УДК 001.891:65.011.56
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/22

Повхан І.Ф.
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ПИТАННЯ ОДНОЗНАЧНОГО ПОКРИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРЯМОКУТНИКАМИ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Робота торкається важливого питання теорії розпізнавання образів – проблеми ефективного та економічного опису (прямокутними функціями) дискретних зображень. На сьогодні є цілий ряд підходів, методів та алгоритмів для виділення ознак на зображеннях і пакети інструментальних програм для їх реалізації, однак залишається проблема знаходження системи оптимальним ознак та їх наборів, тобто пошук таких властивостей зображень у просторі, класифікація яких була б можливою, не дуже складною та економічно вигідною задачею.

Існують сотні методів та алгоритмів виділення та оцінки якості атрибутів дискретних зображень. Причому для кожної практичної задачі класифікації зображень, системи ознак, що необхідні для розв'язку, як правило, різні, і їх потрібно заново визначати. Очевидним стає знаходження оптимальних систем ознак. Часто задачу знаходження оптимальних таких систем зводять до задачі мінімізації вихідного опису зображення. Проте це стосується лише випадку, коли оптимальна система ознак є серед множин ознак, які задають опис зображень, що здебільшого є тільки припущенням.

Важливою задачею опису дискретного зображення залишається питання його представлення за допомогою набору прямокутників і їх ефективні алгоритмічні схеми. Від ефективного розв'язку цього питання значно залежить оптимальність інформаційного опису дискретного зображення та складність результуючого правила класифікації.

У роботі автор пропонує метод мінімізації вихідного опису дискретних зображень, який дозволяє побудувати мінімальне зображення довільної структури на основі методу представлення дискретного об'єкту набором прямокутних функцій. Також піднімається питання однозначного покриття зображення прямокутниками та пропонується його ефективна алгоритмічна реалізація.

Ключові слова: *розпізнавання дискретних зображень, прямокутна функція, навчальна вибірка.*

Постановка проблеми. З літератури відомо, наскільки важливою є задача знаходження оптимальних (у певному сенсі) систем опису зображень. Часто задачу знаходження оптимальних систем ознак зводять до задачі мінімізації вихідного опису зображення. Проте це стосується лише випадку, коли оптимальна система ознак є серед множин ознак, які задають опис зображень, що переважно є тільки припущенням. Виникає принципове питання представлення або однозначного покриття (фіксованого опису) деякого дискретного зображення за допомогою набору прямокутних функцій (прямокутників). Ефективне її вирішення дозволить забезпечити простий і мінімальний опис зображення, що в свою чергу гарантує швидку та якісну фінальну процедуру розпізнавання.

Нехай маємо $H = H_1 \cup \ldots \cup H_l$, де $H_1, \supset, H_l$ – класи зображень. Відповідно $I(l) = \{w_1, \ldots, w_m\}$ – деякі зображення з множини H, відносно яких відома приналежність до визначених класів, причому $\forall H_j, j = 1, \ldots, l; \exists t, t = 1, \ldots, m, w_t \in H_j$. Аналогічно $I(g) = \{w_1, \ldots, w_g\}$ – множина зображень з H, відносно яких не відома належність до класів. Необхідно на основі цієї початкової інформації та деяких апріорних даних $U(I)$ побудувати алгоритм класифікації, який би довільне допустиме значення (об'єкт класифікації) $w_i \in H$ відніс до визначеного класу.

Автор ввважає, що первинна інформація про зображення, яка доступна для обробки, задана у вигляді деякої фіксованої матриці. Якщо кожному зображенню $w_i \in H$ можна поставити у відповідність деякий вектор $I(w_j) = (a_1^j, \ldots, a_n^j)$ за допомогою певних алгоритмів $A_i, i = 1, \ldots, k$, то маємо класичну задачу розпізнавання образів, де алгоритми A_i виступають у якості інструменту синтезу ознак зображень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи проблематику задач класифікації та розпізнавання, можна побачити велику частку робіт, присвячених проблематиці оцінки якості ознак і мінімізації ознакового опису [1–3]. Це дослідження продовжує цикл робіт, які присвячені методам і підходам розпізнавання (систем класифікації) дискретних об'єктів [4–6]. У них піднімаються важливі питання побудови, використання та оптимізації моделей систем класифікації дискретних зображень.

На відміну від існуючих методів, головною особливістю деревоподібних систем розпізнавання зображень є те, що важливість окремих ознак (групи ознак чи набору фіксованих алгоритмів) визначається відносно функції, яка задає розбиття об'єктів на класи [7]. Причому слід пам'ятати, що числова величина вказаної важливості характеризує помилку розподілу об'єктів на класи [8].

Відокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Зважаючи на початковий аналіз поточної проблематики розпізнавання та класифікації дискретних зображень, можна виокремити актуальну задачу інформаційного представлення дискретного зображення та побудови ефективної схеми розпізнавання дискретних об'єктів (опису дискретного зображення за допомогою прямокутних функцій), можливість простої, ефективної та економної роботи алгоритмічної схеми покриття дискретного зображення набором прямокутників (прямокутних функцій).

Мета роботи. Метою роботи є отримання ефективних алгоритмічних схем покриття дискретного зображення множиною прямокутних функцій і можливості використання цього підходу в задачах розпізнавання та класифікації зображень. Саме це дозволить забезпечити простий та ефективний процес розпізнавання образів, а отже отримати найбільш адекватну та економічну форму результуючої схеми розпізнавання, що дозволить економити процесорний час на її роботу та оперативну пам'ять для зберігання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Питання представлення зображень за допомогою прямокутних функцій. Нехай на початковому етапі задане деяке бінарне зображення S на матриці $2^p \times 2^q, p, q \in N$. Будемо вважати, що існує деякий оператор P , який однозначно покриває це зображення прямокутниками та видає цю інформацію у вигляді деякої фіксованої множини:

$$S = \left\{[x_1, y_1], \left[x^1, y^1\right]; \ldots; [x_k, y_k], \left[x^k, y^k\right]\right\} \qquad (1)$$

Автор зауважує, що тут $[x_i, y_i]$ – верхня ліва координата i – тового прямокутника, який покриває зображення S , а відповідно $\left[x^i, y^i\right]$ – нижня права координата i – тового прямокутника, який покриває зображення S , $(i = 1, \ldots, k)$, k – кількість прямокутників, які покривають початкове зображення S . Неважко переконатися, що S повністю характеризує початкове зображення S .

На наступному етапі за цією множиною S вже побудовано такі набори:

$$A_1 = (x_1 - y_1, x_2 - y_2, \ldots, x_k - y_k) ;$$

$$A_2 = \left(x^1 - y^1, x^2 - y^2, \ldots, x^k - y^k\right) ;$$

$$\overline{A_1} = ((x_1 - y_1) - (x_2 - y_2), (x_2 - y_2) - (x_3 - y_3), \ldots$$
$$\ldots, (x_{k-1} - y_{k-1}) - (x_k - y_k)) = (a_1, \ldots, a_{k-1}) ;$$

$$\overline{A_2} = (\left(x^1 - y^1\right) - \left(x^2 - y^2\right), \left(x^2 - y^2\right) - \left(x^3 - y^3\right), \ldots$$
$$\ldots, \left(x^{k-1} - y^{k-1}\right) - \left(x^k - x^k\right)) = \left(a^1, \ldots, a^k\right) .$$

Так, a_i та a^i можна обчислити за такими формулами:

$$a_i = (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1}) ;$$

$$a^i = \left(x^i - y^i\right) - \left(x^{i+1} - y^{i+1}\right), (i = 1, \ldots, k - 1) ;$$

$$\overline{D_1} = (x_1 - x_2, x_2 - x_3, \ldots, x_{k-1} - x_k) = (d_1, \ldots, d_{k-1}) ;$$

$$\overline{D_2} = \left(x^1 - x^2, x^2 - x^3, \ldots, x^{k-1} - x^k\right) = \left(d^1, \ldots, d^{k-1}\right) ;$$

Далі автор вводить позначення $A(S) = \left\{\overline{A_1}, \overline{A_2}, \overline{D_1}, \overline{D_2}\right\}$ та пропонує теорему.

Теорема 1 для деякого фіксованого зображення S , ознаки – (x_1, y_1) , $\left(x^1, y^1\right)$ та $A(S)$ дозволяють його однозначно визначити.

Доведення. Для доведення цієї теореми автор наводить (x_{i+1}, y_{i+1}) через (x_i, y_i) та $\left(x^{i+1}, y^{i+1}\right)$ через $\left(x^i, y^i\right)$. Таким чином теорема буде доведена, оскільки на початку відомі (x_i, y_i) та $\left(x^i, y^i\right)$.

$$\begin{cases} a_i = (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1}) \\ d_i = x_i - x_{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i+1} = x_i - d_i \\ y_{i+1} = y_i + a_i - d_i \end{cases} .$$

Аналогічно отримаємо:

$$\begin{cases} a^i = \left(x^i - y^i\right) - \left(x^{i+1} - y^{i+1}\right) \\ d^i = x^i - x^{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^{i+1} = x^i - d^i \\ y^{i+1} = y^i + a^i - d^i \end{cases} .$$

Звідси можна зробити висновок, що теорему доведено.

Питання однозначного покриття зображень прямокутниками. На наступному етапі дослідження автор пропонує просту алгоритмічну реалізацію загального алгоритму однозначного покриття дискретного зображення S набором прямокутників. Нехай зображення задано на матриці M розміром $P \times Q$, $P \in N$, $Q \in N$, N – множина натуральних чисел. Задача оптимального покриття зображення прямокутниками не є простою, але існує досить багато відносно простих алгоритмів, які однозначно покривають зображення прямокутниками. При вирішенні практичних задач таке покриття буде близьке до оптимального. Автор наводить один із можливих алгоритмів. Нехай $PR[1, K]$ – масив для зберігання верхніх лівих точок, виділених i – тових прямокутників:

$$\begin{cases} X_I = PR[1, I] \\ Y_I = PR[1, I+1] \end{cases}$$

Відповідно $PR[2, K]$ – масив для зберігання нижніх правих точок фіксованого прямокутника

$$\begin{cases} X^I = PR[2, I] \\ Y^I = PR[2, I+1] \end{cases}$$

Вихідні дані: $M(*,*)$ – вихідне зображення, P, Q – розміри зображення (матиці зображення). Тоді загальна схема алгоритму буде такою:

Крок 1. Ввести зображення

$$M[i, j]; i = 1, 2, ..., P; j = 1, 2, \dots, Q;$$

Крок 2. $i0 = 0$;

Крок 3. $i = i0$;

Крок 4. $i = i + 1; j = 0$;

Крок 5. $j = j + 1$;

Крок 6. Якщо $M[i, j] = 1$, то *Крок 7*, в іншому випадку *Крок 25*;

Крок 7. $i1 = i$; $j1 = j$; $K = -1$; $K = K + 2$; $PR[1, K] = i1$; $PR[1, K+1] = j1$;

Крок 8. $i = i + 1$; $j = j + 1$;

Крок 9. Якщо $M[i, j] = 1$, то *Крок 10*, в іншому випадку *Крок 13*;

Крок 10. $K1 = i1 - 1$; $K2 = j1 - 1$;

Крок 11. $K2 = K2 + 1$;

Крок 12. Якщо $M[i, j] = 0$, то *Крок 13*, в іншому випадку *Крок 29*;

Крок 13. $i = i - 1$;

Крок 14. Якщо $M[i, j] = 1$, то *Крок 15*, в іншому випадку *Крок 18*;

Крок 15. $K1 = i1 - 1$;

Крок 16. $K1 = K1 + 1$;

Крок 17. Якщо $M[i, j] = 0$, то *Крок 18*, в іншому випадку *Крок 33*;

Крок 18. $i = i + 1$; $j = j - 1$;

Крок 19. Якщо $M[i, j] = 1$, то *Крок 20*, в іншому випадку *Крок 23*;

Крок 20. $K2 = j1 - 1$;

Крок 21. $K2 = K2 + 1$;

Крок 22. Якщо $M[i, j] = 0$, то *Крок 23*, в іншому випадку *Крок 41*;

Крок 23. $i = i - 1$;

Крок 24. $PR[2, K] = i$; $PR[2, K+1] = j$; $i0 = i - 1$; Перейти на *Крок 3*;

Крок 25. Якщо $j < Q$, то *Крок 5*, в іншому випадку *Крок 26*;

Крок 26. Якщо $i < P$, то *Крок 4*, в іншому випадку *Крок 27*;

Крок 27. Вивід і візуалізація масиву PR;

Крок 28. Програма завершена (END) – *Крок 43*.

Крок 29. Якщо $K2 < j$, то *Крок 11*, в іншому випадку *Крок 30*;

Крок 30. $K1 = K1 + 1$;

Крок 31. Якщо $M[K1, j] = 0$, то *Крок 13*, в іншому випадку *Крок 32*;

Крок 32. Якщо $K1 < i$, то *Крок 30*, в іншому випадку *Крок 8*;

Крок 33. Якщо $K1 < j$, то *Крок 16*, в іншому випадку *Крок 34*;

Крок 34. $j = j + 1$;

Крок 35. Якщо $M[i, j] = 0$, то *Крок 36*, в іншому випадку *Крок 39*;

Крок 36. $K1 = i1 - 1$;

Крок 37. $K1 = K1 + 1$;

Крок 38. Якщо $M[K1, j] = 0$, то *Крок 39*, в іншому випадку *Крок 40*;

Крок 39. $j = j + 1$; Перейти на *Крок 23*;

Крок 40. Якщо $K1 < j$, то *Крок 37*, в іншому випадку *Крок 34*;

Крок 41. Якщо $K2 < j$, то *Крок 21*, в іншому випадку *Крок 42*;

Крок 42. $i = i + 1$; Перейти на *Крок 19;*

Крок 43. Очистити всі змінні та масиви, звільнити пам‘ять.

Крок 44. Кінець роботи алгоритму (END).

Автор звертає увагу, що запропонована алгоритмічна реалізація відрізняється простотою, ефективністю. Вона знайшла свою реалізацію в бібліотеці автономних алгоритмів програмної системи «Оріон ІІІ» [3]. Для більшої деталізації роботи схеми цього алгоритму автор розглядає на конкретному прикладі його повну роботу. Нехай маємо матрицю зображення, задану такими параметрами: $P = 10, Q = 16$. Далі розглянемо деяке зображення, яке представлене у Таблиці 1.

На першому етапі подаємо на вхід представленому алгоритму опису прямокутниками таку матрицю зображення. На наступному етапі в Таблиці 2 представлене покриття такого зображення (початкового зображення (Таблиця 1) прямокутниками за допомогою описаного вище алгоритму.

На заключному етапі – масив *PR* після роботи цього алгоритму буде мати такі значення, які наведені в Таблиці 3.

Тобто будемо мати таку ситуацію:

$$A = \{((1,10),(7,11));((3,4),(4,7));((4,12),(7,12));\dots;((8,14),(9,15))\}.$$

Можна запропонувати ще ряд таких алгоритмічних реалізацій, які б однозначно покривали деяке дискретне зображення прямокутниками та враховували наперед задані правила або особливості поточної задачі розпізнавання.

Таблиця 1

Тестове зображення в матричній формі

$P \setminus Q$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1										1	1					
2										1	1					
3				1	1	1	1			1	1					
4				1	1	1	1			1	1	1				
5						1	1	1	1	1	1	1				
6						1	1	1	1	1	1	1	1			
7						1	1			1	1	1	1			
8						1	1			1			1	1	1	
9						1	1			1			1	1	1	
10																

Таблиця 2

Покриття зображення прямокутниками за допомогою описаного вище алгоритму

$P \setminus Q$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1										2	2					
2										2	2					
3				3	3	3	3			2	2					
4				3	3	3	3			2	2	4				
5						5	5	5	5	2	2	4				
6						5	5	5	5	2	2	4	6			
7						7	7			2	2	4	6			
8						7	7			8			6	9	9	
9						7	7			8			6	9	9	
10																

Таблиця 3

Вміст масиву *PR* в кінці роботи цього алгоритму

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	1 10	3 4	4 12	5 6	6 13	7 6	8 10	8 14
2	7 11	4 7	7 12	6 9	9 13	9 7	9 10	9 15

Висновки. Так, можна навести такі підсумкові пункти:

1) Деякий оператор P, який однозначно покриває початкове дискретне зображення S набором прямокутників, генерує деяку фіксовану множину S загального вигляду (1).

2) Множина S буде повністю характеризувати (представляти, описувати) початкове зображення S.

3) Деяке фіксоване зображення S буде однозначно визначатися верхньою лівою координатою, нижньою правою координатою та множиною деякою $A(S)$.

4) Запропонований у роботі алгоритм однозначного покриття дозволяє забезпечити ефективний програмний механізм покриття зображення прямокутниками.

Список літератури:

1. Zheng Z., Kohavi R., Mason L. (2001). Real world performance of association rule algorithms. Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Ed. by F. Provost, R. Srikant. P. 401–406.

2. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2004). Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі методу розгалуженого вибору ознак. Науково-технічний журнал "European Journal of Enterprise Technologies". № 7(1]). С. 13–15.

3. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2003). Метод розгалуженого вибору ознак у математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів. Науково-технічний журнал «Штучний Інтелект». № 7. С. 246–249.

4. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2011). Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 6/4(54). С. 24–28.

5. Повхан І.Ф., Ващук Ф.Г. (2012). Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 1/4(55). С. 29–33.

6. Quinlan J.R. (2008). Induction of Decision Trees. Machine Learning. № 1. P. 1−81.

7. Vtogoff P.E. (2009). Incremental Induction of Decision Trees. Machine Learning. № 4. P. 161−186.

8. Повхан І.Ф. (2018). Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об’єктів. Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: Технічні науки. Том 29(68) № 6(2018). С. 217–222.

9. Povhan I. (2019). General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології». Львів. 2019, Випуск 11, С. 112–117.

10. Povhan I. (2019). Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree : Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології». Львів. 2019, Випуск 12, С. 20–29.

Povkhan I.F. THE QUESTION OF COVERING IMAGES WITH RECTANGLES IN IMAGE RECOGNITION PROBLEMS

The work raises an important question of the theory of pattern recognition-the problem of effective and economic description (rectangular functions) of discrete images. Today, there are a number of approaches, methods and algorithms for the selection of features in images and packages of tool programs for their implementation, but there is a problem of finding a system of such features and their sets, that is, the search for such properties of images in the space of classification of which would be possible and not very difficult and cost-effective task.

There are hundreds of methods and algorithms for selecting and evaluating the quality of discrete image attributes. Moreover, for each practical problem of image classification, the systems of features required for the solution are usually different and need to be re-defined. It becomes obvious to find the optimal feature systems. Often the problem of finding optimal feature systems is reduced to the problem of minimizing the original image description. However, this applies only to the case when the optimal system of features is among the sets of features that define the description of images, which is usually only an assumption.

An important task of describing a discrete image is its representation using a set of rectangles and their effective algorithmic schemes. The optimality of the information description of the discrete image and the complexity of the resulting classification rule largely depend on the effective solution of this problem.

The work proposes a method of minimizing the source of the description of discrete images, allowing you to build a minimum image of an arbitrary structure based on the method of representation of discrete object is a set of rectangular features are also raised the question clear coating image by rectangles, and we propose an efficient algorithmic implementation.

Key words: *recognition of discrete images, rectangular function, characteristic training set.*