

DOI [10.28925/2663-4023.2020.8.149164](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.8.149164)

УДК 004.

**Грицик Володимир Володимирович**

д.т.н., професор, професор кафедри автоматизованих систем управління  
Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна  
ORCID: 0000-0002-9696-5805  
volodymyr.v.hrytskyk@lpnu.ua

**Назаркевич Марія Андріївна**

д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних технологій видавничої справи  
Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна  
ORCID: 0000-0002-6528-9867  
mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua

**Дишко Андрій Петрович**

студент ІКНІ  
Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна  
ORCID: 0000-0002-7681-2211  
ad@kubp.com.ua

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ, ОТРИМАНИХ ВІД ДАТЧИКІВ ВИДИМОГО СПЕКТРУ

**Анотація.** Сьогодні, в епоху інтеграції систем штучного інтелекту майже в кожній галузі при впровадженні в системи підтримки прийняття рішень дуже затребувані автономні агенти, що вимагає дослідження методів класифікації. Порівняємо аналіз методу семантичних площин, методу потенціалів та методу потенціалу в області рецепторів. Спочатку у вступі автори демонструють потреби в автономних системах адаптивного сприйняття у видимому діапазоні спектра. Як особливу мету ці методи порівнюються за критеріями швидкості, точності та кількості зберігання, що використовуються після навчання. Як загальна ідея, яку ми шукаємо, ми шукаємо методику найкращого поєднання методів для різних умов у полі спостереження зорового спектрального діапазону. У роботі представлені теорії кожного методу, а потім показані таблиці порівняльного аналізу результатів. Покрокові порівняльні експерименти детально описані. Зміни на кожному кроці детально відображаються у відповідних таблицях. Більше того, наприкінці статті представлені порівняльні характеристики кожного методу з однаковим часом навчання в однакових типах експериментів для кожного методу. Як результат, у першій групі таблиць ми бачимо різницю у часі розпізнавання та кількості пам'яті, необхідної для правильної роботи. Це таблиці істинності для двох точок, трьох точок, двох точок і двох площин, трьох точок і двох площин, трьох точок і трьох площин, трьох точок і семи площин. Висновок дає ґрунтовне пояснення, де використовувати найкращий метод. Представлені потреби системи в обчислювальних ресурсах у застосуванні кожного режиму та виведені відповідні залежності. Далі, якщо відбувається навчання кілька разів на одному об'єкті (тобто навчання кілька разів), ви можете розраховувати, що помилки при розбитті простору рецепторів будуть різними. У цьому випадку можна покращити продуктивність алгоритму розпаралелюючи процес на кілька потоків. Використовуючи цей метод одночасно і незалежно один від одного на одному зображенні, це багатопотокове навчання на декількох ядрах комп'ютера. Розпізнаючи нові об'єкти, вони класифікуються не обов'язково як приналежні до одного класу. Остаточне рішення приймається «голосуванням» - об'єкт відноситься до зображення, до якого він був віднесений більшою кількістю паралельних потоків.

**Ключові слова:** класифікація образів, багатопотоковість; машинне навчання, метод потенціалів, метод потенціалів на полі рецепторів



## 1. ВСТУП

Донедавна потреба в інтелектуалізації комп'ютерних технологій була у тому, щоб прибрати рутинні роботи з життя людини. Однак, з 2012 року відбувся ривок в навчанні ШНМ і системи ШІ почали займатися традиційно «людськими» задачами, як приклад, в березні 2016, система ШІ AlphaGo, створена DeepMind, перемогла у грі Го, у листопаді 2016 GoogleDeepmind об'єдналася з компанією Blizzard для розробки ШІ, що здатний грати у StarCraft 2 (ця гра потребує візуальної оцінки поля уваги) [2]. Сьогодні навіть класифікація друкарських робіт робиться автоматично [2, 10-13].-

Сьогодні в епоху інтеграції систем штучного інтелекту у всі практично у всі галузі особливо затребуваними є дослідження методів класифікації, що до їх впровадження у системи підтримки прийняття рішень [3-9]. Побутові прибори та побутова техніка не тільки автономно приймають рішення, але й стають частиною Інтернет рішень. Самокеровані авто (Тесла) вже мають комерційне впровадження і передбачається, що до 5 років у США введуть заборону на продаж авто без систем штучного інтелекту (наприклад, класифікація станів і автоматичне гальмування у випадку виникнення загрози зіткнення). У багатьох компаніях клієнтів по Інтернету обслуговують автономні агенти (боти): транспортні компанії, банківський сектор, продажі речей. До 2030 року в світі можуть зникнути (більш ймовірно – зникнуть) люди-банкіри, люди-бухгалтери, люди-кур'єри...[16], зміниться поняття фермерства [17] – це будуть люди, що обслуговують роботів, які самостійно виконуватимуть усе: від посадки до доставки на ринки (очевидно автоматизовані системи повинні будуть виконувати таку функцію як класифікація станів) [14-15].

Таким чином, четверта промислова революція створює потребу для розробки методів і алгоритмів, що допоможуть системам самостійно адаптуватися до нових станів [18-24]. Отже, системи класифікації, особливо у візуальному спектрі, є вкрай затребуваними; тому проведемо огляд кількох методів класифікації, які можна застосувати у візуальному спектрі.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Дослідимо три методи класифікації об'єктів за даними, що отримані з візуального поля уваги (метод січних площин, метод потенціалів і метод потенціалів на полі рецепторів). Зокрема, їх швидкодію, точність, обсяг обчислень та об'єм використаної пам'яті.

## 3. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ

### 3.1. Метод січних площин

Нехай  $T_1$  – тестовий образ, а  $E_1, E_2 \dots E_n \dots$  образи еталонів, тоді для застосування методу січних площин [24] виглядатиме наступним чином:

**Крок 1.** Запам'ятати координати перших двох точок (що приналежать образу об'єкта (чорних пікселів)).

**Крок 2.** Вибираємо  $n$  чисел  $\lambda_i \in N; i = \overline{1, n}$ , де  $n$  - розмірність простору рецепторів (к-сть дискретних елементів, що приналежать образу).

**Крок 3.** Визначаємо значення двох сум:

$$\sigma^{(1)} = \sum \lambda_i x_i^{(1)} \text{ або } \sigma^{(2)} = \sum \lambda_i x_i^{(2)}, \quad (1)$$

де  $x_i^{(1)}$  - координати першої, а  $x_i^{(2)}$  - координати другої точки.

**Крок 4.** Вибираємо, також випадковим чином, певне число  $\lambda_{n+1}$  більше, ніж менше із сум  $\sigma^{(1)}$  і  $\sigma^{(2)}$ , але менше, ніж більше з цих сум.

$$\Sigma^{(1)} = \sum \lambda_i x_i^{(1)} - \lambda_{n+1} \quad (2)$$

$$\Sigma^{(2)} = \sum \lambda_i x_i^{(2)} - \lambda_{n+1}, \quad (3)$$

з огляду на спосіб, яким було вибрано число  $\lambda_{n+1}$  одна з цих сум обов'язково буде від'ємною, а інша - додатною. Геометрично це означає, що знайдені числа  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n+1}$  є коефіцієнтами площини, що розділяє дві наші точки. Дійсно, при підстановці в ліву частину рівняння цієї площини

$$\sum \lambda_i x_i^{(2)} - \lambda_{n+1} = 0 \quad (4)$$

координат однієї з точок виходить від'ємний результат, а при підстановці координат іншої точки – додатний. Відомо, що подібні результати виходять у тому випадку, коли точки лежать по різні боки від площини.

**Крок 5.** Позначимо положення даної точки відносно площини логічною одиницею «1», якщо при підстановці координат цієї точки в ліву частину рівняння площини виходить додатне число, та логічним нулем «0», у випадку, якщо при підстановці координат виходитиме від'ємне число.

Наприклад, уявімо частину пам'яті машини після проведення першої розділяючої площини у вигляді таблиці 1, яку будемо надалі називати таблицею знаків.

Таблиця 1

**Таблиця істинності для двох точок**

Таблиця знаків			
Номер точки	Образ	Номер площини	
		I	
		Знак точки	
1	A	0	
2	B	1	

**Крок 6.** При появі наступної (третьої) точки визначаємо її знак щодо першої площини і заповнюємо третій рядок таблиці знаків (таблиця 2).

Таблиця 2

**Таблиця істинності для трьох точок**

Таблиця знаків				
Номер точки	Образ	Номер площини		
		I		
		Знак точки		
1	A	0		
2	B	1		
3	A	1		

**Крок 7.** Здійснюємо пошук опонента, тобто по черзі порівнюємо останній рядок таблиці з кожною з попередніх рядків. Протиріччям вважається збіг рядків, що відносяться до різних образів. В даному випадку протиріччя очевидне: точка 3, що відноситься до образу А, потрапила по ту ж сторону від площини I, що і точка 2, яка відноситься до образу В.

**Крок 8.** Проводимо нову площину II, що розділяє точки 2 і 3 та обчислює знаки всіх занесених в таблицю точок відносно цієї площини.

Таблиця знаків набуває вигляду таблиці 3.

Таблиця 3

**Таблиця істинності для двох точок і двох площин**

Таблиця знаків				
Номер точки	Образ	Номер площини		
		I	II	
		Знак точки		
1	A	0	1	
2	B	1	0	
3	A	1	1	

Протиріччя ліквідовано. З'являються точки 4, 5 і 6. Після обчислення їх знаків приходимо до табл.4

Таблиця 4

**Таблиця істинності для трьох точок і двох площин**

Таблиця знаків				
Номер точки	Образ	Номер площини		
		I	II	
		Знак точки		
1	A	0	1	
2	B	1	0	
3	A	1	1	
4	C	0	0	
5	C	0	0	
6	B	0	0	

Пошук опонентів, виконаний після появи точки 4, а потім після появи точки 5, дає негативний результат. Після появи шостої точки виявляється протиріччя: точка 6 (образ B) лежить по ту ж сторону від площин I і II, що і точки 4 і 5 (образ C). Проводиться площина III, що розділяє точки 4 і 6, а потім, після нового пошуку опонента, - площина IV, що розділяє точки 6 і 5. Знаки всіх точок щодо нової площини представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 5

**Таблиця істинності для трьох точок і трьох площин**

Таблиця знаків					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		I	II	III	IV
		Знак точки			
1	A	0	1	1	1
2	B	1	0	1	0
3	A	1	1	1	1
4	C	0	0	1	1
5	C	0	0	0	1
6	B	0	0	0	0

Протиріччя знову ліквідовані.

З появою нових точок машина продовжує заповнювати таблицю знаків. З кожною новою точкою в таблиці з'являється новий рядок, з кожною площиною - новий стовпець. Таблиця знаків набуває вигляду таблиці 6.

Таблиця 6

Таблиця істинності для трьох точок і семи площин

Таблиця знаків								
Номер точки	Образ	Номер площини						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
		Знак точки						
1	A	0	1	1	1	0	1	1
2	B	1	0	1	0	0	1	0
3	A	1	1	1	1	0	1	0
4	C	0	0	1	1	1	0	1
5	C	0	0	0	1	1	0	1
6	B	0	0	0	0	0	1	0
7	C	0	0	0	0	1	0	1
8	B	0	0	1	1	0	1	1
9	C	0	0	1	1	0	0	1
10	A	0	0	1	1	0	1	0

**Крок 9.** Переходимо до виключення зайвих площин. На початку з таблиці знаків «викидається» стовпець, відповідний площині I. Потім проводиться пошук протиріч, тобто по чергове порівняння кожного рядка з усіма іншими. «Викидання» стовпчика означає, що його цифри при цьому не враховуються. Якщо протиріч не виявляється, тобто не знаходиться однакових рядків, що відносяться до різних образів, стовпець виключається з пам'яті машини. В іншому випадку стовпець «відновлюється», тобто його цифри враховуються в подальших операціях. Машина переходить до стовпця II, потім до III і далі, до останнього стовпця. У нашому випадку після викидання зайвих стовпців I, III і V таблиця знаків приймає вигляд табл. 7.

Таблиця 7

Виключення площин

Таблиця знаків					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		II	IV	VI	VII
		Знак точки			
1	A	1	1	1	1
2	B	0	0	1	0
3	A	1	1	1	0
4	C	0	1	0	1
5	C	0	1	0	1
6	B	0	0	1	0
7	C	0	0	0	1
8	B	0	1	1	1
9	C	0	1	0	1
10	A	0	1	1	0

У цій таблиці є рядки, що повністю збігаються. Це означає, що в просторі рецепторів є багатогранники, що містять більш ніж одну точку. Такі багатогранники могли з'явитися вже в першій частині алгоритму, а після викидання площин їх число могло ще більше зрости. Між тим для позначення кожного багатогранника цілком достатньо однієї точки. «Зайві» точки (тобто «зайві» рядки таблиці знаків) можна виключити з пам'яті машини.

**Крок 10.** Після перевірки можливості виключити останній стовпець переходимо до виключення зайвих рядків. Для цього всі рядки таблиць, починаючи з другого, порівнюються з першим рядком, і всі рядки, що з ним збігаються виключаються з таблиці. Потім проводиться порівняння з наступним рядком і так до тих пір, поки таблиці не залишаться тільки неспівпадаючі рядки. Після викидання зайвих рядків приходимо до табл. 8.

Таблиця 8

**Виключення рядків**

Таблиця знаків					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		II	IV	VI	VII
		Знак точки			
1	A	1	1	1	1
2	B	0	0	1	0
3	A	1	1	1	0
4	C	0	1	0	1
7	C	0	0	0	1
8	B	0	1	1	1
10	A	0	1	1	0

**Крок 11.** Раніше ми домовилися спочатку викидати зайві шматки однієї площини, а потім іншої і т. д. Ми вже згадували, що рядки таблиці знаків є кодами іменованих багатогранників. Цифри цих кодів вказують, по який бік від кожної площини лежить багатогранник і всі укладені в ньому точки простору. Багатогранники, розділені лише одним шматком однієї площини, мають коди, що відрізняються тільки одним розрядом, причому цей розряд відповідає площині, що їх розділяє. Це легко простежити по табл. 1.8 на прикладі багатогранників 3 і 10, 10 і 8, 8 і 4, 4 і 7.

Викидання зайвих шматків площин зводиться до складання таблиці суттєвих і несуттєвих розрядів для всіх рядків таблиці знаків. В цій новій таблиці (назвемо її таблицею розрядів) будемо ставити одиницю (1) на місці несуттєвого розряду таблиці знаків і нуль (0) - на місці суттєвого. Складання таблиці розрядів відбувається наступним чином. У таблицю розрядів заноситься одиниця в перший рядок першого стовпця. Потім проводиться перевірка законності такого об'єднання. Перевірка полягає в пошуку протиріччя в таблиці знаків, тобто в порівнянні інших розрядів першого рядка з відповідними розрядами інших рядків. Якщо протиріччя, тобто збіг рядків, що відносяться до різних образів, не знайдено машина переходить до другого рядку першого стовпця таблиці розрядів і заносить в неї одиницю. Якщо протиріччя існує, перед переходом до другого рядку одиниця в першому рядку замінюється нулем. Потім машина поновлює пошук протиріччя в таблиці знаків і розстановку нулів і одиниць в таблиці розрядів.

Після переходу до другого і подальших стовпців кожен з двох порівнюваних в даний момент рядків може мати несуттєві (тобто вже відмічені одиницями в таблиці розрядів) розряди. Тому порівняння ведеться тільки за розрядами, що одночасно є суттєвими для обох порівнюваних рядків. Після заповнення останнього рядка в останньому стовпці таблиця розрядів набуде вигляду табл. 9.

Таблиця 9

**Важливі і неважливі розряди**

Таблиця розрядів					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		II	IV	VI	VII
		Суттєві і несуттєві розряди			
1	A	0	1	0	0
2	B	1	0	1	0
3	A	1	0	1	0
4	C	1	1	0	0
7	C	1	1	0	0
8	B	0	1	0	0
10	A	1	0	1	0

**Крок 12.** Після заповнення таблиці розрядів в таблиці знаків можуть виявитися рядки, що відрізняються тільки несуттєвими розрядами (тобто ті, що збігаються суттєвими розрядами). Таким рядкам будуть відповідати повністю однакові рядки таблиці розрядів. У нашому випадку це рядки 3 і 10, а також 4 і 7. Очевидно, з кожної групи подібних рядків можуть бути виключені всі рядки, крім однієї. Очевидно, з кожної групи подібних рядків можуть бути виключені всі рядки, крім одного, що і виконується після заповнення таблиці розрядів, але пошук співпадаючих рядків тут виконується тільки по суттєвим розрядам. У нашому випадку з таблиць виключаються 3-й і 4-й рядки. Обидві таблиці в остаточному варіанті набувають вигляду табл. 10 і 11.

Таблиця 10

**Оптимізація 1 (виключення неважливих розрядів)**

Таблиця знаків					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		II	IV	VI	VII
		Знак точки			
1	A	1	1	1	1
2	B	0	0	1	0
7	C	0	0	0	1
8	B	0	1	1	1
10	A	0	1	1	0

**Оптимізація 2 (виключення неважливих розрядів)**

Таблиця розрядів					
Номер точки	Образ	Номер площини			
		II	IV	VI	VII
Суттєві і несуттєві розряди					
1	A	0	1	0	0
2	B	1	0	1	0
7	C	1	1	0	0
8	B	0	1	0	0
10	A	1	0	1	0

**Крок 13.** При пред'явленні нового об'єкта машина обчислює його знаки щодо всіх площин і отриманий код по черзі порівнює по суттєвим розрядам з усіма рядками таблиці знаків (табл. 10). При збігу рядків машина відносить новий об'єкт до відповідного образу.

**3.2. Метод потенціалів**

Зв'яжемо з кожною точкою, що з'явилася в процесі навчання, деяку функцію, аналогічну за формою електричного потенціалу, тобто максимальну в цій точці і спадаючу по всім напрямкам від неї (точка, таким чином, виявиться як би джерелом потенціалу). Такою функцією може бути, наприклад, функція

$$\phi(R) = \frac{1}{1 + \alpha R^2} \quad (5)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, від якого залежить швидкість спаданням  $\phi$ ,  $R$  - оприділена якимось чином відстань між точкою-джерелом і точкою, в якій обчислюється потенціал. За  $R$  може бути прийнята, наприклад, евклідова відстань між точками (корінь з суми квадратів різниць координат) або так звана відстань по Хеммінгу, що рівна числу неспівпадаючих розрядів в кодах обох точок. Величину  $\phi$  в кожній точці простору рецепторів можна вважати мірою близькості цієї точки до точки-джерела.

Нехай джерелами служить група точок, наприклад, отримана в процесі навчання множина, що відповідає образу  $A$ . Тоді створюваний в даній точці простору всіма джерелами цього образу середній потенціал, тобто сумарний потенціал поділений на число джерел (потенціал образу), буде характеризувати близькість даної точки до всього образу в цілому (ділення на число джерел потрібно для того, щоб результат не залежав від кількості джерел).

Нехай в процесі навчання пам'ять машини зафіксувала дві множини точок, що відповідають образам  $A$  і  $B$ , після чого з'явилася точка, що підлягає розпізнаванню. Визначимо середні потенціали, створювані в цій точці множинами  $A$  і  $B$ . Нову точку звісно буде віднести до того образу, чий потенціал в цій точці більше інших.

Найпростіший алгоритм розпізнавання, побудований на методі потенціалів [24], можна здійснити наступним способом:

**1. Навчання.**

В процесі навчання запам'ятовуються коди всіх точок, що з'явилися та вказівки, до якого з образів відноситься кожна точка.

**2. Розпізнавання**

Для точки  $x$ , що підлягає розпізнаванню, обчислюються потенціали кожного образу, тобто суми





$$\Phi(x, A) = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} \phi_{a_i} = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} \Phi(x, a_i), \quad (6)$$

$$\Phi(x, B) = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} \phi_{a_i} = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} \Phi(x, a_i), \quad (7)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\Phi(x, M) = \frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} \phi_{a_i} = \frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} \Phi(x, a_i), \quad (8)$$

тут  $A, B, \dots, M$  – позначення образів, що розпізнаються;

$N_A, N_B, \dots, N_M$  - кількості точок кожного образу, сприйнятих машиною в процесі навчання;

$\phi_{a_i} = \Phi(x, a_i) = \frac{1}{1 + \alpha R_{a_i}^2}$  - потенціал, утворений в розпізнаваній точці  $i$ -ю точкою образу  $A$

$\phi_{b_i} = \Phi(x, b_i) = \frac{1}{1 + \alpha R_{b_i}^2}$  - потенціал, утворений в розпізнаваній точці  $i$ -ю точкою образу

$B$  і т. д. до

$\phi_{m_i} = \Phi(x, m_i) = \frac{1}{1 + \alpha R_{m_i}^2}$  - потенціалу, утвореного в розпізнаваній точці  $i$ -ю точкою

образу  $M$ .

Проводиться порівняння  $\Phi(x, A), \dots, \Phi(x, M)$  і розпізнавана точка ставиться до того образу, який створює в цій точці найбільший потенціал. У найпростішому випадку, коли розпізнаванню підлягають два образи  $A$  і  $B$ , їх різниця виконується по знаку функції

$$\Phi(x) = \Phi(x, A) - \Phi(x, B), \quad (9)$$

яка набуває додатних значень в області одного образу, негативні в області іншого і проходить через нуль поблизу від границі між ними.

### 3.3. Метод потенціалів на полі рецепторів

Використовуючи потенціали в просторі рецепторів, ми брали за відстань між двома точками кількість розрядів, що розрізняються в кодах відповідних фігур або евклідову відстань між точками. Ці величини, однак, не завжди правильно відображають відмінність між фігурами. Може бути запропоновано наступне покращення методу кодування. Зв'яжемо з кожним збудженим елементом поля рецепторів деяку функцію, рівну одиниці на цьому елементі і спадну в усіх напрямках від нього, тобто функцію, аналогічну потенціалу  $\phi$ , з тією лише різницею, що в даному випадку  $R$  є відстань між двома сусідніми елементами поля рецепторів. Ця функція може бути апроксимована ступінчастою функцією, постійною в межах одного рецептора і стрибкоподібно змінюваною на границях рецепторів. Можна з успіхом замінити потенціал ступінчастої функції, що дорівнює одиниці на збудженому елементі, деякій частці одиниці (наприклад,  $1/2$ ), на сусідніх елементах і нулю - на ділянках поля рецепторів, віддалених від більш збудженого, ніж на один його елемент. Припустимо, далі, що кожен розряд коду фігури, крім нуля і одиниці, може приймати інші, в тому числі дробові, значення, рівні величині потенціалу на відповідному елементі поля рецепторів.

Поширимо викладений метод кодування на більш складні фігури. Будемо користуватися таким правилом: кожен збуджений елемент поля рецепторів має «власний» потенціал, рівний одиниці, і збільшує на  $1/2$  потенціали всіх (в тому числі і збуджених) елементів, сусідніх з ним по горизонталі, вертикалі і діагоналях.

Таким чином, при використанні потенціалів на полі рецепторів [24] відстань між об'єктами різних образів виявляється істотно більше відстані між двома об'єктами одного образу, хоча при «старому» методі кодування ці відстані були однакові. Відбувається це тому, що новий метод кодування краще відображає взаємне видалення елементів фігур на полі рецепторів, а значить, краще передає відмінності між фігурами.

### 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Основна перевага цього алгоритму в тому, що січні площини проводяться незалежно один від одного. Якщо провести навчання кілька разів на одному і тому ж об'єкті (тобто провести навчання декілька разів), при цьому можна очікувати, що помилки при розбитті простору рецепторів, будуть різними (табл. 12). В такому випадку можна покращити роботу алгоритму, розпаралеливши його процес на декілька потоків. При використанні цього методу одночасно і незалежно один від одного на одному і тому ж образі відбувається багатопотокове навчання на декількох ядрах комп'ютера. При впізнаванні нових об'єктів, вони будуть відноситись до якогось образу, не обов'язково до одного і того ж. Остаточне рішення приймається «голосуванням» - об'єкт відноситься до того образу, до якого його віднесло більше число паралельних потоків.

*Таблиця 12.*

**Таблиця істинності для методу січних площин**

Образ (№)	Метод січних площин		
	Час навчання (мс)	Час розпізнавання (мс)	Ємність зайнятої пам'яті після навчання (байт)
1	5	2069	135576
2	5	1194	152472
3	5	1150	151992
4	5	1225	135576
5	5	1829	135576

Щодо надійності розпізнавання, то такий метод дає приблизно 88,5 % успішного розпізнавання.

Таким чином, експерименти показали, що метод січних площин [24] дійсно дозволяє навчити машину розпізнаванню складних фігур. А так як ніякі відомості про властивості фігур машині не повідомлялися, цей же алгоритм в принципі дає машині можливість навчитися розпізнавати різнотипні образи (табл.13).

Таблиця 13

Таблиця істинності для методу потенціалів

Образ (№)	Метод потенціалів		
	Час навчання (мс)	Час розпізнавання (мс)	Ємність зайнятої пам'яті після навчання (байт)
1	14	23	185736
2	13	14	203968
3	15	20	353112
4	6	11	336400
5	18	25	169588

На рахунок надійності, навчивши машину можна досягти досить високого проценту розпізнавання (коло 85%). Але при подальшому навчанні ефективність розпізнавання не поліпшується.

Алгоритм може бути покращений, якщо його доповнити такою операцією. Після пред'явлення машині всіх фігур, підібраних для навчання, машину змушують розпізнавати ці ж самі фігури і контролювати правильність своєї роботи. Якщо відбувається помилка, тобто фігура одного з образів відноситься машиною до іншого образу, то в пам'ять машини вноситься вказівка, що «вага» відповідної точки повинна бути збільшений на деяку величину, наприклад, на одиницю. Це означає, що в подальшому потенціал, створений цією точкою, буде подвоюватися (при цьому знаменник  $N$  у формулі (6) для визначення  $\Phi$  залишається незмінним). Після першого циклу розпізнавання «відомих» фігур проводиться другий такий же цикл, в якому ваги «нерозпізнаних» точок збільшуються ще на одиницю. Цикли повторюються до тих пір, поки в черговому циклі всі «відомі» фігури не будуть розпізнані правильно. Сенс описаного поліпшення алгоритму полягає в тому, що розподіл точок в області кожного образу штучно робиться більш рівномірним. Більш рідкісні і близькі до «чужих» областей точки набувають більшої ваги, як би збільшуються в числі. Це означає, що потенціал в областях з малою щільністю точок збільшується, що, звичайно, підвищує надійність розпізнавання. Для підвищення швидкості роботи такого покращення, досить ефективно було б виконувати ці операції в багатопотоковому режимі.

Таблиця 14

Таблиця істинності для методу потенціалів на полі рецепторів

Образ (№)	Метод потенціалів на полі рецепторів		
	Час навчання (мс)	Час розпізнавання (мс)	Ємність зайнятої пам'яті після навчання (байт)
1	26	43	473272
2	55	17	395156
3	29	44	483284
4	22	57	361824
5	40	28	428332



Середня надійність розпізнавання після введення потенціалів на полі рецепторів [24] підвищилася на 9% і досягла 94%. Для окремих образів (які розпізнавалися гірше, ніж інші) підвищення надійності розпізнавання досягло 20-24%.

### 3. ВИСНОВКИ

Як видно з дослідів, що проілюстровані таблицями 1,2,3, найбільших обчислювальних ресурсів вимагає метод січких площин. Метод потенціалів використовує найменше обчислювальних ресурсів. Щодо методу потенціалів на полі рецепторів, то такий алгоритм в порівнянні з простим методом потенціалів дає більшу надійність розпізнавання, але при цьому затрачує більше обчислювальних ресурсів чим простий метод потенціалів.

Методом січких площин машина навчається найшвидше, однак на розпізнавання об'єкту витрачає найбільше часу із усіх вище вказаних методів, саме тому можна стверджувати, що цей метод є найбільш вимогливим до обчислювальних ресурсів. Метод потенціалів навчається та розпізнає об'єкти найшвидше, а ось метод потенціалів на полі рецепторів, через вдосконалене кодування затрачує на ці параметри трішки більше часу.

На рахунок ємності затрачуваної пам'яті після навчання, то найменшу ємність витрачає метод січких площин. Найбільші затрати щодо такого параметру має метод потенціалів на полі рецепторів. Приблизно посередині них по затратам пам'яті, знаходиться простий метод потенціалів.

Із всього, сказаного вище, можна зробити висновок, що метод потенціалів та потенціали на полі рецепторів більше підходять для розпізнавання цифр та букв. Натомість метод січких площин може ефективно використовуватись і для розпізнавання підписів, складних фігур чи ієрогліфів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Аркадьев, А. Г. Обучение машины классификации объектов / А. Г. Аркадьев., Э. М. Бравермай. – Москва: «Наука», 1971. – 192 с.
- [2] Грицик В.В. Технології майбутнього і виживання людей // ISDMCI'2017. Ст.55-57;
- [3] Dronjuk I., Nazarkevych M., Troyan O. “The Modified Amplitude-Modulated Screening Technology for the High Printing Quality”, In: Czachorski T., Gelenbe E., Grochla K., Lent R. (eds) Computer and Information Sciences. ISCIS 2016. Communications in Computer and Information Science, vol 659. Springer, Cham, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1\_29;
- [4] Complex software systems – heal thyself. Research\*eu results supplement/ - №25/ - June 2010. – P.28;
- [5] Find a digital partner to trust .- Reasearch\*eu results supplement/ - №25/ - June 2010. – P.34;
- [6] Seeing understands – using artificial intelligence to analyse multimedia content. .- Research\*eu results supplement/ - №25/ - June 2010. – P.36;
- [7] Software: running commentary for smarter surveillance? .- Reasearch\*eu results supplement. – №24. – May 2010. – P.29;
- [8] В.Грицик, А.Грондзаль. Модель аудіо-візуального сприйняття// МК – ISDMCI'2015. - Conference Proceedings. - Kherson: KNTU, 2015. – 51-53p.;
- [9] V. Hrytsyk, A. Grondzal, A. Bilenyk, Augmented reality for people with disabilities // Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT'2015.
- [10] Samotyj, V. V., Dzelendzyak, U., Nazarkevych, M., & Riznyk, O. (2019). Detection of regularities in the parameters of the Ateb-Gabor method for biometric image filtration



- [11] Nazarkevych, M., Logoyda, M., Troyan, O., Vozniy, Y., & Shpak, Z. (2019, September). The Ateb-Gabor Filter for Fingerprinting. In International Conference on Computer Science and Information Technology (pp. 247-255). Springer, Cham.
- [12] Logoyda, M., Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Dmytruk, S., & Smotr, O. (2019). Identification of Biometric Images using Latent Elements. CEUR Workshop Proceedings.
- [13] Gricik, V. V., Dronyuk, I. M., & Nazarkevich, M. A. (2009). Document protection information technologies by means of Ateb—functions I. Ateb-function base consistency for document protection. *Problemy upravleniya i avtomatiki*, 2, 139-152.
- [14] Mykhalyk, D., Mudryk, I., Hoi, A., Petryk, M. Modern Hardware and Software Solution for Identification of Abnormal Neurological Movements of Patients with Essential Tremor // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings.
- [15] Mykhalyk, D., Petryk, M., Mariapetryk, K., Petryk, O., Mudryk, I. Mathematical Modeling of Hydrocarbons Adsorption in Nanoporous Catalyst Media using Nonlinear Langmuir's Isotherm using Activation Energy // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings.
- [16] V.Hrytsyk. Future of Artificial Intelligence: treats and possibility // ITA'2017, (INFOS section) Proceedings. – Varna. – June,26-Luly,09. 10p.
- [17] Rogatinskiy, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., Martsenko, S. Feasibility Study of the Method Choice of Manufacturing Screw Cleaning Elements with the Development and Use of Software // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2019.
- [18] Vintsiuk, T.K. Optimal speech signal partition into one-quasiperiodical segments // 7th International Conference on Spoken Language Processing, ICSLP 2002
- [19] Vintsiuk, T.K., Sazhok, M.M. Speech analysis and recognition synchronised by one-quasiperiodical segmentation // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*
- [20] Dorosh, N., Ilkanych, K., Hrytsenko, V., (...), Bogatonkova, A., Dorosh, O. Mobile Infocommunication System for AdaptiveAnalysing of the Biomedical Indicators and Signals // International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings.
- [21] Krak, I.V., Kudin, G.I., Kulyas, A.I. Multidimensional Scaling by Means of Pseudoinverse Operations // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2019.
- [22] Volodymyr P Kozhemyako, Leonid I Timchenko, Yuriy F Kutaev, Alexander A Gertsy, Andriy A Yarovy, Nataly I Kokryatskaya, Nikolay P Grebenyuk, Olexandr A Poplavskyy Analysis of the methodological approaches in connection with problem solving the extrapolation of object trajectory // [Proceedings Volume 5175, Laser Beam Shaping IV](#); (2003) <https://doi.org/10.1117/12.507492>; Event: [Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting](#), 2003, San Diego, California, United States
- [23] Palagin, A.V., Kurgaev, A.F., Shevchenko, A.I. The Noosphere Paradigm of the Development of Science and Artificial Intelligence // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2017.
- [24] [Shevchenko A. Design of the self-education robotics system](#) // Proceedings - 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems, ICAIS 2002 (2002).

**Hrytsyk Volodymyr Volodymyrovych**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: 0000-0002-9696-5805

volodymyr.v.hrytsyk@lpnu.ua

**Nazarkevych Mariya Andriyivna**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Technologies of Publishing

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: 0000-0002-6528-9867

mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua

**Dyshko Andrij Petrovych**

Student Institute of Computer Science and Information Technologies

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: 0000-0002-7681-2211

ad@kubp.com.ua

## COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGE RECOGNITION METHODS OBTAINED FROM SENSORS OF THE VISIBLE SPECTRUM

**Abstract.** Today, in an era of integration of artificial intelligence systems in almost every industry, very demand are studies of classification methods that, prior to their introduction into decision support systems. Compare analysis of the secant planes method, method of the potentials and potential method in the field of receptors are shown in the paper. At first, in introduction, authors shew needs of autonomic systems of adaptive perception on visible diapason of specter. As particularly aim, these methods are compared by criteria of speed, accuracy and amount of storage used after training. As general idea we are looking for we are looking for methodic of the best combination of method for different condition on observe field of visual spectral diapason. Theories of the every method are presented, and then tables of compare analysis of results are shown. Step-by-step comparative experiments are described in detail. Changes at each step are shown in detail in the tables of the corresponding signs. Moreover, at the end of the paper, comparative characteristics of each method with the same learning time in same type of experiments for each method are presented. As a result, in the first group of tables, we see a difference in the recognition time and the amount of memory required for correct operation. Those are truth tables for two points, three points, two points and two planes, three points and two planes, three points and three planes, three points and seven planes. The conclusion gives a thorough explanation of where to use the best method. The needs of the system for computing resources in the application of each mode are presented and corresponding dependencies are derived. Next, If you train several times on the same object (ie, train several times), you can expect that the errors in the breakdown of the receptor space will be different. In this case, you can improve the performance of the algorithm by parallelizing its process into several threads. Using this method simultaneously and independently of each other on the same image is multi-threaded learning on multiple computer kernels. When recognizing new objects, they will refer to some image, not necessarily the same. The final decision is made by "vote" - the object refers to the image to which it was attributed to a greater number of parallel streams.

**Keywords:** classification of patterns, multithread, method of secant planes, method of potentials and potential method



## REFERENCES

- [1] Arkadyev, A. G. Learning the machine for classifying objects / A. G. Arkadyev, E. M. Bravermai. - Moscow: "Science", 1971. - 192 p. (In Russian).
- [2] Gritsik V.V. Technologii Maybutynogo izhivannya people // ISDMCI'2017. St. 55-57. (in Ukrainian).
- [3] Dronjuk I., Nazarkevych M., Troyan O. "The Modified Amplitude-Modulated Screening Technology for the High Printing Quality", In: Czachorski T., Gelenbe E., Grochla K., Lent R. (eds) Computer and Information Sciences. ISCIS 2016. Communications in Computer and Information Science, vol 659. Springer, Cham, 2016. DOI: 10.1007 / 978-3-319-47217-1\_29;
- [4] Complex software systems - heal thyself. Research \* eu results supplement / - No. 25 / - June 2010. - P.28;
- [5] Find a digital partner to trust. - Reasearch \* eu results supplement / - No. 25 / - June 2010. - P.34;
- [6] Seeing understands - using artificial intelligence to analyse multimedia content. - Research \* eu results supplement / - No. 25 / - June 2010. - P.36;
- [7] Software: running commentary for smarter surveillance? - Reasearch \* eu results supplement. - No. 24. - May 2010. - P.29;
- [8] V. Gritsik, A. Grondsal. The model of audio-visual speech // MK - ISDMCI'2015. - Conference Proceedings. - Kherson: KNTU, 2015. -- 51-53p. (in Ukrainian).
- [9] V. Hrytsyk, A. Grondzal, A. Bilenykj., Augmented reality for people with disabilities // Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT'2015.
- [10] Samotyj, V. V., Dzelendzyak, U., Nazarkevych, M., & Riznyk, O. (2019). Detection of regularities in the parameters of the Ateb-Gabor method for biometric image filtration
- [11] Nazarkevych, M., Logoyda, M., Troyan, O., Vozniy, Y., & Shpak, Z. (2019, September). The Ateb-Gabor Filter for Fingerprinting. In International Conference on Computer Science and Information Technology (pp. 247-255). Springer, Cham.
- [12] Logoyda, M., Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Dmytruk, S., & Smotr, O. (2019). Identification of Biometric Images using Latent Elements. *CEUR Workshop Proceedings*.
- [13] Gricik, V. V., Dronyuk, I. M., & Nazarkevich, M. A. (2009). Document protection information technologies by means of Ateb—functions I. Ateb-function base consistency for document protection. *Problemy upravleniya i avtomatiki*, 2, 139-152.
- [14] Mykhalyk, D., Mudryk, I., Hoi, A., Petryk, M. Modern Hardware and Software Solution for Identification of Abnormal Neurological Movements of Patients with Essential Tremor // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings.
- [15] Mykhalyk, D., Petryk, M., Mariapetryk, K., Petryk, O., Mudryk, I. Mathematical Modeling of Hydrocarbons Adsorption in Nanoporous Catalyst Media using Nonlinear Langmuir's Isotherm using Activation Energy // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings.
- [16] V.Hrytsyk. Future of Artificial Intelligence: treats and possibility // ITA'2017, (INFOS section) Proceedings. – Varna. – June,26-Luly,09. 10p.
- [17] Rogatinskiy, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., Martsenko, S. Feasibility Study of the Method Choice of Manufacturing Screw Cleaning Elements with the Development and Use of Software // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2019.
- [18] Vintsiuk, T.K. Optimal speech signal partition into one-quasiperiodical segments // 7th International Conference on Spoken Language Processing, ICSLP 2002
- [19] Vintsiuk, T.K., Sazhok, M.M. Speech analysis and recognition synchronised by one-quasiperiodical segmentation // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*
- [20] Dorosh, N., Ilkanych, K., Hrytsenko, V., (...), Bogatonkova, A., Dorosh, O. Mobile Infocommunication System for AdaptiveAnalysing of the Biomedical Indicators and Signals // International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings.
- [21] Krak, I.V., Kudin, G.I., Kulyas, A.I. Multidimensional Scaling by Means of Pseudoinverse Operations // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2019.
- [22] Volodymyr P Kozhemyako, Leonid I Timchenko, Yuriy F Kutaev, Alexander A Gertsy, Andriy A Yarovy, Nataly I Kokryatskaya, Nikolay P Grebenyuk, Olexandr A Poplavskyy Analysis of the methodological approaches in connection with problem solving the extrapolation of object trajectory // [Proceedings Volume 5175, Laser Beam Shaping IV](https://doi.org/10.1117/12.507492); (2003) <https://doi.org/10.1117/12.507492>; Event: *Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting*, 2003, San Diego, California, United States



- [23] Palagin, A.V., Kurgaev, A.F., Shevchenko, A.I. The Noosphere Paradigm of the Development of Science and Artificial Intelligence // Cybernetics and Systems Analysis. – 2017.
- [24] [Shevchenko A. Design of the self-education robotics system](#) // Proceedings - 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems, ICAIS 2002 (2002).



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.