Про Природу Вхідних Даних в Деяких Задачах Штучного Інтелекту

Н.Тимофієва
відділ комплексних досліджень інформаційних технологій
МННЦІТіС НАН та МОН України
Київ, Україна
TymNad@gmail.com

About Nature of Input Date Into Some Problems of Artificial Intelligence

N. K. Tymofijeva
integrated research department of information technology
ISTCITS of NAS and MES of Ukraine
Kiev, Ukraine
TymNad@gmail.com

***Анотація*—Аналізуються способи представлення вхідних даних в задачах штучного інтелекту. Показано, що вони задаються матрицями та скінченними послідовностями, а в задачах розпізнавання природних сигналів описуються розміщенням з повтореннями. Ця комбінаторна конфігурація задає нечіткість у вхідних даних.**

***Abstract*—The methods of presentation of input data are analysed in the problems of artificial intelligence. It is shown that they are given matrices and finite sequences, and in the problems of recognition of natural signals described placement of repetitions. This combinatorial configuration sets vagueness in input data.**

Ключові слова—вхідні дані; комбінаторна конфігурація; задача класифікації; розпізнавання; штучний інтелект

Keywords—input data; *combinatorial* configuration *problem of classification; recognition; artificial intelligence (key words)*

I. ВСТУП

До штучного інтелекту, як правило, відносять задачі, пов'язані з розпізнаванням образів [1], звукових (мовленнєвих) сигналів [2], розпізнаванням текстів, клінічної діагностики тощо. Як правило, в задачах цього класу вхідні дані мають нечітку структуру. В процесі їхнього розв'язання проводиться порівняння вхідної інформації та еталону. З цією метою використовують міри подібності. Знаходження оптимального розв'язку в них потребує перебору варіантів. Перебірним же задачам властива комбінаторна природа. Цю властивість можна дослідити, змоделювавши їх в рамках теорії комбінаторної оптимізації. Деякі задачі із штучного інтелекту зводять до задач класифікації чи кластеризації. Далі наведемо загальну постановку задачі комбінаторної оптимізації.

II. ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Задачі цього класу, як правило, задаються однією або кількома множинами, наприклад A та B, елементи яких мають будь-яку природу [3]. Назвемо ці множини *базовими*. Наявні два типи задач. В *першому* типі кожну з цих множин подамо у вигляді графа, вершинами якого є її елементи, а кожному ребру поставлено у відповідність число $c_{lt} \in R$, яке називають вагою ребра (R – множина дійсних чисел); $l \in \{1,...,n\}$, $t \in \{1,..., \tilde{n}\}$, n – кількість елементів множини A, $\tilde{n}$ – кількість елементів множини B. Покладемо, що $n = \tilde{n}$. Між елементами цих множин існують зв'язки, числове значення яких назвемо вагами. Величини c_{lt} назвемо *вхідними* даними та задамо їх матрицями. В *другому* типі задач між елементами заданої множини зв'язків не існує, а вагами є числа $v_j \in R$, $j \in \{1,...,n\}$, яким у відповідність поставлено деякі властивості цих елементів, числові значення яких задаються скінченними послідовностями, що також є вхідними даними. Ці величини визначають значення цільової функції.

Для обох типів задач із елементів однієї або кількох із заданих множин, наприклад $a_l \in A$, $l \in \{1,...,n\}$, утворюється комбінаторна множина W – сукупність комбінаторних конфігурацій певного типу (перестановки, вибірки різних типів, розбиття тощо). На елементах w комбінаторної множини W вводиться цільова функція $F(w)$. Необхідно знайти елемент w^* множини W, для якого $F(w)$ набуває екстремального значення при виконанні заданих обмежень, тобто функціонал $F(w^*) = glob \underset{w \in W^0 \subset W}{extr} F(w)$, де $extr = \{\min, \max\}$, W^0 – підмножина, яка визначається обмеженнями задачі.

Для моделювання прикладних задач в рамках теорії комбінаторної оптимізації необхідно:

- визначити вид задачі (статична або динамічна) за способом обчислення цільової функції;
- визначити базові множини, якими задається певна задача;
- визначити її тип за вхідними даними;
- визначити аргумент цільової функції (комбінаторну конфігурацію);
- змоделювати цільову функцію.

Аналіз задач із штучного інтелекту показує, що вони відносяться як до першого так і до другого типів. Аргументом цільової функції в них виступають комбінаторні конфігурації різних типів, зокрема вибірки (сполучення та розміщення як з повтореннями так і без повторень, розбиття n-елементної множини на підмножини тощо). Задачі цього класу можуть бути як статичними так і динамічними.

III. Комбінаторні конфігурації

Комбінаторною конфігурацією назвемо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів заданої множини $A = \{a_1, ..., a_n\}$ [3]. Позначимо її впорядкованою множиною $w^k = (w_1^k, ..., w_{\eta^k}^k)$. Верхній індекс k ($k \in \{1, ..., q\}$) в w^k – порядковий номер w^k в W , q – їхня кількість. Множину $A = \{a_1, ..., a_n\}$ назвемо базовою. Під символом $w_l^k \in A$ розуміємо як окремі елементи, так і підмножини (блоки), $\eta^k \in \{1, ..., n\}$ – кількість елементів у $w^k \in W$. Залежно від умови задачі η позначатимемо без індексу або з верхнім індексом η^k. Дві нетотожні комбінаторні конфігурації w^k та w^i назвемо ізоморфними, якщо $\eta^k = \eta^i$.

В прикладних задачах обчислювального інтелекту аргументом цільової функції виступають різні типи вибірок. З поняттям вибірки пов'язують як саму операцію виділення підмножин заданої множини, так і її результат: вибрану підмножину. В подальшому маємо на увазі друге поняття.

Нехай задано базову множину $A = \{a_1, ..., a_n\}$. З неї одержимо η-вибірку. Число η називають об'ємом вибірки. В η-вибірках в залежності від умови задачі абоураховується порядок розташування в них елементів (тоді їх називають η-перестановками або η-розміщеннями) або не враховують. У цьому випадку вони називаються η-сполученнями.

Отже існують такі типи вибірок: упорядковані та неупорядковані. Неупорядковані це – сполучення без повторень і сполучення з повтореннями. Упорядковані це – розміщення з повтореннями та розміщення без повторень. Множина будь-якого типу вибірок складається з підмножин ізоморфних вибірок $W_{\eta^k} \subset W$. В задачі розпізнавання та синтезу мовленнєвих сигналів та задачі клінічної діагностики аргументом цільової функції є сполучення без повторень та розміщення з повтореннями.

IV. Моделювання вхідних даних функціями натурального аргументу

Розглянемо задачі першого типу, вхідні дані в яких задаються матрицями, одна з яких – комбінаторна. Подамо елементи h наддіагоналей симетричної комбінаторної матриці $Q(w^k)$ комбінаторною функцією $\beta(f(j), w^k)|_1^m = (\beta_1(f(1), w^k), ..., \beta_m(f(m), w^k))$, а елементи h наддіагоналей симетричної матриці C – функцією натурального аргументу $\varphi(j)|_1^m = (\varphi(1), ..., \varphi(m))$, де $m = \frac{n(n-1)}{2}$ – кількість елементів h наддіагоналей матриць C та $Q(w^k)$, $h = \overline{1, n-1}$. Якщо матриці $Q(w^k)$ та C – несиметричні, то $\beta(f(j), w^k)|_1^m$ та $\varphi(j)|_1^m$ містять усі їхні елементи, а $m=n^2$ (або $m = n\,\tilde{n}$). Функція цілі $F(w^k)$ набуде вигляду

$$F(w^k) = \sum_{j=1}^{m} \beta_j(f(j), w^k)\, \varphi(j).$$

Змоделюємо вхідні дані для задач другого типу на прикладі розбиття заданої множини на підмножини. Маємо множину елементів $A = \{a_1, ..., a_n\}$, кожному з яких присвоєно додатне число – його вагу V_j. Необхідно розділити цю множину на η частин за виконання певних умов. Для різних класів задач ці умови відрізняються.

Отже, маємо одну множину $A = \{a_1, ..., a_n\}$, між елементами $a_j \in A$ якої відсутні зв'язки. Натомість вхідні дані задано скінченною послідовністю (функцією натурального аргументу) $\varphi(j)|_1^n$, значення якої $\varphi(j)$ визначають вагу j-го елемента.

Для визначення розподілення елементів множини A по підмножинах w_s^k, $s \in \{1, ..., \eta^k\}$ для k-го варіанту розв'язку задачі уведемо комбінаторну функцію $\beta(f(j), w^k)|_1^n = (\beta_1(f(1), w^k), ..., \beta_n(f(n), w^k))$, де $\beta_j(f(j), w^k) \in \{0,1\}$ і $\beta_j(f(j), w^k) = 1$, якщо a_j-й елемент входить у підмножину $w_s^k \subset w^k$, а $\beta_j(f(j), w^k) = 0$ в іншому разі. Для підмножини w_s^k

значення цільової функції обчислюється за виразом (1), а для w^k за таким виразом:

$$F(w^k) = \max_{\substack{w_s^k \subset w^k \\ s=\overline{1,\eta^k}}} \left(\sum_{j=1}^{n} \beta_j\, (f(j), w_1^k)\, \varphi(j), \dots \right.$$

$$\left. \dots, \sum_{j=1}^{n} \beta_j (f(j), w_\eta^k)\, \varphi(j) \right) \qquad (2)$$

В цьому разі задача полягає в знаходженні такого w^{k*}, для якого цільова функція (2) на підмножині $W_{\eta^k} \subset W$ набуває найменшого значення, тобто $F(w^{k*}) = \min_{w^k \in W_{\eta^k} \subset W} F(w^k)$. Таким чином в задачах, вхідні дані в яких відносяться до другого типу, на цільову функцію накладається певна умова.

V. ВХІДНІ ДАНІ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Розглянемо вхідні дані в задачах розпізнавання мовленнєвих сигналів, текстів, клінічної діагностики. Деякі з цих задач за певними ознаками розділяються на підзадачі, які потребують для свого розв'язання розроблення гібридних алгоритмів. Серед них виділимо кластеризацію та класифікацію.

Задача розпізнавання мовленнєвих сигналів полягає у знаходженні для вхідного сигналу найбільш правдоподібного еталонного з усіх можливих еталонних сигналів [2]. Для розв'язання цієї задачі необхідно провести пошук певного еталону в бібліотеці та порівняти його із вхідним сигналом. Аргументом цільової функції в ній вважають вхідний сигнал [2]. Моделювання задачі розпізнавання мовленнєвих сигналів з використанням комбінаторної оптимізації показує, що аргументом цільової функції в ній є комбінаторні конфігурації різних типів, а вхідними даними є розміщення з повтореннями.

Побудуємо математичну модель задачі клінічної діагностики як задачу комбінаторної оптимізації. Позначимо $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ множину захворювань, описання яких знаходиться в бібліотеці (множина еталонів), де елемент $a_s \in A,\ s \in \{1, \dots, n\}$, відповідає певному захворюванню, якому поставлено у відповідність характерні ознаки $V^{(t)} = (v_1^{(t)}, v_2^{(t)}, \dots, v_{q_t'}^{(t)})$, q_t' – кількість ознак t-го захворювання. Вхідною інформацією в задачі клінічної діагностики є множина ознак $\widetilde{V} = (\widetilde{v}_1, \widetilde{v}_2, \dots, \widetilde{v}_{\widetilde{q}})$, що описує одне або кілька захворювань. Позначимо їх $B = \{b_1, \dots, b_{n^*}\}$, де $b_\sigma \in B$ – захворювання, яке потрібно визначити, n^* – кількість можливих захворювань, а $q_t' \neq \widetilde{q}$ або $q_t' = \widetilde{q}$. Ознаки $\widetilde{v}_r \in \widetilde{V}$ вхідної інформації мають той же зміст, що і описані в еталоні ознаки $v_l^{(t)} \in V^{(t)}$, $r \in \{1, \dots, \widetilde{q}\}$, $l \in \{1, \dots, q_t'\}$, $\sigma \in \{1, \dots, n^*\}$.

Задача полягає у знаходженні для $\widetilde{B}$ із множиною ознак $\widetilde{V}$ найбільш правдоподібного одного або кількох еталонів із множини $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, тобто за вхідними ознаками встановлюється одне або кілька захворювань $b_\sigma \in B$. Ознаки в цій задачі відіграють роль критеріїв, за якими оцінюється її розв'язок. Як і в розпізнаванні мовленнєвих сигналів, для розв'язання цієї задачі необхідно провести пошук певного еталону в бібліотеці та порівняти його із вхідними ознаками.

Отже, в оговорених задачах вхідними даними є інформація, яка поступає на вхід, та еталонна інформація, яка знаходиться в бібліотеці. Для встановлення їхньої подібності уводяться міри подібності. В процесі розв'язання задачі значення обчислених мір подібності є вхідними даними. Вони задаються матрицями, а обидві задачі зводяться до першого типу.

Оскільки розпізнавання мовленнєвих сигналів та клінічна діагностика задачі перебірні, то в реальному часі знайти оптимальний розв'язок досить складно. Тому для зведення цих задач до розв'язних проводимо за певними ознаками струкутризацію бібліотеки еталонів. На цьому етапі виникає задача кластеризації.

Кластеризація – спосіб групування однорідних об'єктів з метою виділення кластерів або "згустків" цих об'єктів, тобто необхідно виділити такі однорідні кластери, щоб об'єкти всередині них були схожі один на одного, а об'єкти різних кластерів – несхожі. Аргументом цільової функції в ній є розбиття n-елементної базової множини A на η підмножин. Ця задача відноситься до першого типу.

Для задачі кластеризації сформулюємо такі умови. Назвемо множину підмножин $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_\eta)$ таку, що $\rho_1 \cup \dots \cup \rho_\eta = A$, $\rho_p \cap \rho_l = \varnothing,\ p \neq l$, $\rho_p \neq \varnothing$, $p, l \in \{1, \dots, \eta\}$. Непуста підмножина $\rho_p = \{a_1, \dots, a_{\xi_p}\}$, $a_s \in A$, $s \in \{1, \dots, n\}$, може мати від 1 до n елементів. Кількість підмножин ρ_p у розбитті ρ також може бути від 1 до n ($\eta \in \{1, \dots, n\}$). Їхню множину позначимо Θ.

Задача кластеризації полягає в розбитті заданої множини A на кластери так, щоб змодельована цільова функція набувала оптимального значення. Вхідні дані в ній є числове значення подібності між певними ознаками, якими є елементи заданої базової множини.

В задачах розпізнавання (самонавчання, розпізнавання текстів) виникає задача, яку називають таксономією. Її відносять до задач класифікації та систематизації складно організованих областей діяльності, які мають ієрархічну побудову. Математично таксономією є деревовидна структура класифікацій певного набору об'єктів. Деякі автори зводять її до задачі про купу каміння.

Як правило, при моделюванні задачі класифікації аргументом цільової функції вважають вхідні дані. Якщо змоделювати цю задачу в рамках теорії комбінаторної оптимізації, можна побачити, що вона відноситься до класу задач розбиття, аргументом цільової функції в яких є розбиття n-елементної множини A на підмножини з повтореннями. В задачі класифікації виділимо такі підзадачі:

- задано скінченну базову множину A. Класи можуть бути як задано так і не задано. Необхідно розподілити елементи базової множини по класах так, щоб останні не перетиналися. Ця задача зводиться до задачі кластеризації;
- задано скінченну базову множину A. Класи можуть бути як задано так і не задано. Елементи множини A розподіляються так, що один елемент може належати різним класам. В даному разі аргументом цільової функції є розбиття n-елементної множини A на підмножини з повтореннями;
- задано нескінченну базову множину A, частина елементів якої відома, а частина визначається в процесі розв'язання задачі, тобто інформація поступає в процесі розв'язання задачі та змінюється в часі. Аргументом цільової функції в ній є часткове розбиття нескінченної множини A на підмножини з повтореннями. В цьому разі уводиться часткова цільова функція та часткове розбиття.

Оскільки для перших двох задач розбиття утворюється з елементів скінченної множини, яке характерне для задачі кластеризації, розглянемо аргумент цільової функції для третьої задачі. Уведемо базову нескінченну множину $\widetilde{A}$, в якій елементи $\widetilde{a}_s$ для $s=\overline{1,n}$ задано, а для $s>n$ визначаються в процесі розв'язання задачі. З відомих елементів $\widetilde{a}_r \in \widetilde{A}$, $r=\overline{1,q}$, утворюємо часткове розбиття множини $\widetilde{A}$ на η підмножин (блоків) $\rho=(\rho_1,...,\rho_\eta)$, $q>n$ – кількість відомих елементів. Тоді множина підмножин $\rho=(\rho_1,...,\rho_\eta)$ має такі характеристики: $\rho_1 \cup ... \cup \rho_\eta = \widetilde{A}$, $\rho_p \cap \rho_l = \varnothing$ або $\rho_p \cap \rho_l \neq \varnothing$, $p \neq l$, $\rho_p \neq \varnothing$, $p,l \in \{1,...,\eta\}$. Непуста підмножина $\rho_p = \{a_1,...,a_{\xi_p}\}$ може мати від 1 до q' елементів ($\xi_p \in \{1,...,q'\}$), $\eta \in \{1,...,q\}$, $q'>q$, $\widetilde{a}_r = \widetilde{a}_s$ або $\widetilde{a}_r \neq \widetilde{a}_s$, $\widetilde{a}_r, \widetilde{a}_s \in \rho_p$, $r,s \in \{1,...,\xi_p\}$. Їхню множину позначимо $\widetilde{\Theta}$.

В цій задачі оцінка результату проводиться за частковими цільовими функціями, аргументом якої є часткове розбиття нескінченної множини на підмножини з повтореннями ρ^k, тобто $F(\rho^{k*}) = \underset{\rho^k \in \widetilde{\Theta}}{extr} F(\rho^k)$. Вхідними даними в ній є числове значення подібності між певними ознаками, якими є елементи заданої базової множини. Тобто, описана задача класифікації відноситься до першого типу.

VI. Вхідні дані в задачах розпізнавання природних сигналів

В задачах розпізнавання мовленнєвих сигналів, електрокардіограм, електроенцефалограм тощо вхідними даними є розміщення з повтореннями. Розглянемо це детальніше.

Мовленнєвий сигнал під дією певних чинників утворюється різноманітними комбінаціями активних та пасивних органів творення мови. Позначимо A – базову множину, елементам $a_1 \in A$ якої відповідають органи мовленнєвого тракту.

Мовленнєві сигнали, що відповідають одному і тому ж слову, але вимовлені різними дикторами, відрізняються як частотою так і величиною амплітуди. Його можна описати упорядкованою послідовністю чисел, що вибрані з базової множини A. Тому отриманий сигнал є вибірка – розміщення з повтореннями з n елементів $a_j \in A$ по η, в якій ураховується порядок елементів. Отримані розміщення з повтореннями для різних сигналів одного слова містять різну кількість елементів. Ця комбінаторна конфігурація визначає нечіткість вхідної інформації.

Процес розгортання сигналу, що характерний для роботи серця або мозку (електрокардіограма, енцефалограма) також описується як розміщення з повтореннями.

VII. Висновки

Отже, задачі штучного інтелекту зводяться до задач комбінаторної оптимізації. Аргументом цільової функції в них є комбінаторні конфігурації різних типів. Вхідні дані в них задаються як матрицями так і скінченними послідовностями. У задачах з розпізнавання природних сигналів вхідними даними є ці сигнали, які описуються розміщенням з повтореннями (мовленнєві сигнали, електрокардіограми, електроенцефалограми). Оскільки ця комбінаторна конфігурація на підмножині ізоморфних розміщень є скінченною, а на усій множині – нескінченною, то вона визначає нечіткість вхідної інформації.

Література References

[1] М. Шлезингер, В. Главач, "Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию", Киев: Наук. думка, 2004, 546 с.

[2] Т. К. Винцюк, "Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов", К.: Наукова думка, 1987, 262 с.

[3] Н. К. Тимофієва, "Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації". Автореф. дис... докт. техн. Наук, Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, 2007, 32 с.