

Задачі класифікації

(Теорія розпізнавання образів)

До цього в основному мали справу з наборами однотипних об'єктів. Нехай тепер об'єкти, які аналізуються неоднорідні. Виникає потреба розподілити об'єкти по підмножинам (класам, образам) так, щоб у кожній підмножині знаходилися об'єкти з близькими характеристиками.

Наведемо деякі приклади задач класифікації.

Приклад 1. Перед батьками завжди постає задача навчити дитину розпізнавати рукописні чи друковані літери абетки незалежно від почерку у рукописному тексті чи використаного шрифту у друкованому виданні.

Приклад 2. Сортування яблук/груш/ за сортами.

Приклад 3. Рибалки повернулися з вдалої риболовлі. Свій вилов їм потрібно відсортувати по видам риб. Наприклад: короп, лящ, плотва, щука, судак і т. ін.

Приклад 4. Нехай потрібно з'ясувати, чи є певна особа тою за кого вона себе видає. Це можна зробити розв'язуючи задачі автентифікації особи:

- по відбиткам пальців рук (*fingerprint authentication*),
- відбиткам долонь рук (*palmprint authentication*),
- обличчю (*face authentication*),
- райдужній оболонці ока (*iris authentication*)
- голосу (*voice authentication*)
- рукописному почерку (*handwriting authentication*) і т. ін.

Перші два варіанти широко використовуються при автентифікації особи на мобільних телефонах, laptops.

При потребі використовують декілька рівнів у цій процедурі: двофакторну автентифікацію (*two-factor authentication, 2FA*) або багатфакторну автентифікацію (*multi-factor authentication*).

Приклад 5. Сформулюємо тепер питання інакше. Потрібно з'ясувати хто є ця особа? Це вже є задача *ідентифікації особи*, як правило, *по її біометричним характеристикам*, які вже згадувалися у попередньому прикладі. Наприклад, це може бути проблема ідентифікації водія-порушника на основі записів з камер відеофіксації дорожнього руху у місті. Або ідентифікації злочинця по відбиткам пальців або долонь рук і т. ін.

Приклад 6. Припустимо, що по кожному з пацієнтів деякої медичної установи доступна інформація про результати ряду їх аналізів та обстежень. Потрібно на основі цих даних зробити висновок про наявність чи відсутність у них певної хвороби, що дозволить лікарю оперативно прийняти рішення про подальше їх лікування.

Приклад 7. Розглянемо потік електронної пошти, яка поступає на загальну поштову скриньку деякої академічної установи. Потрібно

організувати сортуванні електронних листів по відділам цієї наукової установи.

Приклад 8. Нехай деякий агрегатор новин накопичує інформацію з багатьох джерел. Потрібно новини, які надішли, оперативно відсортувати по таким розділам: політика, економіка, наука та технології, мистецтво, спорт, здоров'я, за кордоном, інше. Ще одна проблема пов'язана з вилученням з цього потоку інформації фейкових повідомлень.

Приклад 9. Задача розпізнавання наближення стихійних лих: землетрусу, цунамі, тайфуна, смерчу і т. ін.

Приклад 10. Задача розпізнавання наближення до нашої планети різного роду об'єктів: метеоритів, астероїдів, комет, НЛО і т. ін. Для розв'язання цієї проблеми використовується сама потужна на поточний момент обчислювальна техніка.

Приклад 11. Розблокування зброї при використанні її тільки власником і блокування її при доступі сторонніх осіб (*palmprint authentication*).

Приклад 11. Спектр задач розпізнавання, які виникають при розробці безпілотних пристроїв, а саме:

- автотранспорту,
- річкових та морських кораблів,
- підводних човнів,
- літальних апаратів (літаки, вертольоти, дрони, квадрокоптери і т. ін.),
- космічних апаратів.

Приклад 12: Робот + Аналіз сцен.



I

Постановка задачі класифікації.

Нехай маємо деяку сукупність *об'єктів* (процесів, явищ, ситуацій) ω , які підлягають аналізу. Позначимо через Ω множину усіх можливих таких об'єктів ω , тобто

$$\omega \in \Omega.$$

У подальшому Ω будемо називати *простором об'єктів* (*object space*).

Нехай відомо, що простір усіх об'єктів Ω розбивається на m підмножин $\{\Omega_i\}_{i=1}^m$, які не перетинаються. Причому вважається, що кожна підмножина складається з об'єктів зі спільними рисами. Таким чином

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i, \quad \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset, \quad \forall i \neq j.$$

Ці підмножини $\{\Omega_i\}_{i=1}^m$ будемо називати *класами*.

Нехай для кожного об'єкту ω відомий вектор спостережень (*observation vector*) $\vec{y} = \vec{y}(\omega)$ над його характерними властивостями. Множину усіх можливих таких векторів спостережень будемо називати простором спостережень (*observation space*) та позначати через Y . Тобто

$$\vec{y} = \vec{y}(\omega) \in Y, \quad \forall \omega \in \Omega$$

Задача класифікації (*classification problem*) полягає у знаходженні правила прийняття рішення, оптимального у деякому розумінні, про належність об'єкту ω до одного з класів $\{\Omega_i\}_{i=1}^m$ на базі вектора спостережень $\vec{y} = \vec{y}(\omega)$ та доступної апріорної інформації про об'єкт ω . |

Якщо розмірність вектора спостережень \vec{y} досить велика або він містить надлишкову інформацію, то має сенс провести пониження розмірності (редукцію розмірності) вектора \vec{y} , який використовується при класифікації. Тобто перейти від вектора спостережень \vec{y} до вектора ознак (*feature vector*) $\vec{x} = \vec{x}(\omega)$ меншої розмірності, мінімізуючи втрати інформації про об'єкт ω , за допомогою деякого перетворення

$$R: Y \rightarrow X,$$

де X - простір ознак (*feature space*), який складається з усіх можливих векторів ознак \vec{x} , тобто

$$\vec{x} = \vec{x}(\omega) \in X, \quad \forall \omega \in \Omega.$$

У подальшому будемо вважати, що процедура пониження розмірності вектора спостережень \vec{y} вже проведена і тому при розв'язанні задача класифікації будемо використовувати замість вектора спостережень \vec{y} вектор ознак \vec{x} .

А саму задачу класифікації будемо вирішувати шляхом розбиття простору ознак X на підмножини $\{X_i\}_{i=1}^m$, які не перетинаються. Причому X_i складається з векторів ознак, які відповідають об'єктам з класу $\Omega_i, i = \overline{1, m}$. Таким чином

$$X = \bigcup_{i=1}^m X_i, \quad X_i \cap X_j = \emptyset, \quad \forall i \neq j.$$

Це розбиття простору ознак X , як правило, здійснюється за допомогою набору дискримінантних функцій $\{d_i(\vec{x})\}_{i=1}^m$, які будуються для цієї мети. Причому вони конструюються таким чином, щоб

$$X_j = \{x: d_j(\vec{x}) > d_i(\vec{x}), \forall i \neq j\}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Тоді алгоритм класифікації об'єкту ω (тобто віднесення об'єкту ω до певного класу) буде мати вигляд:

$$\text{якщо } d_j(\vec{x}(\omega)) > d_i(\vec{x}(\omega)), \forall i \neq j, \text{ то } \omega \in \Omega_j.$$

Або іншими словами, якщо взяти до уваги (1), останнє можна переписати так:

$$\text{якщо } \vec{x}(\omega) \in X_j, \text{ то } \omega \in \Omega_j.$$

Зауваження. У випадку двох класів ($m = 2$) достатньо мати у своєму розпорядженні тільки одну дискримінантну функцію, яка визначається таким чином:

$$d(\vec{x}) = d_1(\vec{x}) - d_2(\vec{x}). \quad (2)$$

Тоді області $\{X_j\}_{j=1}^2$ будуть задаватися так:

$$X_1 = \{x: d(\vec{x}) > 0\},$$

$$X_2 = \{x: d(\vec{x}) < 0\}.$$

А безпосередньо алгоритм класифікації об'єкту ω буде мати вигляд:

$$\left[\begin{array}{l} \text{якщо } d(\vec{x}(\omega)) > 0, \quad \text{то } \omega \in \Omega_1, \\ \text{якщо } d(\vec{x}(\omega)) < 0, \quad \text{то } \omega \in \Omega_2. \end{array} \right.$$