

# **ОСНОВИ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ та ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ**

## **Модуль 2. Навчання з вчителем**

### **Лекція 2.5.**

#### **Класифікація. Загальні визначення.**

# Класичний AI / Класичний ML

## Машинне навчання

```
graph TD; A[Машинне навчання] --> B[Навчання з вчителем]; A --> C[Навчання без вчителя]; A --> D[Навчання з підкріпленням]; B --> B1[Регресія]; B --> B2[Класифікація]; C --> C1[Кластеризація]; C --> C2[Зменшення розмірності]; D --> D1[Вживання у незнайомій обстановці];
```

Навчання з  
вчителем

Регресія

Класифікація

Навчання без  
вчителя

Кластеризація

Зменшення  
розмірності

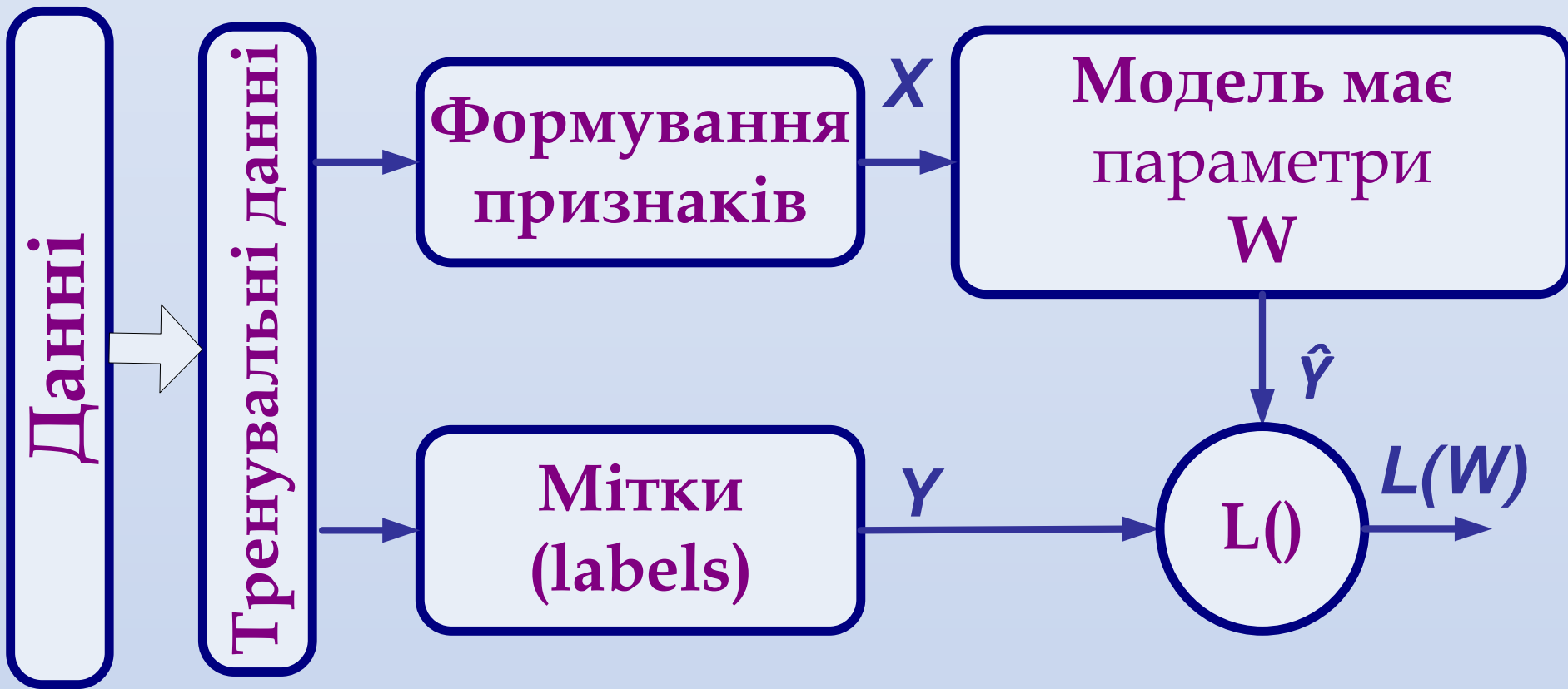
Навчання з  
підкріпленням

Вживання у  
незнайомій  
обстановці

Навчання з вчителем: є набір прикладів, до кожного прикладу є правильна відповідь.

**Задача** – навчитися по прикладах надавати правильну відповідь на питання, задане вчителем.

# Загальний процес ML з вчителем



# Класичний AI / Класичний ML

## Машинне навчання

```
graph TD; A[Машинне навчання] --> B[Навчання з вчителем]; A --> C[Навчання без вчителя]; A --> D[Навчання з підкріпленням]; B --> E[Регресія]; B --> F[Класифікація]; C --> G[Кластеризація]; C --> H[Зменшення розмірності]; D --> I[Вживання у незнайомій обстановці];
```

The diagram illustrates the classification of Machine Learning into three main categories: Supervised Learning, Unsupervised Learning, and Reinforcement Learning. Supervised Learning is further divided into Regression and Classification, with Classification highlighted by a red dashed border. Unsupervised Learning is divided into Clustering and Dimensionality Reduction. Reinforcement Learning is associated with application in unfamiliar environments.

Навчання з  
вчителем

Регресія

Класифікація

Навчання без  
вчителя

Кластеризація

Зменшення  
розмірності

Навчання з  
підкріпленням

Вживання у  
незнайомій  
обстановці

# Класифікація

**Класифікація** – процес групування об'єктів відповідно до їх загальних ознак.

Класифікація – розподіл (віднесення ) об'єктів до їхніх класів.

Два типи завдання класифікації:

- класи заздалегідь визначені (! навчання з вчителем),
- класи утворюються в процесі вирішення (!кластеризація).

**Розпізнавання** - додатково до класифікації - ідентифікація об'єктів.

# Класифікація

## Формально:

Маємо множину  $\mathbb{O}$  об'єктів  $o^{(j)}$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$

Кожен об'єкт  $o^{(i)}$  має сукупність характеристик - ознак  $x_i^{(j)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  з множини  $\mathbb{X}$ .

Маємо множину  $\mathbb{C}$  класів  $c^{(k)}$ ,  $k = 2, \dots, K$

Існує невідома залежність (правило)  $\mathbb{F}$ , яка на підставі пар  $\langle o^{(j)}, c^{(k)} \rangle$  визначає, чи належить об'єкт  $o^{(j)}$  до класу  $c^{(k)}$ .

**Завдання:** знайти правило  $\check{\mathbb{F}}$ , максимально наближене до  $\mathbb{F}$ . Тобто, знайти вирішальне правило, що дозволяє класифікувати довільний об'єкт  $o$  за його ознаками.

# Класифікація

## Термінологія:

Множина  $X$  - множина вхідних змінних  $x$ : *незалежній змінні, змінні-предиктори, атрибути, ознаки.*

Множина  $C$  - множина вихідних змінних  $y$ : *клас, залежна змінна, змінна відповіді, вихідна змінна (двійкова в випадку бінарної класифікації).*

# Класифікація

**Бінарна класифікація:** Вирішальне правило

- повертає 1 (true), якщо об'єкт  $o^{(j)}$  належить до класу  $c^{(k)}$  ,
- повертає 0 (false), якщо об'єкт  $o^{(j)}$  НЕ належить до класу  $c^{(k)}$  .

**Імовірнісна класифікація:** Вирішальне правило повертає ймовірність того що об'єкт  $o^{(j)}$  належить до класу  $c^{(k)}$  .



# Класифікація

## Типи ознак (характеристик):

- Бінарні  $x_i = \{0, 1\}$ .
- Номінальні - скінчена множина.
- Порядкові - впорядкована скінчена множина.
- Кількісні - множина дійсних чисел.

## Типи класів:

- Двокласова класифікація (Тільки 2 класи!).
- Багатокласова класифікація.
- Непересічені класи (об'єкт належить до ОДНОГО класу).
- Пересічені класи (об'єкт може належати до декілька класів).
- Нечіткі класи (об'єкт належить до декілька класів з деякою вірогідністю)

# Приклади завдань класифікації

## Медична діагностика

- класифікувати вид захворювання (диференційна діагностика);
- визначати найбільш доцільний спосіб лікування;
- передбачати тривалість та результат захворювання;
- оцінювати ризик ускладнень;
- Знайти синдроми - найбільш характерні для даного захворювання сукупності симптомів.

Класифікація текстів за настроєм

Розпізнавання спаму

Оптичне розпізнавання символів

Розпізнавання зображень

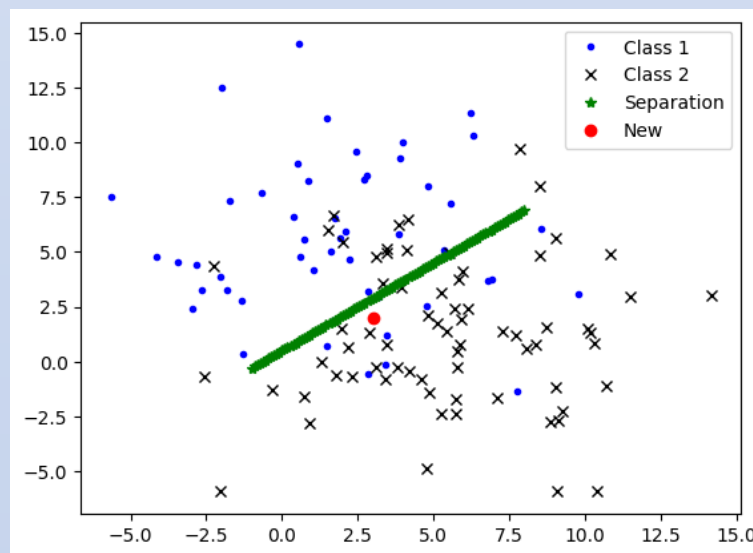
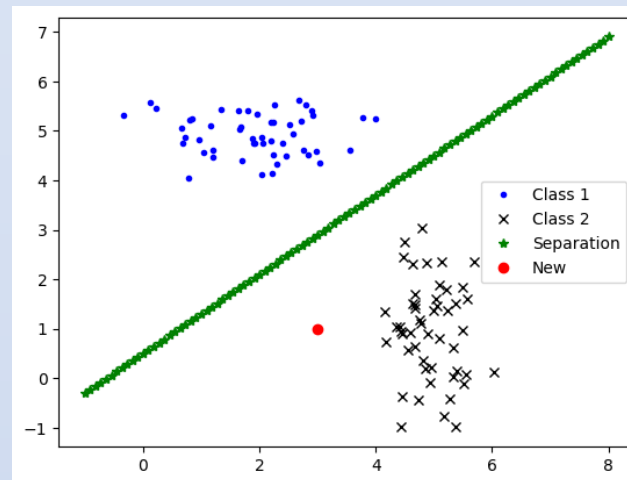
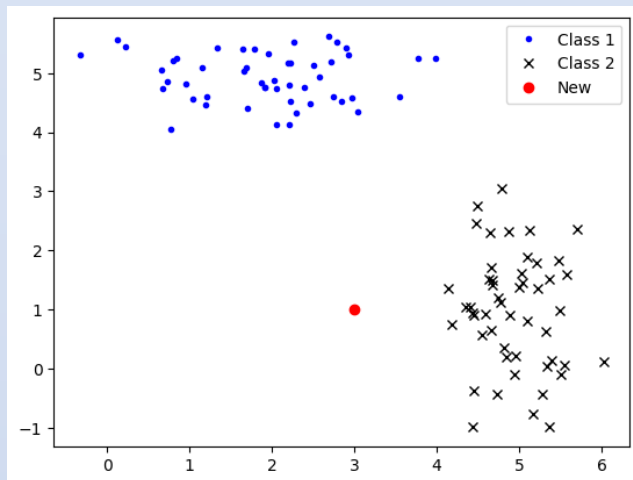
....

# Методи Класифікації

- Регресійні методи, логістична регресія
- Метод k-найближчих сусідів (KNN)
- Метод опорних векторів (SVM)
- Наївний Байєс (ймовірнісний класифікатор)
- Дерева рішень
- ....

# Класифікація. Приклад

## Лінійна регресія



# Бінарна класифікації

Маємо множину  $\mathbb{O}$  об'єктів  $o^{(j)}$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ .

Маємо два класи  $c^{(0)}$ ,  $c^{(1)}$ ,  $K = 2$ .

Припустимо, що кожен об'єкт  $o^{(j)}$  має тільки одну ознаку  $x^{(j)} \in \mathbb{R}$ , множини  $\mathbb{X}$ .

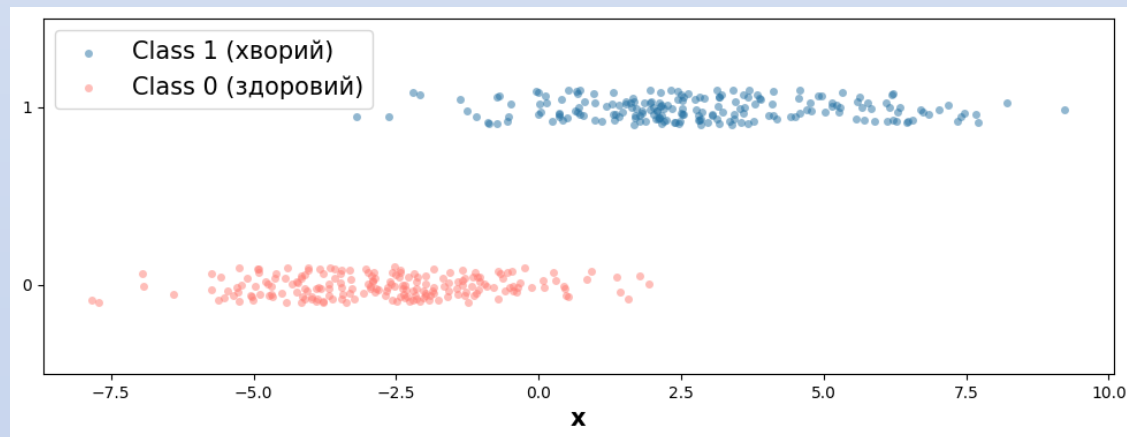
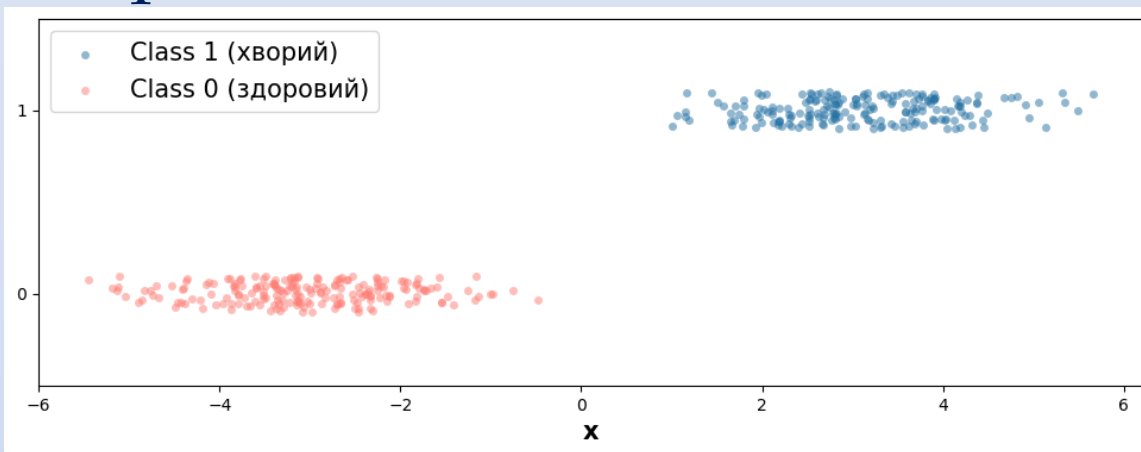
**Приклад. Діагностика.**

Є  $M$  пацієнтів  $o^{(j)}$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ . Стан пацієнта характеризується кількістю (типізацією) специфічних Т-клітин (дійсно число). Пацієнти або здорові  $c^{(0)}$ , або хворі  $c^{(1)}$ . Необхідно побудувати модель, що по значенню  $x^{(v)}$  класифікує пацієнта  $o^{(v)}$  як хворого, або здорового

Тобто знайти  $F(\mathbf{x})$ , натреновану на множені  $\mathbb{O}$ , що повертає 0 або 1 з дякою (мінімальною) похибкою.

# Бінарна класифікації

## Проблема.

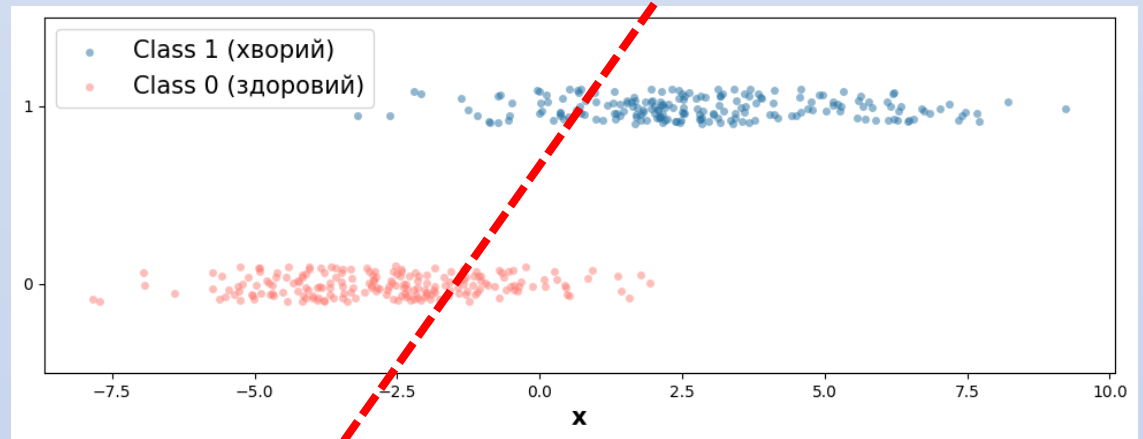
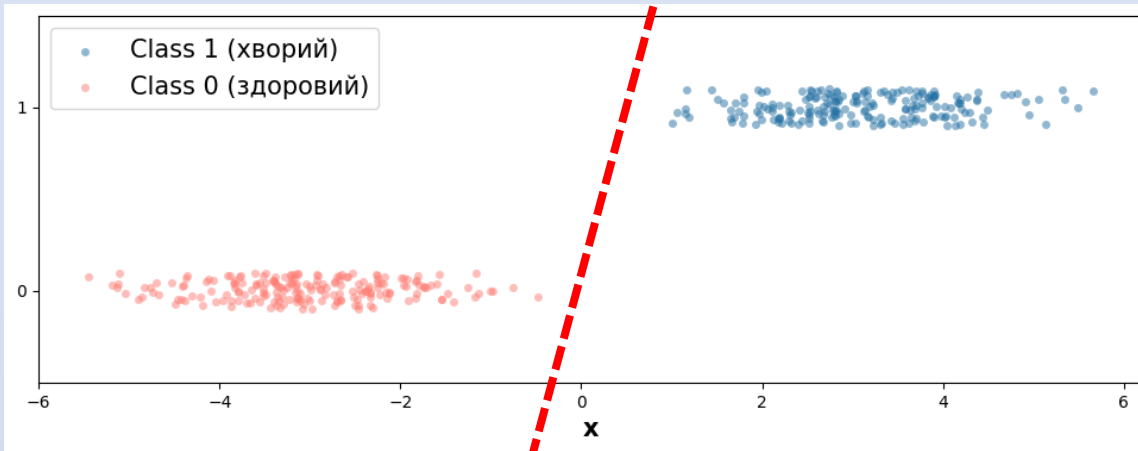


Як розділити класи?

# Бінарна класифікації

Проблема.

Лінійна регресія (погано)

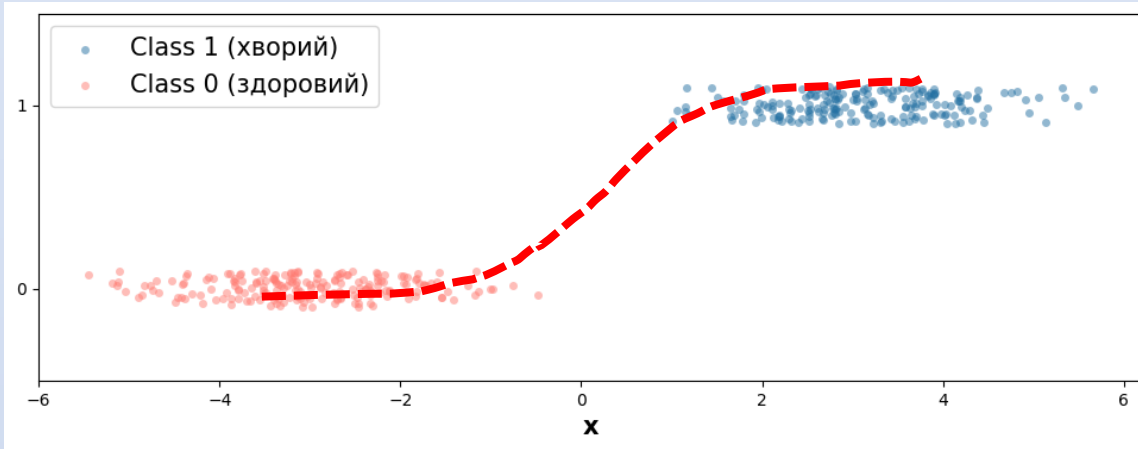


$$y = f(x) = w_1 * x + w_0$$

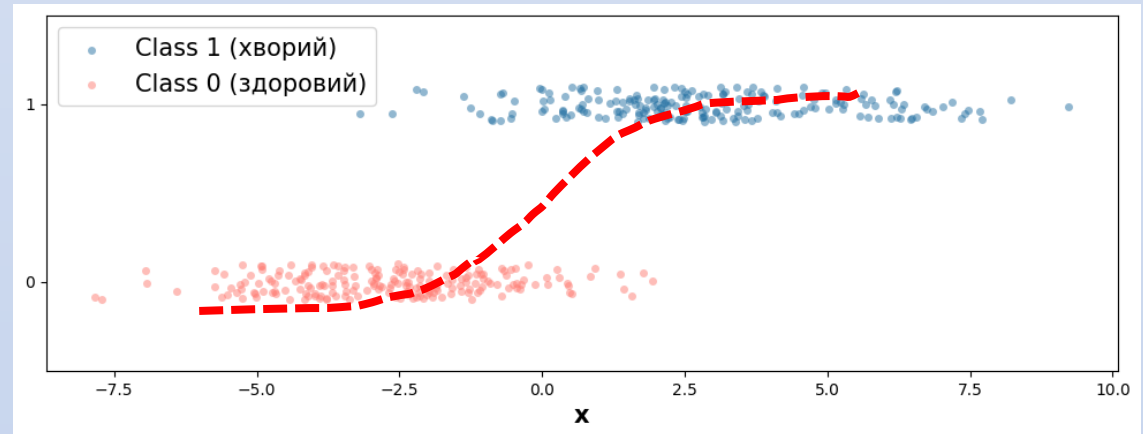
# Бінарна класифікації

Проблема.

Логістична регресія



$$y = f(z) = f(w_1 * x + w_0)$$



Змінна  $y$  - ймовірність того, конкретний пацієнт хворий або здоровий.



# Бінарна класифікації

Логістична регресія спочатку обчислює шанси події, що відбувається для різних рівнів кожної незалежної змінної, а потім бере логарифм, щоб створити безперервний критерій як перетворену версію залежної змінної.

Означмо  $p$  – ймовірність успіху (клас 1), то математично шанси з погляду ймовірності дорівнюють

$$\frac{p}{1-p}.$$

Логарифм шансів - це логіт ймовірності:

$$\log(p) = \log \frac{p}{1-p} = w_1 * x + w_0$$

$$\frac{p}{1-p} = e^{w_1 * x + w_0}$$

$$p = \frac{e^{(w_1 * x + w_0)}}{1 + e^{(w_1 * x + w_0)}}$$

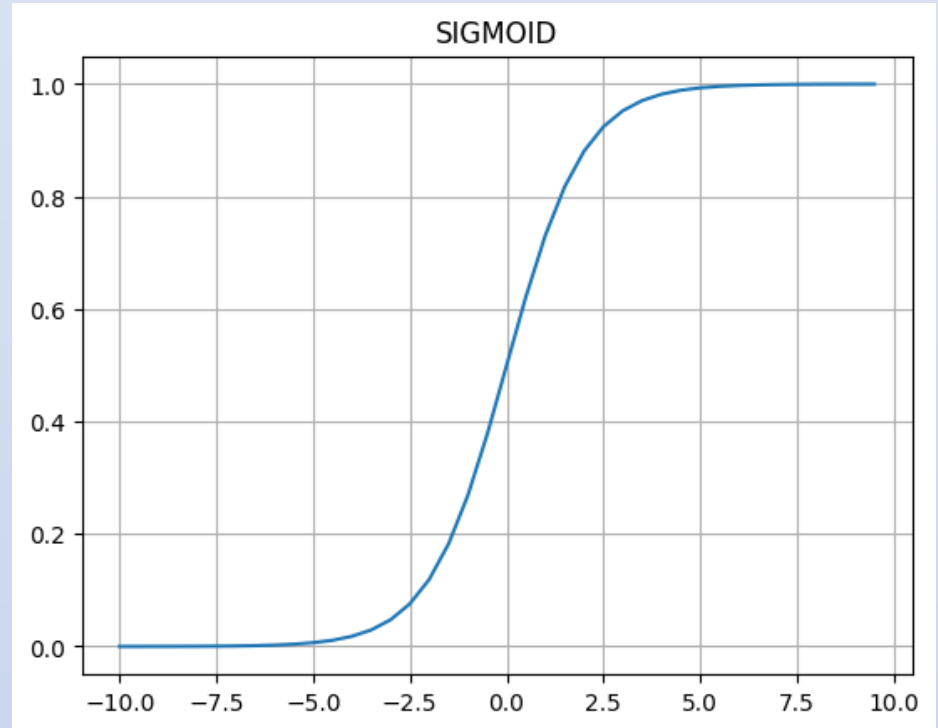
# Бінарна класифікації

Логістична функція, логістична крива,  
Логіт-перетворення

$$F(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} = \frac{e^z}{1+e^z}$$
$$\frac{1}{1 + e^{-(w_1 * x + w_0)}}$$

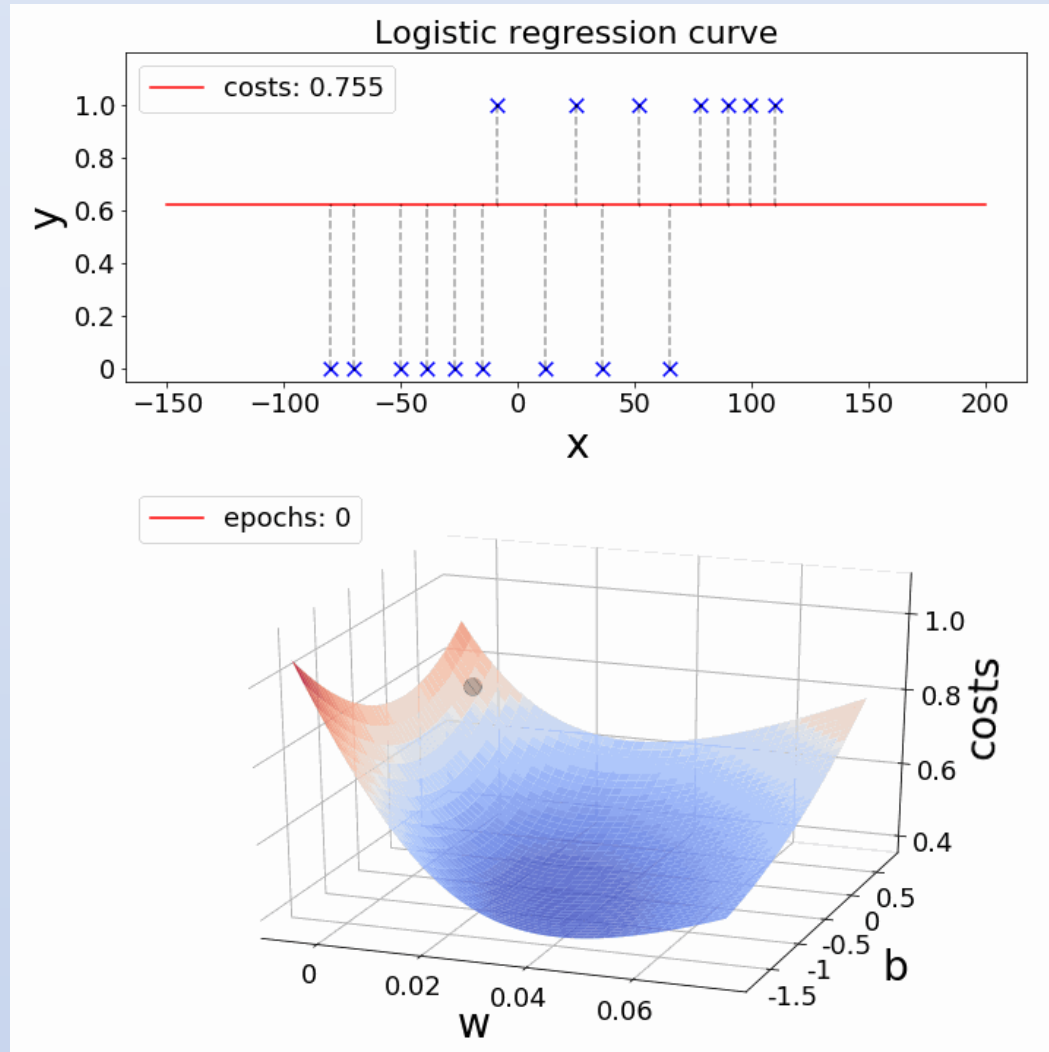
$$F(z) \in (0, 1) \forall z$$

За допомогою логістичної  
регресії можна оцінити  
ймовірність того, що подія  
настане.



# Бінарна класифікації

## Візуалізація



<https://medium.com/@nirajan.acharya666/why-is-it-called-logistic-regression-and-not-logistic-classification-c201889d268c>

# Бінарна класифікації

Пошук параметрів моделі виконується на основі методу **максимальної правдоподібності**.

Обчислюється функція правдоподібності (*likelihood function, L*), що виражає щільність ймовірності спільної появи результатів вибірки.

Позначимо через  $p_i$  ймовірність появи одиниці для  $o^{(i)}$  :  $p_i = Prob(y_i = 1)$ . Ця ймовірність залежить від  $x_i, w_0, w_1$ . Для  $i \in c^{(0)}, y_i = 0$ ,  
Для  $i \in c^{(0)}, y_i = 0; i \in c^{(1)}, y_i = 1$ ; Тоді  $\log L$ :

$$\begin{aligned} L^*(W) &= \frac{1}{M} \left[ \sum_{i \in C0} \log p_i(x_i, W) + \sum_{i \in C1} \log(1 - p_i(x_i, W)) \right] \\ &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [y_i \log p_i(x_i, W) + (1 - y_i) \log(1 - p_i(x_i, W))] \end{aligned}$$

# Бінарна класифікації

На відміну від лінійної регресії з нормально розподіленими залишками, неможливо знайти вираз у замкнутій формі для значень коефіцієнтів, що максимізують функцію правдоподібності (зведення до СЛАУ).

Замість цього слід використовувати ітераційний процеси, наприклад, градієнтні методи.

У деяких випадках модель може не досягти збіжності.

# Контрольні запитання

- **Надайте загальну постановку задачі класифікації.**
- **Вкажіть типи задачі класифікації, типи ознак, типи класів.**
- **Надайте загальну постановку задачі бінарної класифікації.**
- **Пояснить сутність логістичної регресії.**
- **Пояснить процес пошуку параметрів моделі логістичної регресії.**

## Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Глибинне навчання:** Навчальний посібник / Уклад.: В.В. Литвин, Р.М. Пелещак, В.А. Висоцька В.А. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 264 с.
- Тимощук П. В., Лобур М. В. **Principles of Artificial Neural Networks and Their Applications: Принципи штучних нейронних мереж та їх застосування:** Навчальний посібник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 292 с.
- Morales M. **Grokking Deep Reinforcement Learning.** – Manning, 2020. – 907 с.
- Trask Andrew W. **Grokking Deep Learning.** – Manning, 2019. – 336 с.

# Корисні та цікави посилання

- **Машинне навчання**

[https://uk.wikipedia.org/wiki/машинне\\_навчання](https://uk.wikipedia.org/wiki/машинне_навчання)

- **Львівська політехніка**

<http://www.mmf.lnu.edu.ua/ar/1739>

<http://www.mmf.lnu.edu.ua/ar/1743>



**The END**

**Модуль 2. Лекція 05.**