

*Хмельницький національний університет*

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО  
АНАЛІЗУ СПЕКТРАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ  
ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗАШУМЛЕНИХ ОБРАЗІВ  
ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ СХЕМ**

*У статті розглянуто ефективний метод аналізу спектральної інформації, що призначений для автоматизованого адаптивного розділення вхідної графічної інформації на образ, що розпізнається, та фонове зображення. Запропонований метод має значну цінність для розв'язку проблеми розпізнавання образів із неоднорідним фоном і значним ступенем спектрального спотворення.*

*In article the effective method of the analysis of the spectral information which is intended for the automated adaptive division of the entrance graphic information into an image which is distinguished, and the background image is considered. The offered method has significant value for the decision of a problem of recognition of images with a non-uniform background and a significant degree of spectral distortion.*

На сучасному етапі є актуальним завдання розпізнавання машинописних і рукописних текстів. Особливо велике значення має оперативне введення графічної інформації, підлягаючої подальшій обробці, в інформаційні і управляючі комп'ютерні системи [1, 2].

Проблема ефективного розпізнавання образів має важливе значення і в сферах автоматизації ряду процесів людської діяльності, пов'язаних з ідентифікацією різних об'єктів навколишнього світу, наприклад, авторизація робочого персоналу по відбитках пальців або сітківці ока, ідентифікація продукту і розрахунок ціни в магазині по штрих-коду й т. ін. [3].

Технічна складова систем розпізнавання знаходиться на достатньо високому рівні. Так, роздільна здатність систем оптичного введення вже впритул наблизилася до можливостей людського зору і навіть перевершує його. Наприклад, цифрова фотокамера H2D-39, представлена шведською компанією Hasselblad, обладнана ПЗС-матрицею в 39 мегапікселів [3]. А сучасним обчислювальним системам цілком під силу швидкісна обробка різних параметрів зображення.

Проте завдання розпізнавання, саме по собі, припускає інтелектуальну обробку одержаної інформації, що представляє певні труднощі. Крім цього, універсальних методів обробки зображення, порівнянних по продуктивності і якості розпізнавання з людськими здібностями, на сучасному етапі не розроблено. А в завданнях, які ставляться перед експертними системами, потрібний глибший інтелектуальний аналіз і висока швидкодія, цими ж властивостями повинні володіти роботизовані системи обслуговування. Тому обробка зображення в завданнях розпізнавання образів є однією з центральних проблем [1].

Впродовж багатьох років розвитку кібернетики велика увага приділялася вивченню здатності людини швидко і безпомилково класифікувати і виділяти окремі образи навколишнього світу, ідентифікувати об'єкти незалежно від їх положення в просторі, освітлення й інших умов. Перспектива реалізації комп'ютерного аналога такої системи дуже приваблива, адже вона б дозволила замінити людину в багатьох областях її діяльності, де робота є небезпечною, монотонною або нудною [4].

Завдання розпізнавання і аналізу об'єктів на зображенні є актуальним завданням сучасних інформаційних технологій. Це завдання не втрапить своєї актуальності і в майбутньому внаслідок швидкого розвитку наукових і технічних можливостей. Сьогодні широко використовують штучні нейронні мережі в областях комп'ютерного зору. Одна з переваг нейронних мереж – це те, що всі елементи можуть функціонувати паралельно, тим самим істотно підвищуючи ефективність рішення задачі, особливо в обробці зображень. Нейронні мережі стійкіші, ніж інші статистичні методи при розпізнаванні зображень, якщо зображення входу має шуми. В даний час існує чимала кількість систем автоматичного розпізнавання зображень для різних прикладних завдань. Але в завданнях розпізнавання зображень у реальному часі необхідно створити стійкі і швидкі системи. Нейронні мережі можуть служити теоретичною і практичною основою для розробки таких систем. Таким чином, розробка і дослідження програмних забезпечень для розпізнавання і аналізу об'єктів на зображенні за допомогою нейронної мережі є актуальним завданням [5].

Особливу складність і перспективність має завдання *аналізу спектральної інформації* для оптимізації розпізнавання зашумлених образів. Значну цінність розв'язку даної проблеми додає можливість *розпізнавання образів із неоднорідним фоном* та автоматичне очищення образу від частини шумів шляхом його спектрального аналізу. Метою статті є розробка ефективного методу аналізу спектральної інформації з метою автоматизованого адаптивного розділення вхідної інформації на образ, що розпізнається, та фонове зображення.

У цілому проблема розпізнавання образів складається із двох частин: навчання й розпізнавання. Навчання здійснюється шляхом показу окремих об'єктів із зазначенням їхньої приналежності тому або іншому образу. В результаті навчання система, що розпізнає, повинна придбати здатність реагувати

однаковими реакціями на всі об'єкти одного образу й різними – на всі об'єкти різних образів. Дуже важливо, що процес навчання повинен завершитися тільки шляхом показів кінцевого числа об'єктів без яких-небудь інших підказок. Об'єктами навчання можуть бути або картинки, або інші візуальні зображення (букви), або різні явища зовнішнього світу, наприклад звуки, стани організму при медичному діагнозі, стан технічного об'єкта в системах керування й ін. При цьому в процесі навчання вказуються тільки самі об'єкти і їхня приналежність образу. За навчанням слідує процес розпізнавання нових об'єктів, що характеризує дії вже навченої системи. Автоматизація цих процедур і становить проблему навчання розпізнаванню образів. У тому випадку, коли людина сама складає або визначає, а потім нав'язує машині правило класифікації, проблема розпізнавання вирішується частково, тому що основну й головну частину проблеми (навчання) людина бере на себе [4].

Найбільш ефективними технологіями, що використовуються для розпізнавання зашумлених образів й підлягають аналізу на ефективність застосування в задачах спектрального аналізу, на сучасному етапі є:

1. Неокогнітрон – багатошарова модель нейрону;
2. Перцептрон – інтегральний біоаналоговий метод розпізнавання образів;
3. Нейросхеми – об'єктно-орієнтований підхід до створення штучного інтелекту.

Неокогнітрон. Медичні дослідження людського мозку спонукали вчених вести розробки розпізнавальних моделей, спираючись на структуру зорової кори. К.Фукушима в 1975 році розробив когнітрон – гіпотетичну модель біологічної системи сприйняття і розпізнавання, інваріантну до поворотів, перемішень, змін масштабів образів.

Подібно до зорової кори людського мозку, когнітрон складається з декількох шарів нейронів. Кожен окремий шар реалізує різні рівні узагальнення. Наприклад, перший шар може розпізнавати окремі лінії, а подальші здібні до складнішого узагальнення.

Нейрон кожного шару пов'язаний з деяким набором нейронів попереднього шару, що дозволяє кожному нейрону вихідного шару реагувати на все вхідне поле. Кожен шар когнітрон володіє нейронами двох типів – збудливих і гальмуючих. Збудливі нейрони прагнуть активізувати сполучений з ними нейрон наступного шару. Гальмуючі нейрони відповідають тим же областям зв'язку, що і збудливі нейрони, і перешкоджають цьому збудженню. Крім того, кожному нейрону відповідає область конкуренції з сусідніх нейронів того ж шару. Вони надають латеральне гальмування на цей нейрон. Кожен гальмуючий нейрон підсумовує виходи всіх нейронів з цієї області і виробляє сигнал, гальмуючий дію на цільовий нейрон.

Процес навчання когнітрона є навчанням без вчителя, тобто мережа при подачі вхідних образів самоорганізовуватиметься шляхом зміни вагових коефіцієнтів. В процесі навчання в деякій області шару збуджується тільки один нейрон, який надаватиме гальмуючу дію на сусідні нейрони з області конкуренції. Синапси такого нейрона посилюватимуться за рахунок підвищення вагових коефіцієнтів.

Розвитком когнітрона є неокогнітрон, який є багаторівневою ієрархічною мережею. Організація і принципи її функціонування найбільш відповідають моделі зорової кори головного мозку. Неокогнітрон достатньо універсальний і може бути використаний як узагальнена система розпізнавання образів. Він має ієрархічну структуру, і складається з декількох шарів нейронів [3].

Неокогнітрон показав дуже добрі результати при розпізнаванні образів. Розвиток даної моделі є дуже перспективним завданням, рішення якого дозволить створити універсальну систему по ідентифікації різних об'єктів. На даний момент система володіє рядом недоліків, таких як низька швидкість навчання, жорсткі параметри вхідних образів [2].

Перцептрон як метод розпізнавання образів. Ф.Розенблатт вводячи поняття про модель мозку, завдання якої полягає в тому, щоб показати, як в деякій фізичній системі, структура і функціональні властивості якої відомі, можуть виникати психологічні явища – описав прості експерименти по розрізненню. Дані експерименти цілком відносяться до методів розпізнавання образів, але відрізняються тим що алгоритм рішення не детермінований.

Простий експеримент, на основі якого можна одержати психологічно значущу інформацію про деяку систему, зводиться до того, що моделі пред'являється два різні стимули і потребує, щоб вона реагувала на них різним чином. Метою такого експерименту може бути дослідження можливості їх спонтанного розрізнення системою за відсутності втручання з боку експериментатора, або, навпаки, вивчення примусового розрізнення, при якому експериментатор прагне навчити систему проводити необхідну класифікацію.

У досвіді з навчанням перцептрону зазвичай пред'являється деяка послідовність образів, в яку входять представники кожного з класів, що підлягають розрізненню. Відповідно до деякого правила модифікації пам'яті правильний вибір реакції підкріплюється. Потім перцептрону пред'являється контрольний стимул і визначається вірогідність отримання правильної реакції для стимулів даного класу. Залежно від того, співпадає або не співпадає вибраний контрольний стимул з одним з образів, які використовувалися в навчальній послідовності, одержують різні результати:

1. Якщо контрольний стимул не співпадає ні з одним з навчальних стимулів, то експеримент пов'язаний не тільки з чистим розрізненням, але включає і елементи узагальнення.
2. Якщо контрольний стимул порушує деякий набір сенсорних елементів, абсолютно відмінних від тих елементів, які активізувалися при дії раніше пред'явлених стимулів того ж класу, то експеримент є дослідженням чистого узагальнення.

Перцептрони не володіють здібністю до чистого узагальнення, але вони цілком задовільно функціонують в експериментах по розрізненню, особливо якщо контрольний стимул достатньо близько співпадає з одним з образів, щодо яких перцептрон вже накопичив певний досвід [5].

Відомо, що мозок здатний зберігати або відновлювати багато своїх функцій при серйозних пошкодженнях, викликаних травмами або захворюваннями. Стійкість перцептрона до порушень його структури має певну схожість з цією властивістю мозку. Зі всіх цих міркувань не можна зробити висновок, що алгоритми мозку і перцептрона співпадають. Проте в даний час перцептрон є, мабуть, найбільш правдоподібною моделлю мозку [6].

**Нейросхеми.** Нейронні мікросхеми – алгоритмічно інший підхід до розпізнавання образів, ніж нейронні мережі. З програмно-апаратної точки зору мозок і нервова система складаються з великого набору нейронів – основної структурної і функціональної одиниці нервової системи. Робота нервової системи полягає у взаємодії нейронів між собою. Нейрон складається з тіла і відростків, що відходять від нього, а саме коротких дендритів і довгого аксона, які виконують функції транспортних магістралей, тобто функції, ідентичні електричним провідникам на друкарській платі комп'ютера. Прийнято вважати, що по аксону передається вихідна від нейрона інформація, а по дендритам – вхідна. Образно кажучи, через свій аксон нейрон „розмовляє” з іншими нейронами, а „слухає” через свої дендрити. Тому деяку ділянку нервової системи можна представити у вигляді друкарської плати, де ролі мікросхем виконують тіла нейронів, а електричними провідниками є аксони і дендрити, підключені один до одного в якій-небудь послідовності.

На програмному рівні збудження і гальмування штучних нейронів може бути однією єдиною властивістю нейрона, яким визначається характер його функціонування. Якщо властивість приймає значення збудження, тоді нейрон включається й починає працювати в схемі нервового вузла або центру. Якщо ж приймає значення повного гальмування, то нейрон відключається. Схема нервового вузла або центру продовжує працювати, але через цей нейрон сигнали взагалі не проходять. Аналогом є випадок, коли на друкарській платі комп'ютера перегоріла або тимчасово відключилася якась мікросхема. Проте якщо властивість нейрона приймає значення гальмування до слабого реагування, тоді значення вхідних нервових сигналів пригнічуються на величину, еквівалентну ступеню гальмування.

Основу програмної моделі штучної нервової системи нейросхемної моделі складає невеликий набір програмних нейронних мікропроцесорів, які самі є програмними об'єктами, що мають свої властивості, методи і події. Якщо на один з дендритів мікропроцесора приходить сигнал з даними, то дана подія викликає внутрішню подію, яка запускає виконання певної внутрішньої базової операції, внаслідок чого в аксоні мікросхеми з'являються вихідні дані. Аксон підключений до дендритів інших мікропроцесорів, а значить на їх дендритах з'являються сигнали з даними, які поступили з аксона. Ці сигнали викликають внутрішні події усередині початкових мікросхем. Результати їх роботи через аксони подаються на дендрити наступних мікропроцесорів і так далі. У такій віртуальній схемі безперервно виникають події, що є наслідками минулих подій, що примушує схему жити своїм життям. Подібний підхід до побудови штучного інтелекту є об'єктно-орієнтованим і фрактальним, що дає можливість швидко створювати складні нейросхемні структури й динамічно корегувати їх архітектуру. Значною перевагою нейронних схем є їх властивість паралельної обробки однорідної інформації різними сегментами.

З нейромережами нейросхеми мають низьку схожість, яка обмежується лише тим, що в нейромережах нейронні зв'язки (які називають „вагами”) зовні нагадують з'єднання дендритів з аксонами в нейроланцюжках. Тому нейронні мікросхеми – це не те, що зазвичай називають нейромережами. Не коректне також твердження, що нейрочіпи – це нейромережі в чистому вигляді, адже вони мають віддалену спорідненість.

Стосовно питання, чи інший це алгоритмічно підхід, то на сучасному етапі це не має великої значущості. Припускається, що нейромережі – один підхід, нейроланцюги – інший підхід, програмні алгоритми – третій підхід.

Таким чином, зважаючи на специфіку області застосування (необхідність автоматизованого адаптивного розділення вхідної інформації, варіантність можливих розв'язків), переваги системного підходу й перспективність методу динамічної корекції і самовдосконалення виконавчого механізму, в якості технології штучного інтелекту для розробки технології аналізу спектральної інформації було обрано апарат нейронних схем.

Обов'язковою вимогою роботи з кольоровими патернами образів є мультифункціональність і можливість варіантного прийняття рішень. Тому в рамках розробки нейросхемного методу аналізу спектральної інформації реалізовано два способи розподілу спектральної інформації:

1. діалогове визначення спектрального балансу;
2. аналіз спектрального розподілу за допомогою автоматизованих процедур.

Діалогове визначення спектрального балансу включає наступні варіанти виконання:

- a.) дискретний (вибір кольорових патернів);
- b.) аналоговий (вибір спектральної межі).

Автоматизований аналіз спектрального розподілу реалізуються шляхом ітераційного аналізу поступаючої від нейросхеми інформації в процесі розподілення кольорового балансу й включає наступні варіанти виконання:

- a.) однофазний (тестування образу нейросхемою на знаходження локальних максимумів вірогідності розпізнавання);
- b.) самокорегувальний (автоматичне прийняття результату роботи однофазного етапу як еталонної моделі);

с.) захищений самокорегувальний (самокорегувальний із поверненням до самокорегувального етапу при зниженні показників ефективності розпізнавання).

При автоматизованому аналізі спектрального розподілу кожен екстремум як нова гілка графу тестується більш щільно, й модель з найбільшим показником ефективності розпізнавання вважається за оптимальну (Рис. 1). Таким чином, реалізується еквівалент роботи генетичного алгоритму при визначенні найбільш ефективної моделі.

Алгоритм роботи поданого методу наступний. Як полотно для малювання використано клас *TBitmap* (для простоти роботи з растровим зображенням використано режим 1 байт на піксель, тобто *TBitmap.PixelFormat := pf8bit*), візуалізований на *TPaintBox*. Еталонні зразки формуються на основі матриці розміром 40x40 пікселів. Для цього згенеровано відповідну матрицю за допомогою функції *Create\_40x40(Img: TBitmap): TMat40x40* одержує як параметр посилання на картинку, на якій намальований еталон символу (у даному випадку – програмно) повертає матрицю, що згенерована.

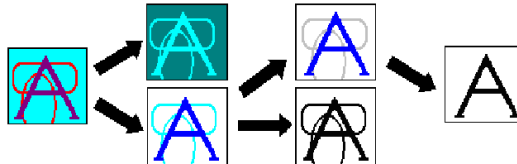


Рис. 1. Імітація генетичного алгоритму при аналізі спектрального розподілу

Одержується посилання на растрове зображення і здійснюється формування його образу в пам'яті. Обчислюються координати меж прямокутника сформованого образу (еталонного або розпізнаваного) шляхом сканування рядків/стовпців. При цьому тут, а також в подальшому аналізі зображення, передбачається, що символ намальований чорним кольором (колір з кодом 0 в палітрі кольорів) і відповідно всі значущі пікселі мають значення 0.

Для подальшого аналізу використовується, по якому проводиться згортка початкового зображення символу в матрицю 40x40 пікселів. Таким критерієм прийнято загальний відсоток заповнення обслуговуваної області зображення, тобто відношення кількості значущих пікселів (з яких складається символ) до загальної кількості пікселів в описаному навколо початкового зображення прямокутнику. Даний параметр може впливати на якість розпізнавання, причому якщо він рівний 1 (або примусово робиться більш за неї), розпізнаваному символу відповідатиме менша кількість можливих альтернатив, при значенні меншому 1 - навпаки. У даному випадку коефіцієнт поправки, покликаний штучно знизити згаданий параметр менше одиниці при будь-якому варіанті заповнення обслуговуваної області зображення, прийнятий рівним 0,99.

Далі розбивається прямокутник із зображенням символу на 40x40 осередків шляхом ділення сторін нового осередку на 2. Далі виконується запам'ятовування відносних координат кожного осередку й заповнюється матриця 40x40. Як критерій приймається загальний відсоток заповнення. Якщо в аналізованому осередку відсоток заповнення більший, ніж загальний відсоток, то відповідний елемент матриці 40x40 встановлюється в 1, інакше – в 0.

Значна частина увага приділена малюванню на *TBitmap* букв або цифр (у циклі), запам'ятовування в масиві матриць 40x40 пікселів, відповідних кожному еталонному символу. Розпізнавання здійснюємо шляхом порівняння матриці 40x40 пікселів розпізнаваного символу з матрицею еталону (шляхом перебору тих, що є в наявності). Порівняння проводиться поелементно за допомогою операції *xor*, й у результаті формується матриця 40x40, що містить одиниці в сегментах неспівпадань тестованого символу і еталону. Шляхом підрахунку кількості неспівпадань формується вектор, що містить цю інформацію для кожного еталонного символу, і проводиться сортування його елементів за збільшенням кількості неспівпадань.

Для підвищення точності розпізнавання окремих символів передбачений додатковий аналіз значущих ознак, наприклад симетричності образу (горизонтальна, вертикальна), наявності замкнутих областей у символах (наприклад О, В, Д, Р та інші), кількість відрізків і дуг, їх взаємне розташування й орієнтація (шляхом векторизації зображення) [8].

Таким чином, у статті проведено аналіз сучасних технологій розпізнавання значно зашумлених образів з точки зору їх ефективності при рішення задач спектрального аналізу образів. Розробка ефективний метод аналізу спектральної інформації з метою автоматизованого адаптивного розділення вхідної інформації на образ, що розпізнається, та фонове зображення. Створена програма „ССАО”, що реалізує розроблений метод спектрального аналізу образів.

Розроблений метод має значну цінність для розв'язку проблеми розпізнавання образів із неоднорідним фоном, значним ступенем спектрального спотворення, автоматичного очищення образу від частини шумів шляхом його спектрального аналізу.

### Література

1. Комп'ютер інформ // [www.ci.ru/inform06\\_06/p\\_24.htm](http://www.ci.ru/inform06_06/p_24.htm);
2. Ковальчук С.С., Рыбак Л.П., Мазурец А.В. Создание системы для распознавания рукописных текстов на базе нейронных схем // Сборник трудов Международной научной конференции "Нейросетевые технологии и их применение". Краматорск – 2004. – С.89-103.
3. Портал магістрів ДонНТУ // [masters.donntu.edu.ua](http://masters.donntu.edu.ua);

4. Чернов І.А., Мандрікова О.А., Федяєв О.І. Автоматизоване лікування знань з баз даних // Информатика і комп'ютерні технології 2005/ Зб. праць першої міжнародної студентської науково-технічної конференції - Д.: Доннту – 2005. – С.257–258;
5. Московський Інженерно-фізичний інститут // [www.mephi.ru](http://www.mephi.ru);
6. Вікіпедія. Вільна енциклопедія // [ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание\\_образов](http://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_образов);
7. Одноэлементное распознавание образов, НПЛГ // <http://www.nplg.gov.ge/dlibrary/coll/0002/000206>;
8. Штучний інтелект // [aimatrix.nm.ru/aimatrix/SimpleOCRAAlgorithm.htm](http://aimatrix.nm.ru/aimatrix/SimpleOCRAAlgorithm.htm).