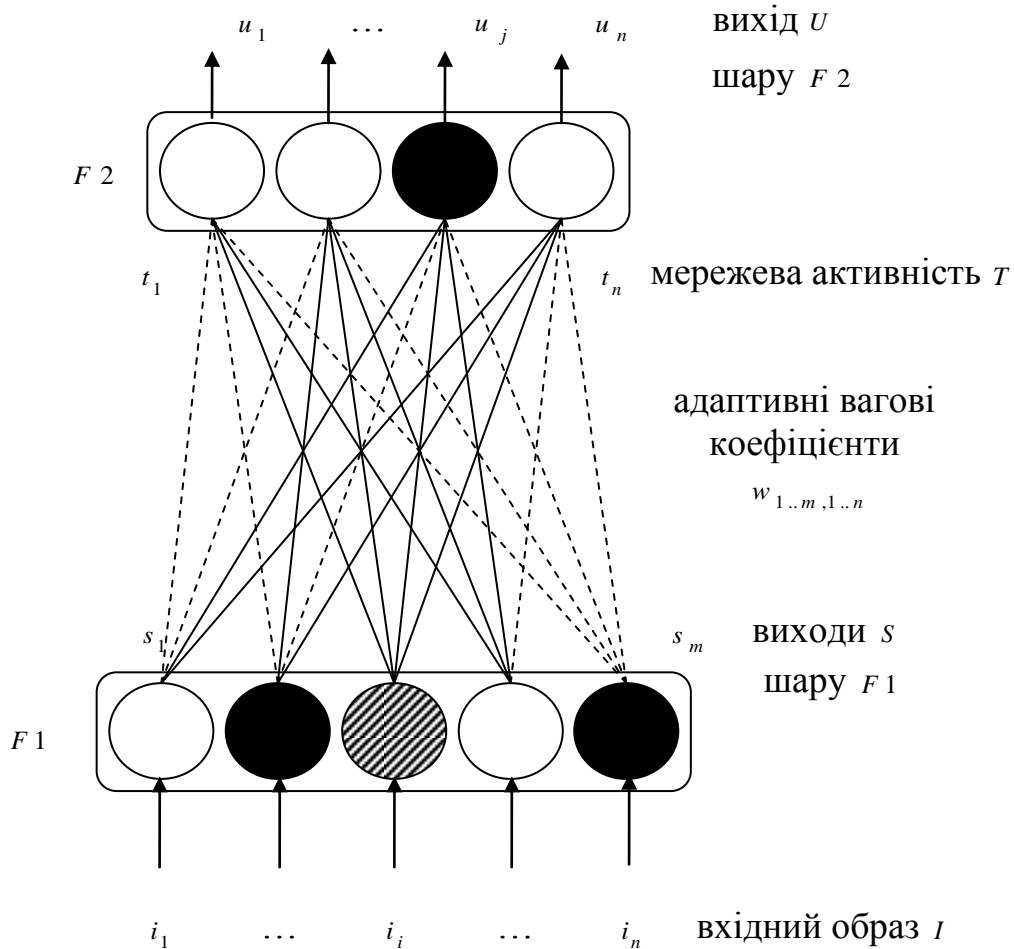


Рисунок 1 – Конкурентна нейронна мережа

Великий вплив величини t_j на результати класифікації призвів до виникнення безлічі варіантів її визначення. Після того як визначено нейрон-переможець J шару $F2$, відповідний прототип $w_J = (w_{1J}, \dots, w_{mJ})$ адаптується до вхідного образу I . Одним з можливих методів адаптації є невелика зміна вектора W_j у відповідності з вхідним образом I :

$$W_j^{(new)} = \eta \cdot I + (1 - \eta) \cdot W_j^{(old)}, \quad (4)$$

де $\eta \in [0,1]$ – константа (показник адаптації).

Константа η визначає, як швидко прототипи змінюються у процесі навчання. При $\eta \rightarrow 1$ мережа працює в режимі швидкого навчання, що сприяє швидкій стабілізації стану мережі після декількох обробок всіх образів навчальної вибірки. Малі значення показника адаптації веде до більш повільного режиму навчання.

Прототипи для такої конкурентної нейронної мережі можуть бути ініціалізовані або випадковими величинами або значеннями з довільно вибраних вхідних образів навчальної послідовності.

Конкурентна нейронна мережа такого типу має тенденцію до нестійкої класифікації, коли схожість між вхідними образами змінюється в дуже широких

межах. До того ж, немає можливості контролювати кількість класів, створюваних мережею, або мінімальну схожість образів в одному класі. У мережах ART ця проблема вирішується шляхом розширення конкурентної нейронної мережі як це показано на рис. 2. Як видно з рисунка, додано зворотний зв'язок, що поєднує вихід U шару $F2$ з шаром $F1$. Синаптичні низхідні вагові коефіцієнти W_{ji} цих зв'язків, крім можливого коефіцієнта масштабування, ідентичні висхідним ваговим коефіцієнтам W_{ij} . Низхідна мережева активність V зазвичай визначається як

$$v_i = \sum_{j=1}^n u_j \cdot w_{ji} \quad (5)$$

або

$$V = U \cdot W_{ji} = W_J, \quad (6)$$

оскільки всі виходи шару $F2$, крім u_j , дорівнюють нулю (рис. 2). Так вхідний шар $F1$ отримує прототип W_J , який представляє поточний клас J , що переміг у змаганнях. Далі виконується найскладніша в мережах ART частина обробки даних - порівняння прототипу W_J з вхідним образом I , для завдання якої вводиться параметр чутливості ρ , що визначає мінімальну схожість між вхідним образом і прототипом відповідного класу. Якщо ступінь подібності менше, ніж чутливість ρ , поточний нейрон-переможець з шару $F1$ виключається зі змагань сигналом скидання. Сигнал скидання встановлює активний нейрон J шару $F2$ в нуль і таким чином дає можливість іншому нейрону перемогти в змаганнях, тим самим на виході шару $F2$ отримуємо висхідну мережеву активність t_j ще не скинутих вихідних нейронів. Як тільки буде виявлений прототип, у якого ступінь подібності з вхідним образом I , принаймні, така ж як ρ , сигнал скидання не виникне і мережа досягне резонансу. Позиція останнього нейрона-переможця шару $F2$ вказує на клас вхідного образу I , після чого відбувається адаптація відповідного прототипу. Перед початком наступного циклу обробки всі нейрони переводяться в не скинутий стан.

Початкова ініціалізація величин прототипів, з якими не був пов'язаний ні один вхідний образ, повинна задовольняти двом умовам:

- 1) Прототипи, в яких зберігаються попередньо сформовані класи, повинні брати участь у порівнянні з вхідним образом раніше, ніж невикористані прототипи.
- 2) Якщо жоден з сформованих класів не підходить до вхідного образу досить добре, пошук закінчується вибором нефіксованого прототипу.

У мережі ART 2A-E для оцінки подібності використовується Евклідова міра відстані. Після попередньої обробки всі елементи вхідного вектора I повинні бути в інтервалі $[0,1]$

$$i_1 \in [0,1] \forall i. \quad (7)$$

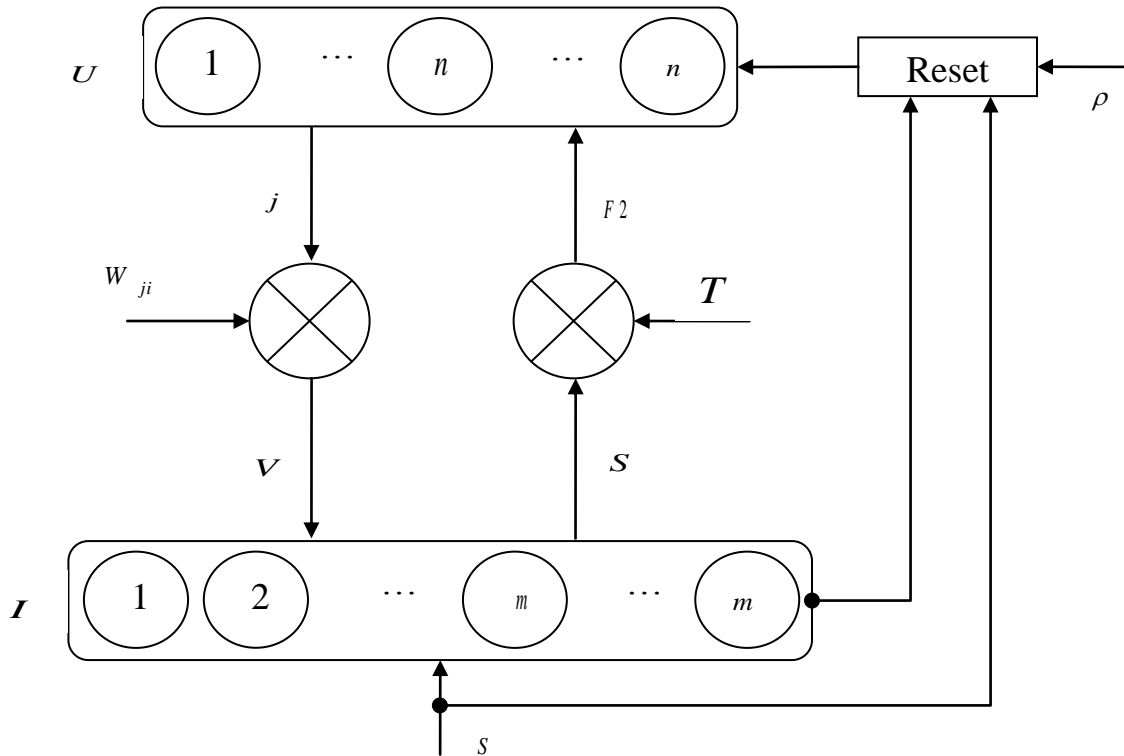


Рисунок 2 – Основний формат мережі ART

На етапі вибору нейрона-переможця висхідна мережева активність визначається, як Евклідова відстань, нормалізована розмірністю m вхідного вектора, що дозволяє виключити залежність ступені подібності від кількості елементів вектора. Отримане значення віднімається від одиниці, що дозволяє у разі, коли вхідний вектор і прототип W_j ідентичні, дає максимальне значення активності $t_j = 1$:

$$t_j = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (i_i - w_{ji})^2}. \quad (8)$$

Щоб забезпечити достатньо глибокий пошук відповідного фіксованого прототипу, нефіксовані прототипи повинні бути ініціалізовані величинами $w_{ij} \geq 1$.

Резонанс і адаптація відбувається, якщо індекс J вказує на фіксований або нефіксований прототип і коли:

$$\rho \leq t_j. \quad (9)$$

Адаптація відбувається згідно з виразом (4).

У третьому розділі докладно розглянуті структура і алгоритм роботи мережі Fuzzy ART. Наведено приклад вирішення проблеми кластерного поширення шляхом використання комплементарного кодування. Запропоновано алгоритми для дослідження характеристик мереж ART, а також алгоритми для вирішення задач класифікації. Запропоновано нові алгоритми стискання зображень на основі нейромережевого підходу.

Для мережі Fuzzy ART після попередньої обробки, як і для мережі ART 2A-E,

усі величини вхідного образу повинні бути в інтервалі $[0,1]$ (7).

Висхідна мережева активність, яка веде до попереднього вибору прототипу, визначається, шляхом використання нечіткої кон'юнкції (\wedge), за формулами:

$$\begin{aligned} x \wedge y &= \min\{x, y\}; \\ X \wedge Y &= (x_1 \wedge y_1, \dots, x_m \wedge y_m). \end{aligned} \quad (10)$$

Активність t_j , кожного нейрона можна розглядати як ступінь належності прототипу W_j нечіткій підмножині вхідного образу I

$$t_j = \frac{|I \wedge W_j|}{\alpha + |W_j|}, \quad (11)$$

де Y - нечітка підмножина X , якщо $X \wedge Y = Y$. Розмір вектора ($|x|$), визначається його нормою L1, тобто сумою його елементів. Константа α запобігає виникненню переповнення при операції ділення, якщо $|W_j| \rightarrow 0$.

Початкова ініціалізація прототипів виконується постійною величиною:

$$w_{ij} \geq 1 \quad \forall i.$$

Таким чином, забезпечується пошук спочатку серед фіксованих прототипів, а потім серед інших.

Подібність між вхідним вектором I і нейроном-переможцем, тобто його прототипом W_j , визначається ступенем належності образу I нечіткій підмножині W_j . Резонанс і адаптація відбувається, якщо

$$\rho \leq \frac{|I \wedge W_j|}{|I|}. \quad (12)$$

Адаптація перемігшого прототипу W_j відбувається шляхом зміни величин прототипу по відношенню до вектора $I \wedge W_j$:

$$W_j^{(new)} = \eta \cdot (I \wedge W_j^{(old)}) + (1 - \eta) \cdot W_j^{(old)}. \quad (13)$$

У розділі досліджено різні функції вибору нейрона-переможця мереж Fuzzy ART, а також визначені основні вимоги, що такі функції повинні задовольняти. Наведено огляд алгоритмів і особливостей роботи мереж Fuzzy ART MAP.

При вирішенні задачі класифікації використовується основна властивість ШНМ на основі теорії адаптивного резонансу: мережа відносить вхідне зображення до одного з відомих класів, якщо воно достатньою мірою подібне або резонує з прототипом цього класу.

Для дослідження особливостей роботи мереж ART були розроблені алгоритми

і їх програмні реалізації, здатні навчатися на тестовому наборі даних, і класифікувати ці дані, використовуючи різні значення параметрів навчання мережі, таких як чутливість і показник адаптації. Загальний опис алгоритмів, які використовувалися в дослідженнях, наводиться нижче.

Алгоритм № 1. Даний алгоритм передбачає генерацію тестових наборів двовимірних образів.

Алгоритм № 2. Орієнтований на дослідження особливостей класифікації багатовимірних образів.

Алгоритм № 3. В алгоритмі передбачається використання не штучно згенерованих даних, а реального набору з бази даних (БД).

Алгоритм № 4. Вихідний набір даних такий же, як і в попередньому алгоритмі, однак на відміну від нього, спочатку розділяється на дві частини: одна використовується для навчання, інша - для тестування мережі.

Також у даному розділі розглядається застосування ШНМ ART для розвитку JPEG-подібних алгоритмів стискання відеоінформації.

Загальна схема алгоритму для стискання статичного зображення з втратою якості включає наступні кроки. Зображення розбивається на квадратні блоки розміром $n \times n$ пікселів, наприклад, 4×4 або 8×8 ; кожен блок представляється як вектор в 16 - або 64-вимірному просторі відповідно. Після векторизації (трансформації блоків картинки в вектори), дискретне косинусне перетворення і низькочастотний фільтр зменшують кількість інформації, залишаючи тільки низькочастотні коефіцієнти. Потім застосовується алгоритм векторного квантування, після якого відбувається втрата інформації іншого роду. І, нарешті, індекси кодових слів, сформованих після векторного квантування, трансформуються за допомогою диференціального кодування, і результат стискається ентропійним кодером; останні два кроки не призводять до втрати інформації. Для декодування використовуються ті ж операції, але в зворотному порядку.

Важливим етапом у схемі стискання є етап векторного квантування. Використання на даному етапі штучної нейронної мережі, наприклад, мережі Кохонена, дозволяє підвищити як якість, так і ступінь стискання зображення.

Загальна схема стискання відео інформації представлена на рис. 3.

Далі наведено алгоритм стискання зображень шляхом використання ШНМ ART на етапі векторного квантування. Нейронна мережа використовується для встановлення відповідності між вхідним і вихідним простором, що складається з елементів кодової книги - кодових слів або нейронів. Отриманий після навчання набір нейронів повинен максимально точно відображати вектори з вхідного простору.

Даний алгоритм є найбільш складним і включає наступні кроки.

1. Умовне розбиття вхідного зображення на квадратні блоки розміром $n \times n$ пікселів, наприклад, 4×4 або 8×8 .

2. Застосування до кожного блоку дискретно-косинусного перетворення.

3. Представлення кожного блоку у вигляді вектора в 16 - або 64-вимірному просторі відповідно.

4. Низькочастотна фільтрація (виключення з векторів коефіцієнтів, що відповідають високочастотним складовим).

5. Навчання нейронної мережі ART.
6. Зчитування індексів нейронів, що відповідають кожному вхідному вектору.
7. Формування таблиці відповідності між індексом і усередненим вектором (кластерним центром).
8. Стискання послідовності індексів з використанням кодування довжин серій і алгоритму Хаффмана.

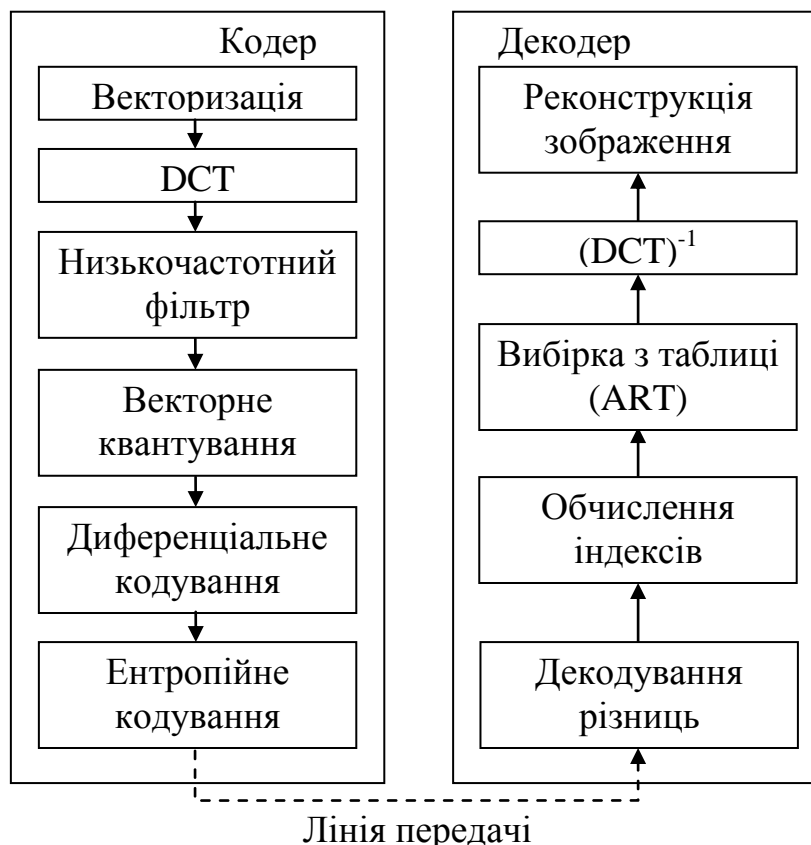


Рисунок 3 – Загальна схема обробки зображення

Як випливає з опису алгоритму, в ньому, на відміну від JPEG, застосована мережа ART (кроки 5-7), результати роботи якої використовуються для векторного квантування.

Для декодування використовуються відповідні операції але в зворотному порядку.

Четвертий розділ присвячено імітаційному моделюванню та вирішенню практичних задач класифікації, кластеризації даних та обробки зображень за допомогою ШНМ ART. Моделювання ШНМ здійснювалося в середовищі Octave з використанням ПЕОМ.

Вирішувались задачі класифікації двовимірних та багатовимірних образів. Розв'язана задача кластеризації на прикладі двовимірних і багатовимірних наборів даних за допомогою різних типів нейронної мережі ART. Розглянуто проблему кластеризації у разі зашумлених або спотворених вхідних даних.

Розглянуто задачу класифікації на прикладі БД біологічних ознак тварин. В якості даних для дослідження було використано базу образів тварин, що складається з 100 різних тварин, кожна з яких, маючи 16 властивостей, відноситься до одного з 7 класів (ссавці, птахи, плазуни, риби, земноводні, комахи, ракоподібні). Таблиця БД

містить 16 полів, що описують різні ознаки, і одне поле, що визначає клас, до якого належить образ.

В табл. 1 наведено результати класифікації БД образів тварин на основі мережі Fuzzy ARTMAP для двох різних експериментів.

Таблиця 1 – Результати класифікації мережею Fuzzy ARTMAP

Експеримент	Вибірка	Результат	Ссавці	Птахи	Плазуни	Риби	Земноводні	Комахи	Ракоподібні	Невизначений
		Усього	41	20	5	13	4	8	10	-
№1	навчальна	вірно	41	20	5	13	4	5	8	-
		невірно	-	-	-	-	-	3	2	5
№2	навчальна	вірно	23	9	1	7	2	5	4	-
		невірно	-	-	-	-	-	-	-	-
	тестова	вірно	16	11	3	5	2	3	3	
		невірно	2	1	1	1	-	2	3	4

Розглянуто задачу стискання зображень і запропоновано для її вирішення метод, що базується на використанні мережі ART, яка використовується на етапі векторного квантування. При моделюванні процесу стискання зображення для оцінки якості стискання використовувалися показники PSNR (peak signal-to-noise ratio) - відношення максимально можливого рівня сигналу до рівня шуму, що його спотворює, і MSE (mean squared error) - середньоквадратична похибка.

На рис. 4 наведено узагальнений графік залежності PSNR від ступеня стискання (CR) для різних алгоритмів. Квантування здійснювалося за допомогою мережі ART 2A_E. Запропоновані алгоритми стискання показали схожі результати для різних зображень, для ілюстрації отриманих результатів було використано загальноприйняте зображення «Lena».

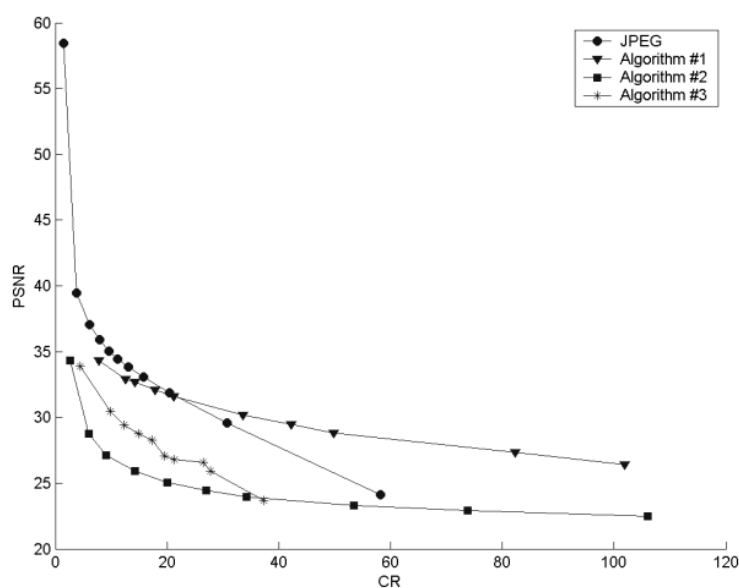


Рисунок 4 – Залежність PSNR від ступеня стискання

На рис. 5 показано приклад стискання зображення за допомогою мережі ART 2A_E при заданих параметрах подібності $\rho = 0,980$ та показника адаптації $\eta = 0,25$. Ступінь стискання в цьому випадку дорівнює 33,6, а PNSR - 30,2 dB.



Рисунок 5 – Приклад стискання зображення: а) – оригінальне зображення, б) – стиснене зображення, в) – поверхня похибки

В роботі розроблено систему вимірювання температурних полів трубчастої печі, що обертається, в якій використовується нейронна мережа Fuzzy ART для цифрової обробки інфрачервоних зображень, що дозволило поліпшити ефективність керування процесом випалювання руди та забезпечити збільшення терміну експлуатації футерівки і кожуха печі (розроблені методи для обробки відеоінформації були використані в ТОВ «Побузький феронікелевий комбінат»). Показана ефективність використання нейронної мережі Fuzzy ART при побудові систем обробки графічних даних в системах телевізійного контролю і управління складними технологічними процесами.

У **висновках** сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У **додатку** наведено акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі здійснено нове вирішення науково-практичної задачі нейромережевої обробки інформації на основі мереж ART. При проведенні дисертаційних досліджень отримані наступні основні результати.

1. Розглянуто задачі класифікації і кластеризації образів при обробці великих обсягів даних, а також проведено огляд існуючих нейронних мереж, що використовуються при їх вирішенні. Досліджено різні підходи до стискання та фільтрації зображень. Показано, що незважаючи на цілий ряд проблем, нейромережевий підхід до вирішення подібних задач є дуже перспективним. Досліджено структуру нейронних мереж ART. Розглянуто основні принципи роботи мережі.

2. Розроблено ефективні стратегії та методи навчання штучної нейронної мережі ART, які дозволяють використовувати цей тип мереж для вирішення задач класифікації, кластеризації, а також обробки зображень, та, на відміну від існуючих

методів, потребують значно менших обсягів інформації, необхідних для навчання мережі, і таким чином забезпечують значне скорочення тривалості процесу навчання. Також запропоновано метод класифікації, що базується на використанні мережі Fuzzy ARTMAP. У даному методі використовуються переваги MAP-поля для визначення асоціативних зв'язків між кластерами і класом.

3. Запропоновано нові методи стискання зображень на основі нейромережевого підходу. На етапі векторного квантування, для створення відповідності між вхідним і вихідним простором, застосовуються мережі ART. Результати моделювання свідчать про підвищення ступеня стискання зображення у порівнянні з існуючими методами. Розглянуто питання використання в алгоритмах стискання зображення додаткового кодування різницевого зображення, тобто похибки початкового кодування. Зроблено висновок про можливість підвищення якості декодованого зображення.

4. Вдосконалено обчислювальні методи обробки, стискання і фільтрації зображень, які відрізняються використанням нейронної мережі Fuzzy ART, яка при обчисленнях використовує нечітку логіку, що, в свою чергу, дозволяє значно зменшити апаратні витрати і обсяг пам'яті для зберігання зображень. Зроблено висновок про те, що початкове навчання мережі на спеціально підготовлених навчальних вибірках є набагато ефективнішим за навчання на повних наборах наявних даних.

5. Отримав подальший розвиток метод вибору параметрів навчання мережі шляхом використання єдиного уніфікованого параметру, який визначає якість стисненого зображення. Таким чином було досягнуто значного підвищення ступеня автоматизації систем, побудованих на базі нейронних мереж ART.

6. Розв'язана задача класифікації на прикладі бази даних біологічних ознак тварин за допомогою нейронної мережі ART. Розв'язана задача стискання зображень. Показано, що мережа ART, дозволяє ефективно зменшити кількість даних на етапі векторного квантування. Розроблено систему вимірювання температурних полів трубчастих печей, що обертаються, в якій використовується нейронна мережа Fuzzy ART для цифрової обробки інфрачервоних зображень, що дозволило поліпшити ефективність керування процесом випалювання руди та забезпечити збільшення терміну експлуатації футерівки і кожуха печі. Показана ефективність використання нейронної мережі Fuzzy ART при побудові систем обробки графічних даних в системах телевізійного контролю і управління складними технологічними процесами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Руденко О.Г. Нейросетевые методы сжатия изображений / О.Г. Руденко, А. А. Бессонов, М.С. Сныткин, С.В. Мирошниченко, С.О. Руденко // Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка и защита информации: коллективная монография / под редакцией В. М. Безрука, В. В. Баранника. – Х. : 2013. – 398 с.

2. Руденко О.Г. Решение задачи классификации с помощью искусственной

нейронной сети на основе теории адаптивного резонанса / О.Г. Руденко, М. С. Сныткин, А.Е. Кувшинов // Бионика интеллекта. – 2005. – №2. – С. 11-16.

3. Руденко О.Г. Сжатие изображений с помощью нейронных сетей на основе теории адаптивного резонанса / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2007. – №4(27). – С. 25-28.

4. Руденко О.Г. Сжатие изображений на основе нейронной сети ART / О. Г. Руденко, М.С. Сныткин // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – №6. – С. 10-16 (видання входить до наукометричної бази Scopus).

5. Руденко О.Г. Решение задачи классификации с помощью ИНС Fuzzy ARTMAP / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. – №1(34). – С. 127-132.

6. Руденко О.Г. Сжатие изображений с помощью нейронной сети Fuzzy ART / О. Г. Руденко, М.С. Сныткин // Бионика интеллекта. – 2012. – №1. – С. 45-48.

7. Руденко О.Г. Применение нейронной сети Gaussian ART в алгоритмах сжатия изображений / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Системы обработки информации. – 2012. – Том 2. – №3. – С. 90-93.

8. Руденко О.Г. Сравнительный анализ эффективности сжатия изображений сетями ART2, Fuzzy ART и Gaussian ART / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – №1(46). – С. 95-99.

9. Руденко О.Г. Сравнительный анализ решения задачи классификации с помощью различных типов нейронных сетей ART / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин, А. Е. Кувшинов // Автоматика-2006: 13-я междунар. конф. по автоматическому управлению, 25-28 сентября 2006 г.: сб. тез. докл. – Винница, 2006. – С. 404.

10. Руденко О.Г. Решение задачи классификации на базе нейронной сети ART 2 / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин, А. Е. Кувшинов // Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий, 15-18 мая 2006 г.: междунар. научн. конф.: сб. трудов конф. – Евпатория, 2006. – С. 116.

11. Руденко О.Г. Об одном нейросетевом методе кодирования видеoinформации / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Проблемы информатики и моделирования: 7-я Междунар. научно-технич. конф., 29 ноября – 1 декабря 2007 г.: сб. трудов конф. – Харьков, 2007. – С. 25.

12. Руденко О.Г. Кодирование видеoinформации с помощью нейронных сетей на основе теории адаптивного резонанса / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития: 2-я Междунар. научн. конф., 2-5 октября 2007 г.: сб. трудов конф. – Харьков, 2007. – С. 493-494.

13. Руденко О.Г. Техническая реализация роботизированного позиционного эстиматора / О.Г. Руденко, А.А. Бессонов, М.С. Сныткин // Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития: 1-я Междунар. научн. конф., 30 сентября – 3 октября 2008 г.: сб. трудов конф. – Харьков-Судак, 2008. – С. 77-78.

14. Сныткин М.С. Классификация на основе нейронных сетей ART 2A-E и Fuzzy ART / М.С. Сныткин, А.Е. Кувшинов // Современные информационные и электронные технологии: 7-я Междунар. научно-практ. конф., 22-26 мая 2006 г.: сб. трудов конф. – Одесса, 2006. – С. 96.

15. Руденко О.Г. Сжатие изображений при помощи нейронных сетей ART / О. Г. Руденко, М.С. Сныткин, А.Е. Кувшинов // Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития: 1-я Междунар. научн. конф., 3-6 октября 2006 г.: сб. трудов конф. – Харьков-Туапсе, 2006. – С. 235-236.

16. Сныткин М.С. Моделирование время-зависимых искусственных нейронных сетей на нечетких сетях Петри / М.С. Сныткин // Теория и техника передачи, приема и обработки информации: междунар. конф., 28 сентября – 1 октября 2004 г.: сб. тез. докл. – Харьков-Туапсе, 2004. – С. 283-284.

17. Руденко О.Г. Применение искусственной нейронной сети Fuzzy ARTMAP для решения задачи классификации / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Проблемы информатики и моделирования: 9-я Междунар. научно-технич. конф., 26-28 ноября 2009 г.: материалы конф. – Харьков, 2009. – С. 27.

18. Сныткин М.С. Применение искусственных нейронных сетей ART для решения задачи классификации / М. С. Сныткин // Информационные технологии в навигации и управлении: 1-я Междунар. научно-технич. конф., 5-6 июля 2010 г.: сб. трудов конф. – Киев, 2010. – С. 62.

19. Сныткин М.С. Применение искусственной нейронной сети ART в алгоритмах кодирования видеоинформации / М.С. Сныткин // Информационные технологии в навигации и управлении: 2-я Междунар. научно-технич. конф., 16-17 июля 2011 г.: сб. трудов конф. – Киев, 2011. – С. 46.

20. Руденко О.Г. Сравнительный анализ эффективности сжатия изображений сетями ART2, Fuzzy ART и Gaussian ART / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: междунар. научно-технич. конф., 3-7 сентября 2012 г.: материалы конф. – Севастополь, 2012. – С. 13-14.

АНОТАЦІЯ

Сниткін М.С. Обробка зображень на основі мереж ART. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2014.

У роботі проведено аналіз проблеми класифікації, кластеризації даних та обробки зображень за допомогою ШНМ ART; досліджена структура нейронної мережі ART; розглянуто основні принципи роботи мережі; розглянуто існуючі алгоритми роботи та навчання нейронної мережі; проведено аналіз властивостей мережі при виборі різних значень параметрів її навчання; розглянуто питання вибору типу мережі ART для вирішення поставленої задачі; розроблено ефективні стратегії та методи навчання штучної нейронної мережі ART при вирішенні задач класифікації, кластеризації; розроблено метод, який базується на використанні нейронної мережі ART, для векторного квантування в задачах стискання зображень. Проведено імітаційне моделювання різних типів нейронних мереж ART, досліджено

процес вирішення задач класифікації та кластеризації даних, а також стискання зображень.

Достовірність результатів підтверджується експериментальними дослідженнями та впровадженнями.

Ключові слова: нейронна мережа, метод стискання, векторне квантування, навчання.

АННОТАЦІЯ

Сныткин М.С. Обработка изображений на основе сетей ART. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2014.

Диссертация посвящена разработке эффективных схем кодирования информации на основе нейронной сети ART, методов обучения сети при решении задач кластеризации, классификации и обработки изображений, методов повышения скорости обучения сети, а также разработке различных подходов для оптимизации ее работы.

В работе рассмотрены задачи классификации и кластеризации при обработке больших объемов данных, а также проведен обзор существующих нейронных сетей используемых при их решении. Исследованы различные подходы к сжатию и фильтрации изображений. Показано, что несмотря на целый ряд проблем, нейросетевой подход к решению подобных задач является весьма перспективным.

Исследована структура нейронной сети ART. Рассмотрены основные принципы работы сети. Проведен анализ основных этапов обработки информации в ИНС ART. Исследованы различные типы сетей ART 2 и алгоритмы их работы.

Подробно рассмотрены структура и алгоритм работы сети Fuzzy ART. Приведен пример решения проблемы кластерного распространения путем использования комплементарного кодирования. Приведен обзор алгоритмов и особенностей работы сетей Fuzzy ART MAP.

Предложены новые алгоритмы сжатия изображений на основе нейросетевого подхода. На этапе векторного квантования, для создания соответствия между входным и выходным пространством, применяются сети ART. Рассмотрен вопрос использования в алгоритмах сжатия изображения дополнительного кодирования разностного изображения, т. е. ошибки начального кодирования. Сделан вывод о возможности повышения качества декодированного изображения.

Решена задача классификации на примере базы данных биологических признаков животных с помощью нейронной сети ART. Проанализированы результаты классификации сетями ART 2A и Fuzzy ART.

Решена задача сжатия изображений. Показано, что сеть ART, позволяет эффективно уменьшить количество данных на этапе векторного квантования. Разработанные алгоритмы сжатия более эффективны, чем алгоритм, основанный на

использовании карт Кохонена, а также свободны от недостатка, связанного с необходимостью предварительного выбора количества кодовых слов, определяющих размер карты.

Разработана система измерения температурных полей трубчатой вращающейся печи, в которой используется нейронная сеть Fuzzy ART для цифровой обработки инфракрасных изображений, что позволило улучшить эффективность управления процессом обжига руды и обеспечить увеличение срока эксплуатации футеровки и кожуха печи. Показана эффективность использования нейронной сети Fuzzy ART при построении систем обработки графических данных в системах телевизионного контроля и управления сложными технологическими процессами.

Ключевые слова: нейронная сеть, метод сжатия, векторное квантование, обучение.

ABSTRACT

Snytkin M. S. Image processing by neural network ART. – Manuscript.

A thesis for a candidate's degree of technical science in a specialty 05.13.23 – artificial intelligence systems and tools. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2014.

The analysis of classification, clustering and image processing problems with using of ANN ART was performed in the thesis. ART neural network structure was investigated. Basic ART network functioning principles were examined. The present algorithms of neural network functioning and training were examined. The network properties analysis during selecting different values of training parameters were investigated. The problem of ART network type selection for particular solution was examined. Effective strategies and methods of ART neural network training for classification and clustering problem solution were developed. The method based on neural network ART which was used for vector quantization in image compression scheme was developed.

The simulation of different types of neural network ART was performed. The process of handling tasks of classification, clustering and image compression was investigated.

The authenticity of results is confirmed by experimental researches and applications.

Keywords: neural network, compression scheme, vector quantization, training.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 100 прим. Зам. 126-14.
Підписано до друку 04.04.14. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.