

СПІЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОЗНАК У БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ**О. І. Захожай***Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля*

Анотація. *Запропонована методика спільного аналізу інформаційних ознак у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів. Використання запропонованої методики дозволяє у випадку обмеженого опису об'єкта розпізнавання та малої кількості інформативних ознак побудувати ефективну стратегію прийняття рішення щодо класифікації, яка забезпечує підвищення достовірності розпізнавання та зниження часової складності.*

Ключові слова: *спільний аналіз ознак, роздільний аналіз ознак, багатопараметричні комбіновані системи розпізнавання образів, інформативність образів і ознак, селекція інформативних ознак.*

Вступ

Розпізнавання образів знаходить широке використання у різноманітних системах автоматизованої обробки інформації і управління. Це пов'язано, насамперед, з тим, що використання інтелектуальних алгоритмів і методів не вимагає повної формалізації задачі обробки інформації і управління та створення повної математичної моделі об'єкту інформатизації. Такий підхід особливо ефективний у випадку, коли об'єкт автоматизації представляє собою складну систему [1, 2], для якої створення повної математичної моделі або взагалі неможливе, або пов'язане зі значними складнощами. Якщо такі моделі і можуть бути створені, то, як правило, є переускладненими, що значно обмежує їхнє практичне використання для виконання задач автоматизованої обробки інформації і управління.

Використання апарату розпізнавання образів дозволяє для складних систем відійти від класичної концепції управління за параметрами і реалізувати концепцію управління за станом складної системи. Таким чином, завдання автоматизованої обробки інформації і управління зводяться до виконання прямої та зворотної задач розпізнавання. На етапі прямої задачі здійснюється ідентифікація стану системи через віднесення її образу (або образів) до відповідного класу, а на етапі зворотної задачі розпізнавання – за відомими класами визначається необхідний управляючий вплив, який дозволяє перевести систему до визначеного цільового стану. Такий підхід докладно представлений у [2].

Відомо, що якість виконання задачі розпізнавання напряму залежить від якості і точності відображення об'єктів, процесів і явищ у просторі ознак. Так достовірність отримання класифі-

кації напряму залежить від інформативності набору ознак за якими здійснюється класифікація. При чому важливо, щоб у будь який момент часу об'єкт розпізнавання характеризувався достатньою кількістю найбільш інформативних ознак. На практиці, нажаль, збільшення кількості інформаційних ознак не завжди позитивно впливає на достовірність прийняття рішення, так як серед наявної сукупності даних, що підлягають аналізу можуть знаходитися такі, що мають малу інформативність та можуть збільшувати вірогідність помилкової класифікації. Така ситуація стає ще складнішою, коли автоматизована обробка інформації та прийняття рішення здійснюються за умови динамічної зміни навколишнього середовища та умов спостереження за об'єктом інформатизації. В цьому випадку, одні і ті самі характеристики об'єкта, що надається для класифікації, за одних умов можуть мати значну інформативність та забезпечувати високу достовірність класифікації, а за інших умов – бути зовсім неінформативними та вести до отримання помилкової класифікації.

Враховуючи вищесказане можна зробити висновок, що подальше вдосконалення систем розпізнавання у напрямку розробки нових способів аналізу даних, які забезпечують підвищення достовірності та зниження часової складності прийняття рішень щодо класифікації, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз питання та постановка завдання

У ряді робіт [2-5] розглядаються питання синтезу інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації і управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів. В таких системах, на відміну від концепції комбінованих систем розпізнавання, запропонованої Ю.І. Журавльовим [6] використовуються ознаки не різного характеру інфо-

рмації (детерміновані, ймовірнісні, логічні, структурні), а різної природи походження. В цьому випадку, об'єкт розпізнавання описується не одним, а декількома образами, ознаки яких слабо корелюють або зовсім не корелюють між собою, так як мають різну природу. При чому очевидно, що за кожним образом об'єкт розпізнавання може бути віднесений до одного і того ж самого класу (звичайно ж, у випадку достовірного результату класифікації).

Таким чином, використання багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів дозволяє значно розширити інформаційне поле ознак об'єкта розпізнавання збільшивши кількість незалежних ознак за якими може бути здійснена класифікація. Це забезпечує більшу інформативність представлення об'єктів розпізнавання, що, в свою чергу, дозволяє підвищити достовірність прийняття управлінських рішень. Враховуючи той факт, що ознаки об'єкта розпізнавання мають різну природу виникнення, прояв різних завдань буде по різному відбиватися на них. В цьому випадку, при зміні умов спостереження за об'єктом розпізнавання та прояву різних завдань є можливість прийняття достовірного рішення щодо класифікації за ознаками, на які завдання має найменший вплив.

З іншого боку, розширення інформаційного поля ознак об'єкту розпізнавання негативно впливає на характеристики часової складності прийняття рішення. Тобто, з одного боку наявна тенденція до збільшення достовірності розпізнавання, а з іншого – до збільшення часової складності аналізу даних. Таким чином, можна зробити висновок, що вдосконалення методика багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання повинно здійснюватися у двох основних напрямках: збільшення достовірності прийняття рішень та зменшення часової складності аналізу інформативних ознак.

Обидва ці завдання потребують спільного вирішення, так як відома тенденція до підвищення часової складності алгоритмів аналізу даних та прийняття управлінських рішень за умови збільшення достовірності розпізнавання. Це пов'язане, насамперед, з тим, що отримання більш достовірного результату аналізу, як правило, вимагає ускладнення алгоритмічної бази: комбінації алгоритмів, використання алгоритмів бустінгу, а також збільшення кількості інформаційних ознак, що підлягають аналізу та на основі яких формуються управлінські рішення.

Однак, в сенсі рішення визначених вище завдань треба зробити акцент на практичних аспектах використання інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації та управ-

ління. Так, насамперед, слід зазначити, що прикладне застосування методів і засобів автоматизованої обробки даних та прийняття рішення, як правило, не вимагає досягнення абсолютно достовірного рішення. Крім цього, слід зазначити, що використання інформаційних технологій та елементів і засобів штучного інтелекту (до цього класу відносяться і системи розпізнавання) направлені на вирішення задач на основі неповного опису проблемної ситуації. А отже, формування абсолютно достовірного результату не можливе априорі. В цьому випадку, не має сенсу рішення оптимізаційних задач у напрямку пошуку глобального максимуму цільової функції достовірності розпізнавання. На практиці же, синтез алгоритмів аналізу даних, розпізнавання образів та прийняття управлінських рішень повинен бути направлений на досягнення наперед визначеного рівня достовірності. В цьому випадку, алгоритми аналізу даних можуть реалізовувати процеси послідовного наближення до визначеного значення достовірності. Тоді, управлінське рішення вважається достовірним, якщо в процесі аналізу даних отримується рівень достовірності не менший априорно завданого. Так, для рішення задачі підвищення достовірності розпізнавання та зменшення часової складності аналізу даних при синтезі методів автоматизованої обробки інформації і управління, запропонована методика базується на двох основних аспектах:

- за умови динамічних змін умов спостереження за об'єктом розпізнавання, забезпечується не максимізація достовірності розпізнавання, а забезпечення її на рівні, що відповідає априорно завданому;

- часова складність процесу аналізу даних та прийняття управлінських рішень обмежується часом досягнення априорно завданого рівня достовірності розпізнавання.

Враховуючи той факт, що в багатопараметричних комбінованих системах об'єкт розпізнавання представляється сукупністю образів різної природи походження [3, 7, 8], то алгоритмізація прийняття рішення щодо класифікації може здійснюватися у двох напрямках: роздільному або спільному аналізу інформативних образів [9].

Відповідно до [9] при роздільному аналізі, задача класифікації може вирішуватись шляхом k приватних рішень за кожним з k визначених образів. В цьому випадку, здійснюється співвідношення кожного образу об'єкта до відповідного класу, а остаточне рішення може прийматися за урахуванням імовірнісних характеристик. Наприклад, остаточне рішення щодо класифікації може бути отримане на підставі вагових коефіцієнтів кожного з інформаційних потоків, або че-

рез аналіз сукупності образів і визначення їх класифікуючих ознак, що мають найменше розходження (малі значення метрики). Одним з найпростіших алгоритмів прийняття рішень щодо класифікації в системах багатопараметричного комбінованого розпізнавання може бути мінімізація метрики ознак за кожним інформаційним потоком (образом), або проста композиція результатів співвідношення образів до класів за кожним інформаційним потоком [10].

Однак, незважаючи на перевагу роздільного аналізу, пов'язаною з відсутністю необхідності обробки усієї сукупності даних, а тільки до моменту отримання заданого апріорного рівня достовірності, цей підхід також має істотний недолік: у випадку обмеженого опису об'єкта розпізнавання, та малої кількості інформативних ознак отримання k приватних рішень здійснюється з меншим рівнем достовірності, а виграш у зниженні часової складності значно нівелюється.

Таким чином, з метою досягнення універсальності інформаційної технології автоматизованої обробки інформації і управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання та досягнення однаково високих показників достовірності прийняття рішень та мінімізації часової складності, потрібне рішення задачі розробки методики спільного аналізу інформаційних ознак об'єкта розпізнавання.

Рішення задачі

Спільний аналіз має на увазі уявлення об'єкта, що характеризується одним глобальним образом. При цьому, аналіз повинен проводитися за умови

$$P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_k, \quad (1)$$

де P_1-P_k – k образів об'єкта розпізнавання.

Тоді, один глобальний образ можна представити у вигляді

$$P = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}\} \cup \{x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}\} \cup \dots \cup \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kl}\}, \quad (2)$$

де P – глобальний образ, що включає усі ознаки x відповідних образів (P_1-P_k).

З урахуванням об'єднаних множин, вираження (2) можна записати у вигляді

$$P = \{X\}. \quad (3)$$

Це, фактично, є переходом до класичного вигляду представлення об'єкта розпізнавання одним образом. Відповідно до цього, подальша селекція класифікуючих ознак і розпізнавання може проводитися з використанням традиційних підходів. Однак, з приводу того, що множина $\{X\}$ містить

ознаки, які сформовані використанням декількох інформаційних потоків, обумовлених різною природою походження, забезпечується більша кількість непов'язаних або слабо пов'язаних ознак, що дозволяє забезпечити ідентифікацію помилки або перешкоди та підвищити достовірність розпізнавання.

З урахуванням (1) і (2) при спільному аналізі інформативних ознак віднесення об'єкта до одного з класів здійснюється за одним образом, що містить інформацію від різних інформаційних потоків (а, відповідно, і ознак різної природи виникнення). В цьому випадку, синтез інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації здійснюється згідно структурної організації, що представлена на рис. 1.

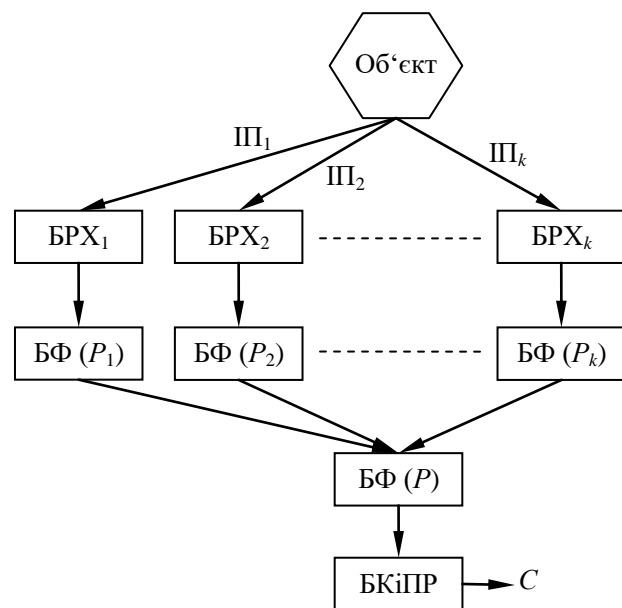


Рис. 1 Структурна організація багатопараметричної комбінованої системи розпізнавання образів зі спільним аналізом інформаційних ознак

Характеристики об'єкта розпізнавання за k інформаційними потоками $ІІ_1-ІІ_k$ реєструються сукупністю блоків реєстрації характеристик BRX_1-BRX_k . Ці блоки представляють собою сукупність технічних засобів вимірювання детермінованих ознак об'єктів розпізнавання, або реєстрації ознак імовірнісного, логічного або структурного характеру. За результатами реєстрації ознак блоками формування $BF(P_1)-BF(P_k)$ формується сукупність образів P_1-P_k різної природи походження, що характеризують об'єкт розпізнавання. Надалі, інформаційні ознаки образів одного об'єкта розпізнавання поєднуються у спільний образ P , який надається до розпізнавання та прийняття управлінських рішень. Результат класифікації представляється визначенням класом C до якого відноситься об'єкт інформаційного процесу. Відповідно до (2) образ P буде містити

повну інформацію про об'єкт розпізнавання, що отримується за k інформаційними потоками (тобто містить ознаки, притаманні усій сукупності образів P_1-P_k). Таким чином, представлення об'єкту розпізнавання стає аналогічним традиційному [3, 6].

Для систем автоматизованої обробки інформації і управління є характерною ситуація, коли класифікація здійснюється за апіорно визначеною сукупністю класів. Таким чином, кожен клас характеризує відповідний стан об'єкта інформаційного процесу та навколишнього середовища та відповідає визначеному управлінському рішення, яке необхідно ухвалювати за поточних умов спостереження. Тобто кінцевість управлінських рішень вимагає кінцевої сукупності визначених класів.

Припустимо, що мається апіорно визначена сукупність класів об'єктів C_1-C_m . Відповідно до репрезентативних характеристик цих класів, у просторі ознак необхідно виділити m областей, еквівалентних класам. В цьому випадку, якщо об'єкт інформаційного процесу, характеризується спільним образом $P=(x_1, x_2, \dots, x_i)$, що відноситься до класу C_j , то у просторі ознак відповідний вектор належить області відповідної поділеної області C_j .

Поділ простору ознак зводиться до побудови функцій розподілу $F_j(x_1, x_2, \dots, x_i)$, $j=1, \dots, m$, за якими може бути знайдено рішення щодо класифікації за критерієм

$$P \in C_j, \max F_j(x_1, x_2, \dots, x_i). \quad (4)$$

Тобто об'єкт інформаційного процесу, що характеризується спільним образом P може бути віднесений до класу C_j за умови максимального значення відповідної функції розподілу.

Однозначне класифікаційне рішення може бути прийнято, якщо для інших класів виконується умова

$$\forall F_k(x_1, x_2, \dots, x_i), k \neq j \Rightarrow \Rightarrow F_k(x_1, x_2, \dots, x_i) - F_j(x_1, x_2, \dots, x_i) < 0. \quad (5)$$

Відповідно, гранична умова для образів, що знаходяться на межі розподілу двох сусідніх класів буде мати наступний вигляд:

$$F_k(x_1, x_2, \dots, x_i) - F_j(x_1, x_2, \dots, x_i) = 0. \quad (6)$$

В цьому випадку, алгоритми розпізнавання ґрунтуються на порівнянні тієї чи іншої міри близькості або міри схожості об'єкта розпізнавання з кожним класом. Тобто рішення задачі розпізнавання здійснюється класичним шляхом. При цьому, якщо міра близькості L даного спільного образу P з яким-небудь класом C_j , $j=1, \dots, m$,

перевищує міру його близькості з іншими класами, то приймається рішення про приналежність відповідного об'єкту до класу C_j , тобто виконується умова

$$P \in C_j, L(P, C_j) = \text{extr } L(P, C_i), \\ j = 1, \dots, m, i \neq j. \quad (7)$$

Однак, з урахуванням того, що у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів використовується не тільки образи об'єкта різної природи виникнення, але й ознаки різного характеру інформації, аналіз цих ознак з метою визначення ступенів подібності слід проводити різнопланово.

У випадку детермінованих ознак, в якості міри близькості пропонується використання середньоквадратичної відстані між спільним образом P об'єкта розпізнавання та репрезентативними образами P_{ji} , що характеризують відповідний клас C_j :

$$L(P, C_j) = \sqrt{k_j^{-1} \sum_{i=1}^{k_j} D^2(P, P_{ji})}. \quad (8)$$

Метод вимірювання відстані між образами $D(P, P_{ji})$ обирається у кожному окремому випадку синтезу системи автоматизованої обробки інформації і управління. Якщо ознаки образу об'єкта розпізнавання мають різний вплив на прийняття остаточного рішення щодо класифікації, то залежність (8) може бути трансформована з урахуванням вагових коефіцієнтів w_g ознак x_g , $g=1, \dots, N$, спільного образу P та ознак x_{jig} репрезентативних образів P_{gi} класу C_j :

$$L(P, C_j) = \sqrt{k_j^{-1} \sum_{i=1}^{k_j} \sum_{g=1}^N w_g (x_g - x_{jig})}. \quad (9)$$

При використанні у алгоритмах розпізнавання імовірнісних ознак, у якості міри близькості використовується характеристика ризику, пов'язаного з віднесенням об'єкта розпізнавання до класу C_i , $i=1, \dots, m$. Представимо, що завдані описи класів $\{f_i(x), P(C_i)\}$, $x=\{x_1, \dots, x_n\}$ і ризику коректних та помилкових класифікацій представляють елементи платіжної матриці виду

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mm} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Головна діагональ матриці W містить коефіцієнти, що характеризують втрати за умови ко-

ректної класифікації, а інші коефіцієнти характеризують втрати за умови помилкової класифікації. Якщо $w_{ij} < 0, i=1, \dots, m$, то такі негативні втрати можна вважати як вигреш при коректних рішеннях щодо класифікації.

Представимо, що в результаті вимірювання характеристик об'єкту розпізнавання встановлено, що апостеріорні значення ознак образу P складають $x_1 = x_1^{apost}, x_2 = x_2^{apost}, \dots, x_n = x_n^{apost}$. Позначимо цей етап як $stage_n$. Тоді значення ризику, пов'язаного з рішенням виду $P \in C_j$ на етапі $stage_n$, буде визначатися як

$$W(P \in C_j | stage_n) = W(C_j / stage_n) = \sum_{i=1}^m w_{ij} p(C_i / stage_n), \quad (11)$$

де умовна апостеріорна імовірність того, що $P \in C_i$ у відповідності з теоремою гіпотез або формулою Байєса

$$p(C_i / stage_n) = \frac{p(C_i) f_i(x_1^{apost}, x_2^{apost}, \dots, x_n^{apost})}{\sum_{i=1}^m p(C_i) f_i(x_1^{apost}, x_2^{apost}, \dots, x_n^{apost})}. \quad (12)$$

Очевидно, що у загальному випадку, рішення виду $P \in C_j$ приймається, якщо

$$W(C_j / stage_n) = \min W(C_i / stage_n). \quad (13)$$

Для характеристик об'єкта інформаційного процесу, які базуються на логічних ознаках не використовується міра близькості. Коли побудовано опис класів на мові логічних ознак у вигляді відповідних булевих співвідношень (еквівалентності або імплікацій), при підстановці в ці співвідношення значень ознак, що характеризують об'єкт розпізнавання, рішення щодо класифікації є результатом логічних операцій у створеному логічному висловлюванні. Використання такого різновиду ознак природньо легко піддається алгоритмізації та програмуванню.

В алгоритмах розпізнавання, що базуються на використанні структурних (лінгвістичних) ознак, поняття міри близькості також може не використовуватися. Коли побудовані мови, що описують класи у вигляді сукупностей висловлювань (речень), що характеризують структурні особливості об'єкта, що відносяться до кожного класу, то розпізнавання невідомого об'єкта здійснюється ідентифікацією речення, що описує цей об'єкт, з одним з репрезентативних речень, що є елементами опису відповідного класу.

Об'єктивно, не враховуючи різного характеру інформації, що мають ознаки об'єкта розпізнавання, їх поєднання при спільному аналізі, відповідно до залежності (2), призводить до збільшення розмірності простору ознак i , як наслідок, до збільшення достовірності розпізнавання. Цей факт підтверджується на основі статистичної теорії розпізнавання [11]. Статистичний підхід ґрунтується на ідеї, що початковий простір об'єктів представляє собою імовірнісний простір, а ознаки об'єктів – це випадкові величини задані на ньому. На основі експертної оцінки слід висунути статистичну гіпотезу про розподіл ознак, а точніше про залежність класифікуючих ознак від інших. Статистична гіпотеза, як правило, може бути представлена у якості параметрично заданої множини функцій розподілу ознак. Тоді класифікаційне рішення може бути прийняте на основі критеріїв (4)-(7). Типовою і класичною статистичною гіпотезою є гіпотеза про нормальність цього розподілу [11, 12]. На практиці, для будь якої системи автоматизованої обробки інформації, ця гіпотеза може бути перевірена на прецедентних даних. З цією метою, обирається деякий розподіл з апіорно заданої множини розподілів та робиться оцінка надійності такого вибору. Оцінку надійності отримання коректної класифікації, в цьому випадку, зручно здійснювати за значенням довірчого інтервалу. При цьому, відповідно до асимптотичного обґрунтування імовірнісних методів, апіорно встановлюється функціонал якості вибору розподілу (довірчий інтервал) і показується, що при збільшенні числа прецедентів, рішення з імовірністю що прямує до 1 стає вірним у сенсі цього функціоналу. При цьому довірчий інтервал прагне 0. Такий підхід дозволяє, у випадку спільного аналізу з метою непрямої оцінки достовірності розпізнавання, використовувати значення довірчого інтервалу. Тоді, задача класифікації об'єкта розпізнавання за визначеною сукупністю класів може бути здійснена з використанням підходу, запропонованого Р. Фішером [13].

Представимо, що у деякому n -вимірному просторі ознак Ω мається деякий об'єкт, який характеризується образом P та може бути класифікований за одним з m класів. Об'єкти цих класів з'являються з невідомими імовірностями $p_1 - p_m$. В процесі синтезу системи розпізнавання ці імовірності можуть бути оцінені за навчальними вибірками. Надалі, в процесі навчання, за визначеними імовірностями оцінюються відповідні математичні очікування μ_m та матриці коваріації Σ_m . Якщо нормальні розподіли за m класами позначити як $N(x, \mu_m, \Sigma_m)$, то достовірний ре-

зультат класифікації об'єкта розпізнавання за класом C_m може бути визначений як

$$\max p_m N(x, \mu_m, \Sigma_m) \Rightarrow P \in C_m. \quad (14)$$

Достовірність такого результату класифікації підтверджується тим, що за умови спільного аналізу ознак, імовірності p_m оцінюються з великою точністю за законом великих чисел, а характеристики μ_m та Σ_m , відповідно, по частинам вибірок класів C_m за допомогою стандартних статистик, для яких, як зазначено у [3], довірчі інтервали прагнуть нуля при збільшенні прецедентів за якими здійснюється оцінка.

З іншого боку, використання надмірної кількості інформативних ознак створює негативні наслідки при розпізнаванні, що пов'язані з перенавчанням. Обґрунтування цього аспекту можна знайти в основі статистичної теорії розпізнавання Вапніка-Червоненкіса [11]. Згідно цієї теорії, у процесі навчання фіксується множина функцій

$$F \subset \{f : P \rightarrow C\}, \quad (15)$$

де P – образи об'єкту розпізнавання;

$C = \{0, 1\}$ – множина класів.

Навчальна вибірка X^l , елементи якої послідовно та незалежно вибираються з множини $P \times C$ згідно деякому невідомому розподілу ρ , позначається як

$$X^l = \{x_i, y_i\}_{i=1}^l. \quad (16)$$

В результаті використання навчальної вибірки (16) обирається деяка функція $f \in F$, яка і буде використовуватися в якості класифікатора.

Згідно теорії Вапніка-Червоненкіса [11], імовірність того, що помилка на контролі істотно перевищить помилку при навчанні, може бути оцінена, у випадку виконання умови

$$P(v(\mu(X^l), X^k) > v(\mu(X^l), X^l) + \varepsilon), \quad (17)$$

де X^k – контрольна вибірка.

Контрольна вибірка також незалежно обирається по ρ [11], при чому, ця оцінка може бути отримана для будь-якого розподілу на $P \times C$ наступним чином:

$$\begin{aligned} P(v(\mu(X^l), X^k) > v(\mu(X^l), X^l) + \varepsilon) &\leq \\ &\leq \Delta^F(2l) \cdot 1.5e^{-\varepsilon^2 l}. \end{aligned} \quad (18)$$

Для простоти можна прийняти $k=1$ (тобто довжина контролю дорівнює довжині навчання).

Фактично, функціонал (18) від (17) відрізняється двома множниками у правій частині. Множник $1.5e^{-\varepsilon^2 l}$ експоненційно прагне нуля, якщо

довжина вибірки прагне нескінченності. Інший множник $\Delta^F(2l)$ у теорії Вапніка-Червоненкіса називається складнішим. Для будь-якої підмножини M^{2l} об'єктів потужності $2l$ вводиться $S^F(M^{2l})$ для позначення множини різноманітних розбиттів M^{2l} на класи, що визначаються функціями F . Тоді

$$\Delta^F(2l) = \max S^F(M^{2l}). \quad (19)$$

Таким чином, $\Delta^F(2l)$ характеризує різноманіття множини функцій F , обмежених на множині довжини $2l$ та залежить тільки від множини функцій з яких визначається результат і не залежить від алгоритму його отримання. Якщо припустити, що $\Delta^F(2l)$ при $2l \rightarrow \infty$ збільшується повільніше, ніж будь-яка експоненційна складова, то

$$P(v(\mu(X^l), X^k) > v(\mu(X^l), X^l) + \varepsilon) \rightarrow 0, k = l - \infty \quad (20)$$

Це забезпечує мале відхилення помилки на контролі від помилки на навчанні.

Таким чином, можна зробити висновок, що зменшення величини $\Delta^F(2l)$ призводить до зменшення додаткової помилки, що додається до помилки при навчанні. З іншого боку, якщо складність F мала, то неможливо обрати $f \in F$ з малою помилкою на навчальній вибірці. В цьому випадку складається ситуація, коли від збільшення складнішого множника $\Delta^F(2l)$ збільшується достовірність прийняття рішення щодо класифікації об'єктів розпізнавання, але надмірне його збільшення призводить до перенавчання.

Відповідно, вищевказані докази показують, що для отримання достовірного результату розпізнавання, з одного боку слід збільшувати складність інформаційного поля аналізу, з іншого – надмірне його збільшення призводить до негативних наслідків перенавчання та збільшення часової складності аналізу даних.

Виходячи з вищезгаданого, можна зробити висновок, що для отримання достовірного результату класифікації за мінімальні часові втрати слід у будь-який момент часу здійснювати селекцію раціональної сукупності ознак [5, 10], що забезпечить раціональну кількість функцій F за якими може бути отриманий результат.

Також, з метою зменшення часової складності аналізу інформації та прийняття управлінських рішень, слід прагнути до ідентичності коваріаційних матриць наявної множини класів. В цьому випадку, може бути використана евристика стосовно лінеаризації вирішальних функцій [14]. Однак, для зменшення впливу можливих

завад, у випадку викривлення простору ознак об'єктів розпізнавання, слід прагнути до малої коваріації між ними. В цьому випадку залежність ознак буде мінімальна, що призведе до мінімізації вірогідності однакового прояву завад на різних групах ознак. Таким чином, додаткова помилка не буде набувати адитивного прояву від однієї завади на різних ознаках, що використовуються для класифікації.

В цьому випадку, для здійснення селекції інформативних ознак пропонується використання коваріаційної матриці. При цьому, перевагу у аналізі слід надавати її діагональним елементам, так як вони знаходяться у малій взаємозалежності. Зменшення кількості залежних ознак спрощує семантику прийняття рішень щодо класифікації та прийняття управлінських рішень в системі автоматизованої обробки інформації і управління. Крім цього, використання слабо пов'язаних між собою ознак дозволяє знизити вірогідність помилки при розпізнаванні та прийнятті управлінських рішень, так як такі ознаки породжуються різною фізичною природою походження (відповідно, різними за принципами засобами реєстрації характеристик), а також різними інформаційними просторами. Іншими словами, завада, яка впливає на значення однієї ознаки з малою долею імовірності також буде відбиватися на значеннях слабо пов'язаних ознак.

Таким чином, у випадку використання багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів зі спільним аналізом інформаційних ознак, представлення об'єкта розпізнавання зводиться до класичного вигляду (вектору у просторі ознак у якого ознаки є координатами), однак значно розширюється кількість інформаційних ознак, особливо тих, що мають малий взаємний вплив. Все це сприяє забезпеченню високої достовірності розпізнавання, а за умови проведення селекції раціональної сукупності інформативних ознак – зменшенню часової складності та підвищенню оперативності класифікації.

Висновки

Основні результати, представлені у статті, полягають у наступному.

1. Розроблена методика спільного аналізу інформаційних ознак у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання, яка, наряду з роздільним аналізом, дозволяє розширити методологію прийняття рішень в системах автоматизованої обробки інформації і управління, а також збільшити гнучкість і універсальність алгоритмічної бази під конкретні застосування.

2. Запропонована методика спільного аналізу інформаційних ознак дозволяє збільшити дос-

товірність розпізнавання за рахунок того, що для аналізу надається більша кількість інформативних ознак, що уточнює класифікаційне рішення. З іншого боку, часова складність мінімізується завдяки селекції інформативних ознак та обмежується часом досягнення не максимального, а тільки апріорно завданого рівня достовірності розпізнавання.

3. З точки зору статистичної теорії розпізнавання образів обґрунтовано, що збільшення інформаційних ознак підвищує достовірність отримання класифікації, однак надмірна їх кількість призводить до додаткових втрат часу на обробку і прийняття рішення.

4. Для зменшення розмірності інформаційного поля аналізу даних та здійснення селекції найбільш інформативних ознак запропонований варіант використання коваріаційної матриці, в якій перевагу у аналізі слід надавати її діагональним елементам, так як вони знаходяться у малій взаємозалежності, що позитивно відбивається на інваріантності до зовнішніх впливів і завад.

5. Запропонована методика спільного аналізу була використана при побудові інформаційної системи перевірки текстових даних на унікальність на базі Луганського національного університету ім. Тараса Шевченка. Використання нових технічних рішень дозволило збільшити статистичну достовірність на 54%, що пояснюється більш коректним співставленням даних під час перевірки.

Список використаної літератури

1. Симанков, В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография [Текст] / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.

2. Захожай, О. І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації й управління складними системами [Текст] / О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2013. – № 01 (013). – С. 61–68.

3. Рябенський, В. М. Комбіновані системи розпізнавання образів [Текст] / В. М. Рябенський, О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2011. – №1(009). – С. 152–157.

4. Захожай, О. І. Основні аспекти структурної організації комбінованих систем розпізнавання образів [Текст] / О. І. Захожай, Ю. Е. Паєранд // Вісник Херсонського національного технологічного університету. – 2012. – № 1(44). – С. 221–225.

5. Захожай, О. І. Селекція раціональної сукупності образів в комбінованих системах розпізнавання [Текст] / О. І. Захожай // Журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – 2013. – № 09(85). – С. 186–192.

6. Журавлев, Ю. И. Избранные научные труды [Текст] / Ю. И. Журавлев. – М.: Издательство Магистр, 1998. – 420 с.

7. Патент 90109 Україна, МПК (2014.01) G06 9/00. Пристрій розпізнавання образів / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай (Україна). – опубл. 12.05.2014, бюл. №9.

8. Патент 92493 Україна, МПК (2014.01) G06K 9/00. Спосіб розпізнавання образів / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай (Україна). – опубл. 26.08.2014, бюл. №16.

9. Патент 100283 Україна, МПК (2015.01) G06K 9/00. Спосіб розпізнавання образів / О. С. Меньяйленко, Бідюк П. І., О. І. Захожай (Україна). – опубл. 27.07.2015, бюл. №14.

10. Захожай, О. І. Критерії визначення інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання [Текст] / О. І. Захожай // Журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – 2018. – № 27(103). – С. 196–204.

11. Вапник, В. Н. Теория распознавания образов [Текст] / В. Н. Вапник, А. Я. Червонекис. – М.: Наука, 1974. – 298 с.

12. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2002. – 478 с.

13. Fisher, R. A. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. [Text] / R. A. Fisher // Annals of Eugenics. – 1936. – vol. 7. – pp. 179–188.

14. Горелик, А. Л. Методы распознавания. Изд. 2 [Текст] / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1984. – 219 с.

References

1. Simankov, V. S., Lutsenko, E. V., (1999), Adaptive management of complex systems based on the theory of pattern recognition: Monography [Adaptivnoe upravlenie slozhnyimi sistemami na osnove teorii raspoznavaniya obrazov: Monografiya], Techn. univ. Kuban state technol. univ., Krasnodar, 318 p.

2. Zakhzhay, O. I., (2013), Information technology of patterns recognition in tasks of automation information processing and complex systems controlling. Problems of information technologies [Informatsiina tekhnolohiia rozpoznavannia obraziv v zadakhkh avtomatyzovanoi obrobky informatsii y upravlinnia skladnymy systemamy. Problemy

informatsiinykh tekhnolohii], vol. 01(013), pp. 61–68.

3. Ryabenkyi, V. M., Zakhzhay, O. I., (2011), Combined systems of patterns recognition. Problems of information technologies [Kombinovani systemy rozpoznavannia obraziv. Problemy informatsiinykh tekhnolohii], vol. 1(009), pp. 152–157.

4. Zakhzhay, O. I., Paerand, Yu. E., (2012), Basic aspects of structure organization of combined systems of patterns recognition. Bulletin of Kherson national technological university [Osnovni aspekty strukturnoi orhanizatsii kombinovanykh system rozpoznavannia obraziv. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnolohichnoho universytetu], vol. 1(44), pp. 221–225.

5. Zakhzhay, O. I., (2013), The rational aggregate selection of informative patterns in the combined recognition systems. Electrotechnical and computer systems [Seleksiia ratsionalnoi sukupnosti obraziv v kombinovanykh systemakh rozpoznavannia. Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy], vol. 09(85), pp. 186–192.

6. Zhuravlev, Yu. I., (1998), Selected scientific works [Izbrannye nauchnye trudy], Publishing house Magistr, Moscow, 420 p.

7. Menyaylenko, O. S., Zakhzhay, O. I., Patent of Ukraine 90109 IPC (2014.01) G06 9/00 publ. 12.05.2014, bull. №9.

8. Menyaylenko, O. S., Zakhzhay, O. I., Patent of Ukraine 92493 IPC (2014.01) G06K 9/00 publ. 26.08.2014, bull. №16.

9. Menyaylenko, O. S., Bidiuk P. I., Zakhzhay, O. I., Patent of Ukraine 100283 IPC (2015.01) G06K 9/00 publ. 27.07.2015, bull. №14.

10. Zakhzhay, O. I., (2015), Criteria for the determination of informativity and patterns ranking for making decisions in multi-parametric combined recognition systems. Electrotechnical and computer systems [Kriterii vyznachenia informatyvnosti ta ranzhuvania obraziv pry pryjniatti rishen v bagatoparametrychnykh kombinovanykh systemakh rozpoznavannia. Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy], vol. 27(103), pp. 196–204.

11. Vapnik, V. N., Chervonenkis A. Ya., (1974), Theory of patterns recognition [Teoriya raspoznavaniya obrazov], Nauka, Moscow, 298 p.

12. Gmuran, V. E., (2002), Theory of probability and mathematical statistic [Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika], High school, Moscow, 478 p.

13. Fisher, R. A., The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. Annals of Eugenics, vol. 7, pp. 179–188.

14. Gorelik, A. L., Skripkin, V. A., (1984), Methods of patterns recognition. Publ. 2 [Metody

JOINT ANALYSIS OF INFORMATIONAL SIGNS IN MULTI-PARAMETRIC COMBINED PATTERNS RECOGNITION SYSTEMS

O. I. Zakhzhay

Volodymyr Dahl East Ukrainian university

Abstract. *In modern science and technique is known a class of systems – multi-parametric patterns recognition systems. In such systems, recognition objects are represented by several patterns of different nature of origin. This allows to significantly increase the number of informative signs for the recognition object and increase the classification reliability. But in this case arised a negative aspect – increasing the time complexity of the data analyze processing. To eliminate this drawback is known the method of separate analysis of informative features, but it allows to obtain high accuracy of recognition only with a sufficiently large amount of data to be analyzed. This article considered question of the methods development for the joint analysis of information signs in multi-parametric combined pattern recognition systems. Joint analysis involves combining all the images that describe the object of recognition into one global image, the further selection of informative features and the decision on the basis of the minimum metrics. For minimizing the time complexity of data processing and decision making on classification, in article proposed to use methods for selecting informative signs. Using the informative signs selecting gives possibility to exclude form analysis less informative data and get a solution for fewer more informative parameters. The proposed technique using allows, in the case of a limited recognition object description and a small quantity of informative signs, to build an effective strategy for making a decision on classification, which provides increased reliability of recognition and reduced time complexity. The effectiveness of the proposed solution is confirmed from the standpoint of the statistical theory of recognition of Vapnik-Chervonenkis. The results are implemented in the information system for checking textual data for uniqueness.*

Keywords: *joint analysis, separate analysis, multi-parametric combines systems of patterns recognition, patterns and signs informativity, selection of informative signs.*

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ В МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ

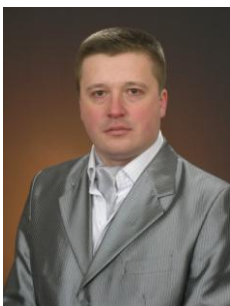
О. И. Захожай

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Аннотация. *Предложена методика совместного анализа информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов. Использование предложенной методики позволяет, в случае ограниченного описания объекта распознавания и малого количества информативных признаков, построить эффективную стратегию принятия решения о классификации, которая обеспечивает повышение достоверности распознавания и снижение временной сложности.*

Ключевые слова: *совместный анализ признаков, отдельный анализ признаков, многопараметрические комбинированные системы распознавания образов, информативность образов и признаков, селекция информативных признаков.*

Получено: 29.10.2018



Захожай Олег Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Просп. Центральний, 59-а, Сєверодонецьк, Україна, e-mail: zakhzhay.oleg@gmail.com, тел. +380668002274.

Oleh Zakhzhay, PhD, ass. prof., associate professor of programming and mathematics chair in Volodymyr Dahl East Ukrainian university. Central ave., 59-a, Severodonetsk, Ukraine, e-mail: zakhzhay.oleg@gmail.com, phone: +380668002274.

ORCID ID: 0000-0002-9078-3242