

Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Запорізька політехніка»

кафедра програмних засобів

ЗВІТ

з лабораторної роботи № 5

з дисципліни «Теорія прийняття рішень» на тему:

«МЕТОД ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ФУНКІЙ»

Виконав:

ст. гр. КНТ-113сп

Іван ЩЕДРОВСЬКИЙ

Прийняв:

доцент

Олена Подковаліхіна

2025

1 Мета роботи

Вивчити методику вирішення задач класифікації з використанням потенціальних функцій.

2 Завдання до лабораторної роботи

2.1. Вихідними даними є:

- масив даних навчального експерименту (для кожного екземпляра навчальної вибірки відомі значення ознак і фактичний клас);
- значення ознак екземплярів, що не входять у навчальну вибірку;
- порогове значення сумарного потенціалу;
- коефіцієнти, що визначають міру нелінійного перетворення простору ознак;
- вагові множники, що характеризують порівняльний вплив інформативних ознак.

2.2. Написати й налагодити програму, що реалізує процедуру класифікації з використанням методу потенціальних функцій. Схема алгоритму методу потенціальних функцій представлена нижче.

2.3. За даними навчальної вибірки обчислити оцінки математичного сподівання й дисперсії кожної ознаки.

2.4. Визначити нормовані значення ознак.

2.5. Розрахувати узагальнену відстань для j -го й l -го екземплярів ($j,l=1,n$), ($j \neq l$), де n -число екземплярів навчальної вибірки.

2.6. Знайти потенціал кожного j -го екземпляра, який "наводиться" на нього кожним l -им екземпляром.

2.7. Обчислити сумарний потенціал для кожного екземпляра, що належить до класу К1 і до класу К2.

2.8. Для заданих значень порога, аналізуючи значення сумарних потенціалів, прийняти рішення про віднесення кожного з екземплярів навчальної вибірки до того або іншого класу.

2.9. Результати, отримані в п.п.5.3.4, 5.3.7, 5.3.8, надати у вигляді таблиці. У цій же таблиці навести виміряні (ненормовані) значення ознак екземплярів навчальної вибірки й фактичний клас екземплярів.

2.10. Для кількісної оцінки результатів навчання для заданих значень порога, обчислити кількість рішень n (ріш K_1), n (ріш K_2), $n(K_2/\text{ріш } K_1)$, $n(K_1/\text{ріш } K_2)$ і імовірності $P(\text{ріш } K_1)$, $P(\text{ріш } K_2)$, $P(K_2/\text{ріш } K_1)$, $P(K_1/\text{ріш } K_2)$, $P_{\text{ном}}$. Результати розрахунків надати у вигляді таблиці та графіка.

2.11. За заданим критерієм, що характеризує імовірність помилкових рішень (ризиком споживача, ризиком виробника або $P_{\text{ном}}$), зробити вибір порога.

2.12. Оскільки обране в п.5.3.11. значення порога є тільки кращим із заданих, питання про знаходження його оптимального значення залишається відкритим.

Крім варіювання величини порога, оптимізація оператора прогнозування може бути досягнута підбором коефіцієнтів у виразі для потенціалів, визначених у п.5.3.6., тобто шляхом зміни ступеня нелінійності перетворення простору ознак. Крім того, якість прогнозування можна підвищити введенням вагових множників μ_i ($i=1, K$); $(\sum \mu_i = 1)$, (де K - кількість ознак) у виразі для узагальненої відстані (див.п.5.3.5.). Значення вагових множників підбираються таким чином, щоб підкреслити вплив більш інформативних ознак.

Із сказаного вище випливає, що задача визначення оптимального значення порога, оптимальних значень коефіцієнтів у виразі для потенціалів і оптимальних вагових множників є задачею багатомірної оптимізації. Використати для її вирішення один із заданих викладачем методів оптимізації.

5.3.13. Оцінити імовірність помилкових рішень для знайденого в п. 5.3.12. оператора прогнозування.

5.3.14. Оцінити клас екземплярів, що не входять у навчальну вибірку

3 Текст програми

```
% K2
X1 = [
    1.64 1.20 76.8 71.2 48.0 4.05 5.35 20.5 1.85;
    1.48 1.36 82.6 76.5 37.0 3.55 4.75 20.5 1.85;
    1.64 1.20 78.8 73.0 42.0 3.70 4.85 35.0 1.85;
    1.65 1.05 76.2 65.0 43.0 3.55 5.40 18.5 1.85;
    1.72 1.24 82.7 76.5 43.0 4.10 5.15 22.5 1.85;
    2.20 1.68 91.2 84.3 36.0 3.55 4.55 20.5 1.85;
    2.56 2.08 78.8 73.0 40.0 3.10 4.85 11.5 1.85;
    2.12 1.52 89.6 83.0 45.0 3.25 4.65 23.0 2.30;
    1.68 1.26 91.0 84.2 40.0 3.35 4.60 32.0 2.00;
];
% K1
X2 = [
    1.72 1.20 79.4 73.7 51.0 3.55 5.20 32.0 2.30;
    1.36 1.20 85.5 79.1 37.0 3.90 4.95 20.5 1.85;
    2.28 1.92 91.0 84.3 45.0 3.25 4.45 20.5 1.85;
    2.08 1.84 88.1 81.6 43.0 3.05 4.35 20.5 1.85;
    1.52 1.16 82.6 76.5 50.0 3.20 4.80 18.5 1.85;
    2.72 1.90 52.1 76.0 57.0 2.75 3.85 18.0 1.85;
    1.88 1.52 97.6 59.3 46.0 2.90 4.00 18.0 1.85;
    2.88 2.40 70.6 83.0 43.0 3.25 4.35 22.5 1.85;
    2.52 2.16 93.8 86.3 45.0 3.45 4.60 20.5 1.85;
    2.24 1.76 88.3 81.7 45.0 3.25 4.55 20.5 1.85;
    1.38 1.16 89.5 79.1 49.0 3.55 4.65 21.0 1.85;
    2.52 1.88 90.9 84.2 45.0 3.25 4.65 19.5 2.60;
    2.28 1.60 105 79.6 51.0 3.35 4.70 22.5 1.55;
    2.56 2.24 87.5 81.0 49.0 3.25 4.25 22.0 1.85;
    2.70 1.95 82.0 76.0 51.0 3.15 3.90 11.5 1.85;
];
% Data
X3 = [
    2.76 2.44 81.6 79.0 49.0 2.97 4.25 4.00 2.15;
    2.64 2.28 83.0 76.4 43.0 3.00 3.77 39.0 2.0;
    2.64 2.04 81.6 73.8 40.0 3.50 4.20 39.0 2.67;
    2.56 2.44 81.6 79.0 45.0 2.90 3.86 39.0 2.67;
    2.80 2.52 84.3 79.0 50.0 2.95 4.05 39.0 2.67;
    2.18 2.06 79.0 79.0 43.0 3.10 4.15 39.0 2.67;
    2.04 2.08 81.6 79.0 48.0 3.10 3.95 21.5 2.30;
    2.56 2.40 84.3 79.0 44.0 3.53 3.67 21.0 1.80;
    2.58 2.24 81.6 79.0 42.0 3.02 4.25 49.5 2.34;
    2.32 2.30 81.6 80.4 44.0 3.20 4.15 21.0 1.80;
    2.44 2.12 81.6 73.8 43.5 2.75 4.15 21.0 1.80;
    2.20 2.12 81.4 74.4 36.0 3.33 4.10 21.5 2.30;
    2.22 1.88 79.0 68.4 43.0 3.36 4.40 26.0 2.70;
    2.34 1.96 81.6 73.8 37.0 3.23 4.60 21.0 2.00;
    2.36 1.84 77.8 83.8 47.0 3.35 4.60 30.0 2.45;
    2.30 1.96 81.6 71.9 36.0 3.25 4.60 26.0 2.70;
    2.24 1.94 82.9 73.8 38.0 3.50 4.43 21.5 2.30;
    2.68 2.52 84.0 79.0 50.0 2.75 3.95 39.0 2.67;
    2.08 1.96 83.0 76.4 46.0 3.15 4.35 39.0 2.00;
```

```

];
% 2.3
M_K1 = mean(X2);
D_K1 = var(X2);
M_K2 = mean(X1);
D_K2 = var(X1);

fprintf("\n--- 2.3 K1 ---")
fprintf("\nОзнака | Математичне сподівання (M) | Дисперсія (D)\n");
fprintf('-----|-----|-----\n');
for i = 1:9
    fprintf(' X%d | %10.4f | %10.4f\n', i, M_K1(i), D_K1(i));
end

fprintf("\n--- 2.3 K2 ---")
fprintf("\nОзнака | Математичне сподівання (M) | Дисперсія (D)\n");
fprintf('-----|-----|-----\n');
for i = 1:9
    fprintf(' X%d | %10.4f | %10.4f\n', i, M_K2(i), D_K2(i));
end

% 2.4
M_total = mean([X1; X2]);
D_total = var([X1; X2]);
S_total = std([X1; X2]);

X1_norm = (X1 - M_total) ./ S_total;
X2_norm = (X2 - M_total) ./ S_total;
X3_norm = (X3 - M_total) ./ S_total;

fprintf("\n--- 2.4 Нормовані значення X1 ---\n");
disp(X1_norm());

% 2.5
X_train = [X1_norm; X2_norm];
n = size(X_train, 1);
R = zeros(n, n);

for j = 1:n
    for l = 1:n
        if j ~= l
            R(j,l) = sqrt(sum((X_train(j,:)) - X_train(l,:)).^2));
        end
    end
end

fprintf("\n--- 2.5 Матриця відстаней R (фрагмент 5x5) ---\n");
disp(R(1:5, 1:5));

% 2.6
n1 = size(X2_norm, 1);
n2 = size(X1_norm, 1);

RA = R(n2+1:end, n2+1:end);

```

```

RB = R(1:n2, 1:n2);

YA = exp(-cos(RA));
YB = exp(-sin(RB));

fprintf('\n--- 2.6 Потенціали класу K1 (фрагмент) ---\n');
disp(YA(1:5, 1:5));

fprintf('\n--- 2.6 Потенціали класу K2 (фрагмент) ---\n');
disp(YB(1:5, 1:5));

% 2.7
FA = sum(YA, 2);
FB = sum(YB, 2);
FAc = mean(FA);
FBc = mean(FB);

fprintf('\n--- 2.7 Сумарні потенціали FA (K1) ---\n');
disp(FA);
fprintf('Середній потенціал FAc: %.4f\n', FAc);

fprintf('\n--- 2.7 Сумарні потенціали FB (K2) ---\n');
disp(FB);
fprintf('Середній потенціал FBc: %.4f\n', FBc);

% 2.8
Decision_K1 = FA > FAc;
Decision_K2 = FB > FBc;

fprintf('\n--- 2.8 Перевірка навчальної вибірки (K1) ---\n');
fprintf('Об"єкт | Сум. Пот. FA | Поріг FAc | Рішення\n');
for i = 1:length(FA)
    status = 'Правильно';
    if FA(i) <= FAc, status = 'Помилка'; end
    fprintf(' %2d | %7.4f | %8.4f | %s\n', i, FA(i), FAc, status);
end

fprintf('\n--- 2.8 Перевірка навчальної вибірки (K2) ---\n');
fprintf('Об"єкт | Сум. Пот. FB | Поріг FBc | Рішення\n');
for i = 1:length(FB)
    status = 'Правильно';
    if FB(i) <= FBc, status = 'Помилка'; end
    fprintf(' %2d | %7.4f | %8.4f | %s\n', i, FB(i), FBc, status);
end

% 2.9
fprintf('\n--- 2.9 Зведена таблиця (K1) ---\n');
fprintf(' № | X1-X9 (Ознаки) | FB | FBc | Клас | Рішення\n');
for i = 1:size(X2, 1)
    status = 'Правильно';
    if FA(i) <= FAc, status = 'Помилка'; end
    fprintf('%2d | ', i);
    fprintf('%4.1f ', X2(i, :));

```

```

        fprintf('| %7.4f | %7.4f | K1 | %s\n', FA(i), FAc, status);
    end

    fprintf('\n--- 2.9 Зведена таблиця (K2) ---\n');
    fprintf(' № | X1-X9 (Ознаки)           | FB     | FBc    | Клас | Рішення\n');
    for i = 1:size(X1, 1)
        status = 'Правильно';
        if FB(i) <= FBc, status = 'Помилка'; end
        fprintf('%2d | ', i);
        fprintf('%4.1f ', X1(i, :));
        fprintf('| %7.4f | %7.4f | K2 | %s\n', FB(i), FBc, status);
    end

    % 2.10
    n_K1 = size(X2, 1);
    n_K2 = size(X1, 1);

    n_rish_K1 = sum(FA > FAc);
    n_rish_K2 = sum(FB > FBc);

    n_K1_err = sum(FA <= FAc);
    n_K2_err = sum(FB <= FBc);

    P_rish_K1 = n_rish_K1 / n_K1;
    P_rish_K2 = n_rish_K2 / n_K2;
    P_K2_rish_K1 = n_K2_err / n_K2;
    P_K1_rish_K2 = n_K1_err / n_K1;
    P_pom = (n_K1_err + n_K2_err) / (n_K1 + n_K2);

    fprintf('\n--- 2.10 Кількісні показники навчання ---\n');
    fprintf('Показник      | Значення\n');
    fprintf('-----|-----\n');
    fprintf('n (ріш K1)    | %d\n', n_rish_K1);
    fprintf('n (ріш K2)    | %d\n', n_rish_K2);
    fprintf('n (K2/ріш K1) | %d\n', n_K2_err);
    fprintf('n (K1/ріш K2) | %d\n', n_K1_err);
    fprintf('P (ріш K1)    | %.4f\n', P_rish_K1);
    fprintf('P (ріш K2)    | %.4f\n', P_rish_K2);
    fprintf('P (K2/ріш K1) | %.4f\n', P_K2_rish_K1);
    fprintf('P (K1/ріш K2) | %.4f\n', P_K1_rish_K2);
    fprintf('P пом         | %.4f\n', P_pom);

figure;
bar([P_rish_K1, P_rish_K2, P_pom]);
set(gca, 'XTickLabel', {'P(ріш K1)', 'P(ріш K2)', 'P пом'});
title('Ймовірності результатів навчання');
ylabel('Значення ймовірності');
grid on;

% 2.11
thresholds = linspace(min([FA; FB]), max([FA; FB]), 100);
P_errors = zeros(size(thresholds));

for i = 1:length(thresholds)
    T = thresholds(i);
    err_K1 = sum(FA <= T);
    err_K2 = sum(FB <= T);

```

```

P_errors(i) = (err_K1 + err_K2) / (n_K1 + n_K2);
end

[min_P, idx] = min(P_errors);
opt_T = thresholds(idx);

fprintf('\n--- 2.11 Вибір оптимального порога ---\n');
fprintf('Мінімальна імовірність помилки P_pom: %.4f\n', min_P);
fprintf('Оптимальне значення порога: %.4f\n', opt_T);

figure;
plot(thresholds, P_errors, 'LineWidth', 2);
hold on;
plot(opt_T, min_P, 'ro', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 2);
title('Залежність імовірності помилки від значення порога');
xlabel('Поріг');
ylabel('P пом');
grid on;

% 2.12, Метод Монте-Карло
best_err = 1.0;

for k = 1:20000
    U_rand = rand(1, 9); U_rand = U_rand / sum(U_rand);
    alpha_rand = 1 + rand()*4;

    FA_t = zeros(n1, 1);
    for i = 1:n1
        for j = 1:n1
            if i ~= j
                d = sqrt(sum(U_rand .* (X2_norm(i,:) - X2_norm(j,:)).^2));
                FA_t(i) = FA_t(i) + exp(-alpha_rand * d);
            end
        end
    end

    FB_t = zeros(n2, 1);
    for i = 1:n2
        for j = 1:n1
            d = sqrt(sum(U_rand .* (X1_norm(i,:) - X2_norm(j,:)).^2));
            FB_t(i) = FB_t(i) + exp(-alpha_rand * d);
        end
    end

    T_rand = (mean(FA_t) + mean(FB_t)) / 2;

    current_err = (sum(FA_t <= T_rand) + sum(FB_t > T_rand)) / (n1 + n2);

    if current_err < best_err
        best_err = current_err;
        best_U = U_rand;
        best_T = T_rand;
        best_alpha = alpha_rand;

        FA_best = FA_t;
        FB_best = FB_t;
    end
end

```

```

end

fprintf('\n--- 2.12 Результати багатомірної оптимізації ---\n');
fprintf('Оптимальний коефіцієнт alpha: %.2f\n', best_alpha);
fprintf('Оптимальний поріг T: %.4f\n', best_T);
fprintf('Мінімальна помилка навчання: %.4f\n', best_err);
fprintf('Оптимальні ваги (U):\n');
disp(best_U);

% 2.13
n_miss_K1 = sum(FA_best <= best_T); % K1 прийняті за K2
n_false_K2 = sum(FB_best > best_T); % K2 прийняті за K1

P_miss = n_miss_K1 / n1;
P_false = n_false_K2 / n2;
total_P_opt = (n_miss_K1 + n_false_K2) / (n1 + n2);

fprintf('\n--- 2.13 Оцінка імовірності помилкових рішень ---\n');
fprintf('Кількість помилок K1 (пропуск): %d\n', n_miss_K1);
fprintf('Кількість помилок K2 (хибна тривога): %d\n', n_false_K2);
fprintf('Імовірність пропуску P(K2/K1): %.4f\n', P_miss);
fprintf('Імовірність хибної тривоги P(K1/K2): %.4f\n', P_false);
fprintf('Загальна помилка P_pom: %.4f\n', total_P_opt);

% 2.14
fprintf('\n--- 2.14 Результати класифікації X3 ---\n');
n3 = size(X3_norm, 1);
F3 = zeros(n3, 1);
for i = 1:n3
    Fi = 0;
    for j = 1:n1
        d = sqrt(sum(best_U .* (X3_norm(i,:) - X2_norm(j,:)).^2));
        Fi = Fi + exp(-best_alpha * d);
    end
    F3(i) = Fi;
end

res = "K2 (Непридатний)";
if Fi > best_T, res = "K1 (Придатний)"; end
fprintf('%2d | F = %7.4f | %s\n', i, Fi, res);
end

figure;
stem(F3, 'filled'); hold on;
yline(best_T, 'r--', 'Porir', 'LineWidth', 2);
title('Розподіл потенціалів X3');
grid on;

```

4 Аналіз отриманих результатів

Першим етапом є знаходження оцінок умовного математичного сподівання і дисперсії кожної ознаки для класу K1 та для класу K2, завдання 2.3. Виконання цих завдань показано на рисунку 1.

--- 2.3 K1 ---		
Ознака	Математичне сподівання (M)	Дисперсія (D)
X1	2.1760	0.2508
X2	1.7260	0.1654
X3	85.5933	148.9192
X4	78.7600	41.6011
X5	47.1333	22.4095
X6	3.2733	0.0764
X7	4.4833	0.1442
X8	20.5333	17.2310
X9	1.9100	0.0572

--- 2.3 K2 ---		
Ознака	Математичне сподівання (M)	Дисперсія (D)
X1	1.8544	0.1263
X2	1.3989	0.1006
X3	83.0778	36.8694
X4	76.3000	43.3575
X5	41.5556	14.2778
X6	3.5778	0.1126
X7	4.9056	0.1022
X8	22.6667	49.4375
X9	1.9167	0.0231

Рисунок 1 – Знайдені математичні сподівання та дисперсії

Наступним завданням є 2.4, визначення нормованих значень ознак. Результати роботи для X1 показані на рисунку 2. Також було виконано нормування для X2 та X3

```

--- 2.4 Нормовані значення X1 ---
-0.8820 -1.0027 -0.7660 -1.0256 0.5778 2.0130 1.7339 -0.1553 -0.3018
-1.2217 -0.6049 -0.2000 -0.2067 -1.5706 0.4938 0.2652 -0.1553 -0.3018
-0.8820 -1.0027 -0.5709 -0.7475 -0.5941 0.9495 0.5100 2.5468 -0.3018
-0.8608 -1.3756 -0.8246 -1.9836 -0.3988 0.4938 1.8563 -0.5280 -0.3018
-0.7121 -0.9033 -0.1903 -0.2067 -0.3988 2.1649 1.2443 0.2174 -0.3018
0.3070 0.1906 0.6392 0.9986 -1.7659 0.4938 -0.2244 -0.1553 -0.3018
1.0713 1.1850 -0.5709 -0.7475 -0.9847 -0.8736 0.5100 -1.8324 -0.3018
0.1371 -0.2072 0.4830 0.7977 -0.0081 -0.4178 0.0204 0.3106 1.8713
-0.7971 -0.8535 0.6196 0.9831 -0.9847 -0.1139 -0.1020 1.9877 0.4226

```

Рисунок 2 – Нормовані значення X1

В завданні 2.5 було виконано розрахунок евклідових відстаней між усіма парами об'єктів навчальної вибірки у дев'ятивимірному просторі нормованих ознак. В результаті було отримано матрицю R, її фрагмент показаний на рисунку 3

```

--- 2.5 Матриця відстаней R (фрагмент 5x5) ---
    0   3.2164   3.3792   2.1157   1.5480
  3.2164         0   3.0374   2.8837   2.3690
  3.3792   3.0374         0   3.6393   2.8207
  2.1157   2.8837   3.6393         0   2.7437
  1.5480   2.3690   2.8207   2.7437         0

```

Рисунок 3 – Фрагмент матриці відстаней

В завданні 2.6 було реалізовано розрахунок потенціалів. Фрагменти результатів показані на рисунку 4

```
--- 2.6 Потенціали класу K1 (фрагмент) ---
0.3679    1.2781    0.8764    0.8545    2.3412
1.2781    0.3679    1.9603    2.0534    2.6244
0.8764    1.9603    0.3679    0.5963    2.7157
0.8545    2.0534    0.5963    0.3679    2.6607
2.3412    2.6244    2.7157    2.6607    0.3679
```

```
--- 2.6 Потенціали класу K2 (фрагмент) ---
1.0000    1.0776    1.2653    0.4252    0.3680
1.0776    1.0000    0.9012    0.7749    0.4976
1.2653    0.9012    1.0000    1.6119    0.7295
0.4252    0.7749    1.6119    1.0000    0.6788
0.3680    0.4976    0.7295    0.6788    1.0000
```

Рисунок 4 - Потенціали за класами

В завданні 2.7 було розраховано сумарний потенціал для кожного екземпляра, що належить до K1 і до K2. Виконання показано на рисунку 5

--- 2.7 Сумарні потенціали FA (K1) ---

14.0764
19.1441
23.2013
25.8820
26.6292
11.4662
16.1043
21.6130
21.9867
24.7083
25.5342
17.8838
25.0326
21.9176
26.6116

Середній потенціал FAc: 21.4528

--- 2.7 Сумарні потенціали FB (K2) ---

14.8830
8.5868
12.6256
15.0079
10.9057
13.4093
18.3854
15.9998
13.1318

Середній потенціал FBc: 13.6595

Рисунок 5 – Сумарні потенціали

В завданні 2.9 було проведено віднесення кожного з екземплярів навчальної вибірки до того чи іншого класу на основі значень сумарних потенціалів. Результати показані на рисунку 6

--- 2.8 Перевірка навчальної вибірки (К1) ---

06'єкт	Сум. Пот. FA	Поріг FAc	Рішення
1	14.0764	21.4528	Помилка
2	19.1441	21.4528	Помилка
3	23.2013	21.4528	Правильно
4	25.8820	21.4528	Правильно
5	26.6292	21.4528	Правильно
6	11.4662	21.4528	Помилка
7	16.1043	21.4528	Помилка
8	21.6130	21.4528	Правильно
9	21.9867	21.4528	Правильно
10	24.7083	21.4528	Правильно
11	25.5342	21.4528	Правильно
12	17.8838	21.4528	Помилка
13	25.0326	21.4528	Правильно
14	21.9176	21.4528	Правильно
15	26.6116	21.4528	Правильно

--- 2.8 Перевірка навчальної вибірки (К2) ---

06'єкт	Сум. Пот. FB	Поріг FBс	Рішення
1	14.8830	13.6595	Правильно
2	8.5868	13.6595	Помилка
3	12.6256	13.6595	Помилка
4	15.0079	13.6595	Правильно
5	10.9057	13.6595	Помилка
6	13.4093	13.6595	Помилка
7	18.3854	13.6595	Правильно
8	15.9998	13.6595	Правильно
9	13.1318	13.6595	Помилка

Рисунок 6 – Розподіл навчальної вибірки

Аналіз свідчить про низьку якість розділення класів через значне перекриття ознак приладів. Велика кількість помилок на навчальній вибірці підтверджує що середній потенціал як поріг є неефективним для цих даних.

В завданні 2.9 потрібно було надати результати 2.4, 2.8 та 2.8 вигляді таблиці.

Результат показаний на рисунку 5

--- 2.9 Зведена таблиця (K1) ---

Nº	X1-X9 (Ознаки)									FB	F _{Bc}	Клас	Рішення
1	1.7	1.2	79.4	73.7	51.0	3.5	5.2	32.0	2.3	14.0764	21.4528	K1	Помилка
2	1.4	1.2	85.5	79.1	37.0	3.9	5.0	20.5	1.9	19.1441	21.4528	K1	Помилка
3	2.3	1.9	91.0	84.3	45.0	3.2	4.5	20.5	1.9	23.2013	21.4528	K1	Правильно
4	2.1	1.8	88.1	81.6	43.0	3.0	4.3	20.5	1.9	25.8820	21.4528	K1	Правильно
5	1.5	1.2	82.6	76.5	50.0	3.2	4.8	18.5	1.9	26.6292	21.4528	K1	Правильно
6	2.7	1.9	52.1	76.0	57.0	2.8	3.9	18.0	1.9	11.4662	21.4528	K1	Помилка
7	1.9	1.5	97.6	59.3	46.0	2.9	4.0	18.0	1.9	16.1043	21.4528	K1	Помилка
8	2.9	2.4	70.6	83.0	43.0	3.2	4.3	22.5	1.9	21.6130	21.4528	K1	Правильно
9	2.5	2.2	93.8	86.3	45.0	3.5	4.6	20.5	1.9	21.9867	21.4528	K1	Правильно
10	2.2	1.8	88.3	81.7	45.0	3.2	4.5	20.5	1.9	24.7083	21.4528	K1	Правильно
11	1.4	1.2	89.5	79.1	49.0	3.5	4.7	21.0	1.9	25.5342	21.4528	K1	Правильно
12	2.5	1.9	90.9	84.2	45.0	3.2	4.7	19.5	2.6	17.8838	21.4528	K1	Помилка
13	2.3	1.6	105.0	79.6	51.0	3.4	4.7	22.5	1.6	25.0326	21.4528	K1	Правильно
14	2.6	2.2	87.5	81.0	49.0	3.2	4.2	22.0	1.9	21.9176	21.4528	K1	Правильно
15	2.7	1.9	82.0	76.0	51.0	3.1	3.9	11.5	1.9	26.6116	21.4528	K1	Правильно

--- 2.9 Зведена таблиця (K2) ---

Nº	X1-X9 (Ознаки)									FB	F _{Bc}	Клас	Рішення
1	1.6	1.2	76.8	71.2	48.0	4.0	5.3	20.5	1.9	14.8830	13.6595	K2	Правильно
2	1.5	1.4	82.6	76.5	37.0	3.5	4.8	20.5	1.9	8.5868	13.6595	K2	Помилка
3	1.6	1.2	78.8	73.0	42.0	3.7	4.8	35.0	1.9	12.6256	13.6595	K2	Помилка
4	1.6	1.1	76.2	65.0	43.0	3.5	5.4	18.5	1.9	15.0079	13.6595	K2	Правильно
5	1.7	1.2	82.7	76.5	43.0	4.1	5.2	22.5	1.9	10.9057	13.6595	K2	Помилка
6	2.2	1.7	91.2	84.3	36.0	3.5	4.5	20.5	1.9	13.4093	13.6595	K2	Помилка
7	2.6	2.1	78.8	73.0	40.0	3.1	4.8	11.5	1.9	18.3854	13.6595	K2	Правильно
8	2.1	1.5	89.6	83.0	45.0	3.2	4.7	23.0	2.3	15.9998	13.6595	K2	Правильно
9	1.7	1.3	91.0	84.2	40.0	3.4	4.6	32.0	2.0	13.1318	13.6595	K2	Помилка

Рисунок 5 – Зведена таблиця 2.4, 2.7 та 2.8

В завданні 2.10 було обчислено кількість рішень та імовірності. Таблиця результатів показана на рисунку 6, а графік імовірностей показаний на рисунку 7

--- 2.10 Кількісні показники навчання ---

Показник	Значення
n (ріш K1)	10
n (ріш K2)	4
n (K2/ріш K1)	5
n (K1/ріш K2)	5
P (ріш K1)	0.6667
P (ріш K2)	0.4444
P (K2/ріш K1)	0.5556
P (K1/ріш K2)	0.3333
P пом	0.4167

Рисунок 6 – Кількісні показники

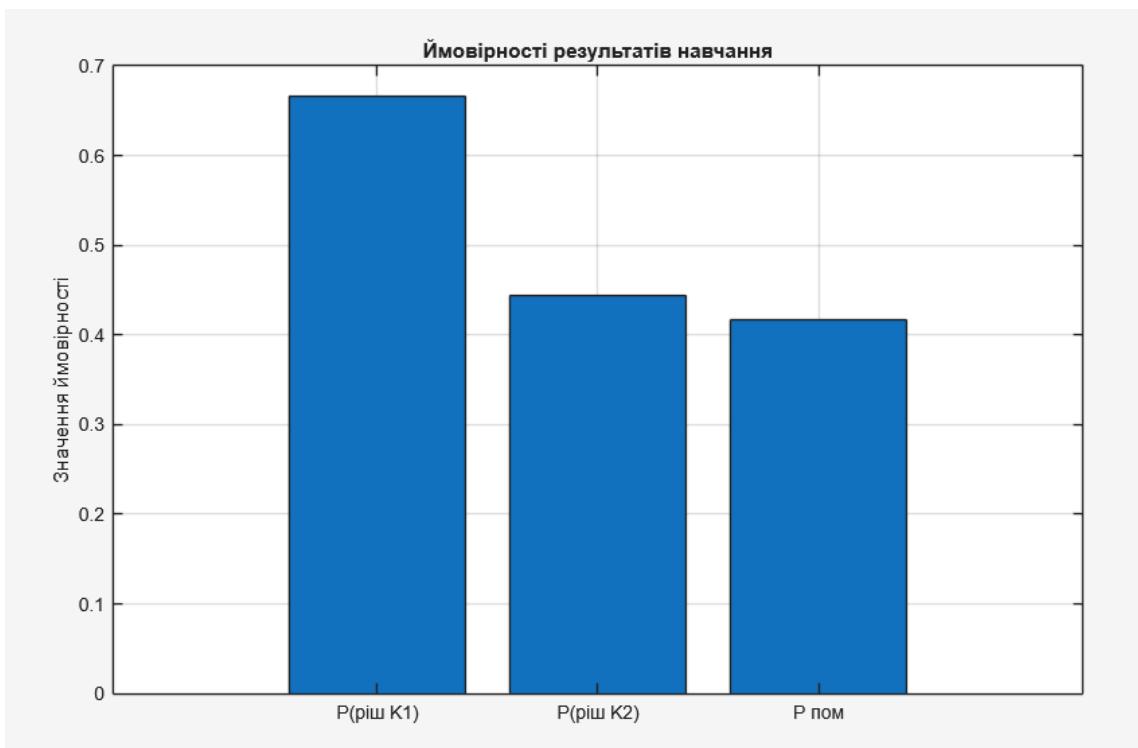


Рисунок 7 – Графік імовірностей

Розраховані статистичні показники підтверджують низьку роздільну здатність обраних порогів для даної вибірки. Високе значення загальної ймовірності помилки $P_{\text{пом}}$ вказує на те, що значна частина об'єктів обох класів знаходиться в зоні невизначеності.

В завданні 11 було знайдено оптимальний поріг на рівні 8.5868, що дозволило мінімізувати ймовірність помилки до 0.0417. Це значення забезпечує найкраще розділення класів і мінімальний сумарний ризик при прийнятті рішень. Графік залежності імовірності помилки від значення порога показаний на рисунку 8.

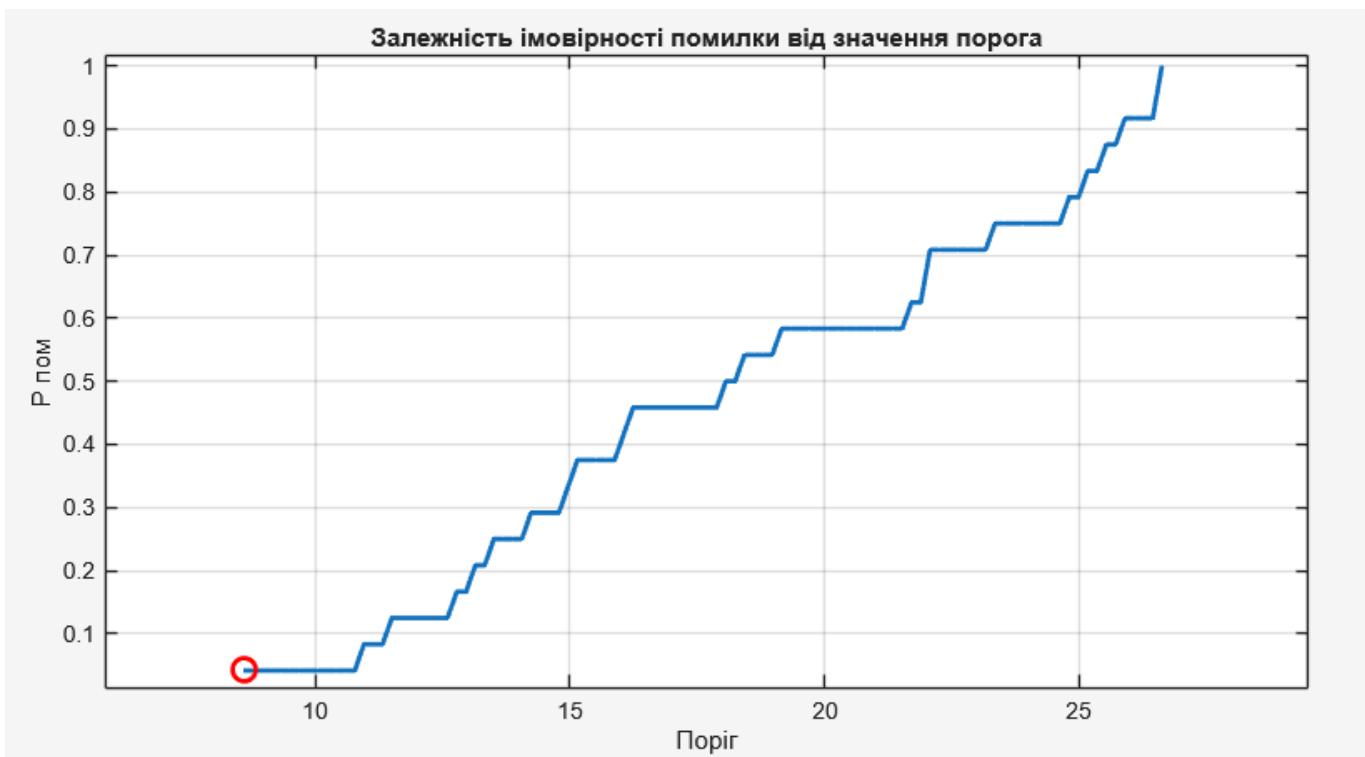


Рисунок 8 – Графік залежності імовірності помилки від значення порога

В завданні 12 було виконано оптимізацію за допомогою метода Монте-Карло.
Результати показані на рисунку 9

```
--- 2.12 Результати багатомірної оптимізації ---
Оптимальний коефіцієнт alpha: 1.87
Оптимальний поріг T: 1.6396
Мінімальна помилка навчання: 0.2083
Оптимальні ваги (U):
    0.0087
    0.2026
    0.0107
    0.2090
    0.1769
    0.1851
    0.0630
    0.1014
    0.0425
```

Рисунок 9 – Результати багатомірної оптимізації

В завданні 13 було досягнуто покращення точності, імовірність помилки $P_{\text{пром}}$ знизилася до 0.20. Це показано на рисунку 10.

--- 2.13 Оцінка імовірності помилкових рішень ---
Кількість помилок K1 (пропуск): 4
Кількість помилок K2 (хибна тривога): 1
Імовірність пропуску $P(K2/K1)$: 0.2667
Імовірність хибної тривоги $P(K1/K2)$: 0.1111
Загальна помилка $P_{\text{ром}}$: 0.2083

Рисунок 10 – Результат оцінки імовірності помилкових рішень після оптимізації

І в кінці було проведено класифікацію елементів тестової вибірки, результати показані на рисунку 11 та 12

--- 2.14 Результати класифікації X3 ---

1		F = 1.0004		K2 (Непридатний)
2		F = 0.7581		K2 (Непридатний)
3		F = 0.5619		K2 (Непридатний)
4		F = 0.5237		K2 (Непридатний)
5		F = 0.5108		K2 (Непридатний)
6		F = 0.7146		K2 (Непридатний)
7		F = 2.4246		K1 (Придатний)
8		F = 1.8082		K1 (Придатний)
9		F = 0.3155		K2 (Непридатний)
10		F = 3.0027		K1 (Придатний)
11		F = 1.6192		K2 (Непридатний)
12		F = 1.1798		K2 (Непридатний)
13		F = 0.9563		K2 (Непридатний)
14		F = 1.5429		K2 (Непридатний)
15		F = 1.8820		K1 (Придатний)
16		F = 0.7886		K2 (Непридатний)
17		F = 1.4117		K2 (Непридатний)
18		F = 0.4381		K2 (Непридатний)
19		F = 1.0798		K2 (Непридатний)

Рисунок 11 – Результати класифікації тестової вибірки

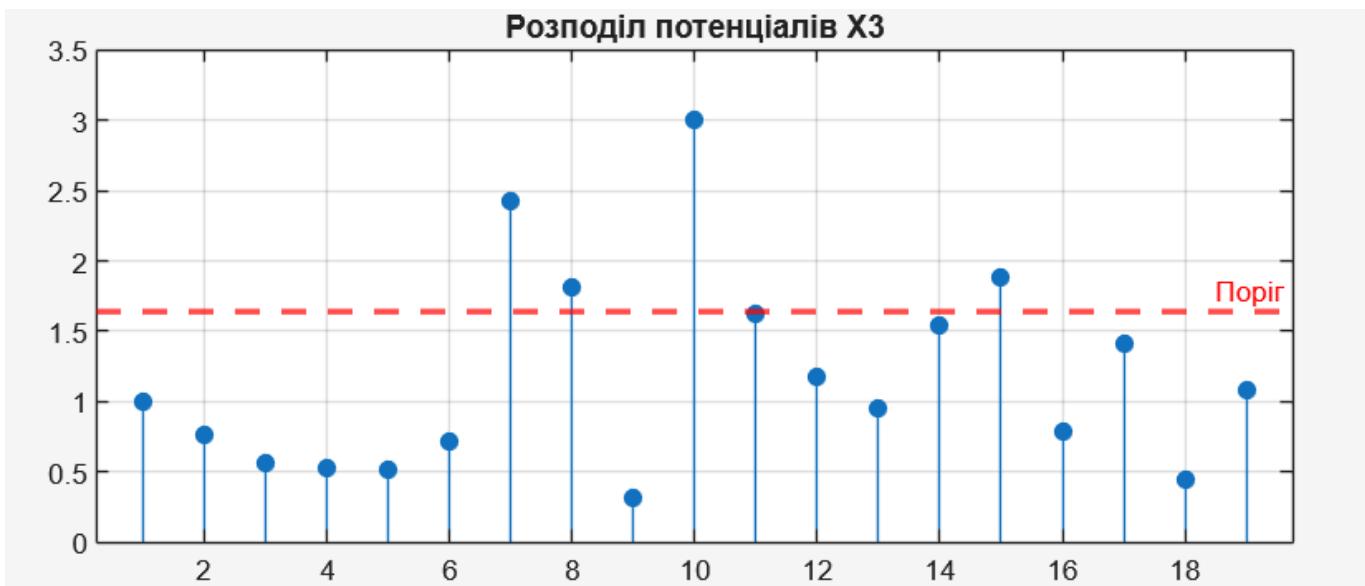


Рисунок 12 – Графік розподілу потенціалів для тестової вибірки

5 Висновки

Я вивчив методику вирішення задач класифікації з використанням потенціальних функцій.