УДК 519.14+519.168

Н. К. Тимофієва, д. т. н.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ В ЗАДАЧАХ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІД БАГАТЬОХ ЗМІННИХ ТА ГІБРИДНІ АЛГОРИТМИ

В статті показано, що цільова функція в задачах комбінаторної оптимізації може залежати як від однієї так і від кількох змінних, якими є комбінаторні конфігурації різних типів. Задачі, цільова функція в яких залежить від багатьох змінних, розбиваються на підзадачі і потребують для свого розв'язання розроблення комбінованих (гібридних) алгоритмів.

Вступ

В переважній більшості математичні моделі задач комбінаторної оптимізації будуються з використанням моделі задачі цілочислового лінійного програмування. При цьому деякі автори вважають, що цільова функція в них залежить від багатьох змінних, наприклад [1]. Але ще в 70-х роках минулого століття в математичній літературі переважно вченими з Радянського Союзу формальні постановки задач комбінаторної оптимізації розроблялися і з урахуванням їхньої комбінаторної природи [2—5]. В цих постановках цільова функція залежить від однієї змінної, якою є комбінаторна конфігурація певного типу.

В даній роботі показано, що цільова функція в задачах комбінаторної оптимізації залежить як від однієї, так і від багатьох змінних. Цими змінними є комбінаторні конфігурації різних типів.

Основна частина

Комбінаторна оптимізація — область математики, предметом якої є дослідження і розв'язання екстремальних задач на скінченній множині комбінаторного характеру. Задачі комбінаторної оптимізації, як правило, задаються на одній або кількох множинах, наприклад A і B, елементи яких мають будь-яку природу. Для багатьох задач кожну з цих множин можна подати у вигляді графа, вершинами якого є її елементи, а кожному ребру поставлено у відповідність число $c_{ij} \in R$, яке називають вагою ребра; R — множина дійсних чисел. Для зручності вважатимемо, що між елементами цих множин існують зв'язки, числове значення яких названо вагами і які задаються матрицями. Ці величини визначають значення цільової функції. В подальшому назвемо їх вхідними даними.

В загальному вигляді задача комбінаторної оптимізації формулюється так. Із елементів однієї із заданих множин, наприклад $a_j \in A$, $j \in \{1,\ldots,n\}$, 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 цільова функція $F(w)$ набуває екстремального значення з виконанням заданих обмежень, тобто $F(w^*) = glob \underset{w \in W^0 \subset W}{extr} F(w)$, де $extr = \{\min, \max\}$, W_0 — підмножина, яка визначається обмеженнями задачі.

Для формулювання математичних постановок задач комбінаторної оптимізації часто використовують математичну модель задачі цілочислового лінійного програмування у такому вигляді. Знайти екстремум функції $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$ за умов $\sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j = b_t$, $t = \overline{1, m}$, $x_j \geq 0$, $j = \overline{1, n}$, x_j — цілі для $j = \overline{1, p}$, $p \leq n$, c_j, a_{tj}, b_t — задані цілі числа, x_j — змінні. Виходячи з цієї моделі, вважа-

---

ють, що цільова функція в комбінаторній оптимізації залежить від багатьох змінних, а x_j є елементами комбінаторних конфігурацій $w = (w_1, \ldots, w_\eta)$ і перемножуються на задані числа c_j, a_{tj}. Але це неможливо, оскільки w_j можуть мати будь-яку природу. Змінні x_j не є елементами w, а модель цілочислового лінійного програмування не відображає суті задач комбінаторної оптимізації. Цілочислове лінійне програмування розроблялося для економічних задач, для яких математична постановка формулюється так: задано одну множину A, елементи $a_j \in A$ якої не мають між собою зв'язків. Натомість кожен елемент $a_j \in A$, $j \in \{1, \ldots, n\}$, характеризується певною властивістю (вагою) x_j. Аргументом цільової функції у них, як правило, є вибірки (сполучення, розміщення), а вхідні дані — послідовність значень ваг $x_1, \ldots, x_n$ елементів a_j заданої множини A, кількість яких збігається з кількістю елементів у w. Звідси твердження, що аргументом цільової функції в цих задачах є послідовність вхідних даних $x_1, \ldots, x_n$, а не комбінаторна конфігурація $w = (w_1, \ldots, w_n)$. Відповідно вважають, що цільова функція в задачах комбінаторної оптимізації залежить від багатьох змінних.

Послідовність $x_1, \ldots, x_n$ є вхідними даними певної задачі, а значення x_j неявно залежить від комбінаторної конфігурації w, тобто вираз $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$ можна записати у такому вигляді: $F(w) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j(w)$. Тоді постає проблема визначення цієї залежності в задачах комбінаторної оптимізації. Для цього необхідно розробити формальні постановки цих задач з урахуванням їхньої комбінаторної природи. Виявлення і використання їхніх комбінаторних властивостей відкриває нові перспективи розв'язання задач комбінаторної оптимізації, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації.

Якщо провести аналіз задач комбінаторної оптимізації, то можна побачити, що цільова функція в них залежить як від однієї змінної, так і від кількох, якими є різні типи комбінаторних конфігурацій, а не елементи послідовності, якою задаються вхідні дані.

Розглянемо такі задачі.

1. Задача типу задачі комівояжера [6]. Задано n міст, кожне з яких має один вхід і один вихід, координати яких не збігаються. Відстань між двома містами має чотири значення. Всередині міст відстань неураховується. Необхідно знайти найкоротший маршрут, який проходить через усі міста один раз і повертається в початковий. Ця задача ще відома в літературі як задача про трубопровід [7].

2. Задача розміщення різногабаритних модулів формулюється таким чином. Множину модулів, кожен з яких має різні габарити, необхідно розмістити на поверхні плати так, щоб сумарна довжина зв'язків і площа, яку вони займають, були б мінімальними, а зазори між модулями дорівнювали заданій величині [8].

3. Задача розпізнавання мовних сигналів. Розпізнавання мови — це процес автоматичної обробки мовного сигналу з метою визначення послідовності слів, яка передається цим сигналом [9]. Мовний сигнал описується послідовністю $X_J = (x_1, \ldots, x_J)$, елемент x_j якої є значення сигналу у відліку j. Послідовність X_J отримується в результаті попередньої обробки сигналу, що надходить на мікрофон, з метою зменшення об'єму інформації. Довжина J різних реалізацій різна. Для розпізнавання з реалізацій X_J створюється словник еталонних слів. Еталон слова словника описується послідовністю $E_h = \left(e_{h_1}, \ldots, e_{h_{q_h}}\right)$, де h — номер слова у словнику, q_h — довжина сигналу еталону слова, $h \in \{1, \ldots, \chi\}$, χ — кількість слів-еталонів.

Задача розпізнавання мовних сигналів полягає у знаходженні для сигналу X_J найбільш правдоподібного еталона E_h з усіх можливих еталонних сигналів. Оскільки в цій задачі установлюється подібність сигналів, то в процесі обчислення інтегральної міри подібності знаходиться максимум функції

$$G_h(X_J) = \max_{v \in \tau_h(J)} G\left(X_J, vE_h\right), \quad (1)$$

де $v \in \tau_h(J)$ — нелінійне розтягання початкового сигналу, $\tau_h(J)$ — множина можливих перетворень $v = (v_1, v_2, \ldots, v_s, \ldots, v_{q_h})$ початкового еталону E_h, які приводять до утворення різних еталонних сигналів заданого слова, $G(X_J, vE_h)$ — інтегральна міра подібності, $G_h(X_J)$ — значення інтегральної міри подібності [9].

Задачу (1) розв'язують шляхом порівняння еталона E_h із сигналом X_J одним із методів направленого перебору, наприклад методом динамічного програмування [9]. Для знаходження сигналу за номером h з усіх еталонних, якому відповідає вхідний сигнал, розв'язується прямим перебором задача

$$h(X_J) = \arg\max_h G_h(X_J). \quad (2)$$

Величина (2) повинна належати заданій області значень. Аргументом цільової функції у цих задачах, згідно з [9], є вхідний сигнал.

Сформулюємо таку теорему.

Теорема. Задачі комбінаторної оптимізації, цільова функція в яких залежить від кількох змінних, якими є комбінаторні конфігурації різних типів, розділяються на незалежні підзадачі.

Доведення. Спочатку доведемо такі леми.

Лема 1. Задача типу задачі комівояжера (задача 1) розділяється на дві підзадачі, аргументом цільової функції однієї є перестановка, а другої — бінарна послідовність.

Доведення. Уведемо множину $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$, кожному елементу a_j якої відповідає певне місто. Перенумеруємо входи і виходи міст a_j числами від 1 до $2n$, а їхню множину позначимо $A' = \left\{\left(a'_1, a'_{n+1}\right), \ldots, \left(a'_j, a'_{n+j}\right), \ldots, \left(a'_n, a'_{2n}\right)\right\}$, де $\left(a'_j, a'_{n+j}\right)$ пара, що відповідає номеру входу або виходу міста $a_j \in A$. Відстань між входами і виходами $\left(a'_j, a'_{n+j}\right)$ міст a_j задамо симетричною матрицею транспозиції $Q(\omega^k)$, у якій номери рядків і стовпців збігаються з номерами входів (виходів) елементів множини A. Перші n стовпців (рядків) відповідають номерам входів елементів a_j, а $(n+1, \ldots, 2n)$ стовпців (рядків) відповідають номерам виходів елементів a_j. Наступна матриця $Q(\omega^{k+1})$ із попередньої утворюється транспозицією j-го і s-го стовпців (рядків), $(n+j)$-го і $(n+s)$-го стовпців (рядків).

Визначення зв'язків між входами і виходами цих міст для заданого варіанту перестановки ω^k (маршруту) проводиться за допомогою симетричної комбінаторної (0,1)-матриці $C(r^i)$, яка є функцією бінарних послідовностей $r^i \in B$, де k і i — порядкові номери комбінаторних конфігурацій у їхніх множинах. Для фіксованої перестановки ω^k (незмінній матриці $Q(\omega^k)$) матриця $C(r^i)$ утворюється на підмножині ізоморфних бінарних послідовностей r^i за правилами їхнього генерування. Із 2^{2n} варіантів розв'язку задачі ця задача має 2^n варіантів. Якщо між входом a'_j і виходом a'_{n+j} a_j-го міста, входом a'_s і виходом a'_{n+s} a_s-го міста для r^i -го варіанту існує зв'язок, то в одній із чотирьох позицій j, s; $n+j, s$; $j, n+s$; $n+j, n+s$ знаходиться одиниця, в іншому випадку — нуль. Елементи $\tilde{h}$ наддіагоналей матриці $Q(\omega^k)$ задамо комбінаторною функцією $\beta(f(j), \omega^k)|_1^m$, а елементи $\tilde{h}$ наддіагоналей матриці $C(r^i)$ — функцією $\beta'(\phi(j), r^i)|_1^m$, $\tilde{h} = \overline{1, n-1}$ [10]. Цільову функцію запишемо у такому вигляді $F(\omega^k, r^i) = \sum_{j=1}^{m} \beta_j (f(j), \omega^k)\ \beta'_j (f(j), r^i)$, де $m = \dfrac{2n(2n-1)}{2} - n = 2n(n-1)$. Звідси випливає, що цільова функція у задачі типу задачі комівояжера, яка має один вхід і один вихід, координати яких не збігаються, залежить від двох змінних: перестановки і бінарної послідовності, що і доводить лему 1.

Лема 2. Задача розміщення різногабаритних модулів (задача 2) зводиться до одногабаритної шляхом розділення її на задачу компоновки і задачу розміщення одногабаритних модулів, а цільова функція в ній залежить від розбиття n-елементної множини на підмножини і перестановки.

Доведення. Дійсно, різногабаритні модулі можна об'єднати у блоки так, що по габаритах корпусів вони будуть одногабаритні.

Розглянемо задачу об'єднання (компоновку) модулів у блоки. Ця задача задається однією множиною $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$, між елементами a_j якої існують зв'язки, причому $a_j \in K^\delta$, $s \in \{1, \ldots, P\}$, $j \in \{1, \ldots, n\}$, K^δ — δ-й тип елемента $a_j \in A$, P — кількість типів. Ваги між $a_j, a_l \in A$, $j \neq l$, задамо симетричною матрицею C (функція $\phi(j)|_1^m$). Для визначення розподілення елементів множини A по підмножинах (блоках) ρ_t^k для k-го варіанту розв'язку задачі уведемо симетричну комбінаторну (0,1)-матрицю розподілення $Q(\rho^k)$ (функція $\beta(f(j), \rho^k)|_1^m$), де $\rho^k = (\rho_1^k, \ldots, \rho_{\eta^k}^k)$ — розбиття n-елементної множини на підмножини (аргумент цільової функції). Елемент матриці $Q(\rho^k)$ $g_{lj}(\rho^k) = 1$, якщо a_j і a_l належать до однієї підмножини, і $g_{lj}(\rho^k) = 0$ в іншому випадку. Цільова функція в цій задачі зводиться до виразу $F(\rho^k) = \sum_{j=1}^{m} \beta_j\,(f(j), \rho^k)\ \phi(j)$. Пошук розбиття ρ^k, для якого функція $F(\rho^k)$ набуває екстремального значення, проводимо на підмножині Θ_{η^k} множини Θ, кожне розбиття ρ^k якої містить η^k підмножин, причому $\xi_t^k \leq p_t$, де p_t — задана потужність підмножини ρ_t^k, а елементи $a_l \in \rho_t^k$, $l = \overline{1, \xi_t^k}$, відносяться до одного типу, де ξ_t^k — кількість елементів у підмножині $\rho_t^k \in \rho^k$, яка визначається в процесі розв'язання задачі.

Для фіксованого варіанту розбиття n-елементної множини на підмножини розглянемо задачу розміщення одногабаритних модулів. Вона задається на двох множинах: $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$, елементи a_l відповідають модулям, які необхідно розмістити на заданій поверхні, і $B = \{b_1, \ldots, b_{n'}\}$, кожен елемент b_s якого визначає посадочне місце для розміщення $a_l \in A$, $n \leq n'$. Покладемо, що $n = n'$. Зв'язки існують між елементами a_r, $a_l \in A$, кількісне значення яких задамо симетричною матрицею C (відповідно функцією $\phi(j)|_1^m$) і між елементами b_s, $b_t \in B$, значення яких задамо комбінаторною симетричною матрицею транспозиції $Q(\omega^k)$ або функцією $\beta(f(j), \omega^i)|_1^m$. В результаті значення цільової функції зводиться до виразу $F(\omega^i) = \sum_{j=1}^{m} \beta_j\,(f(j), \omega^i)\ \phi(j)$, а її аргумент — перестановка.

Виходячи з викладеного, цільова функція в задачі розміщення різногабаритних модулів залежить від двох змінних: розбиття n-елементної множини на підмножини та перестановки, що і доводить лему 2.

Лема 3. Задача розпізнавання мовних сигналів (задача 3) розділяється на три підзадачі, аргументом цільової функції яких є розбиття n-елементної множини на підмножини, розміщення без повторень та сполучення без повторень.

Доведення. Як видно з математичної моделі (1)—(2), задача розпізнавання мовних сигналів досить природно розділяється на дві підзадачі: перебір еталонних сигналів і порівняння еталонного і вхідного сигналів. Оскільки тут має місце перебір варіантів, то вона відноситься до задач комбінаторної оптимізації.

Визначимо комбінаторну конфігурацію, яка є аргументом цільової функції в задачі розпізнавання мовних сигналів [11, 12].

Розглянемо задачу порівняння еталонного і вхідного сигналів (задача (1)). Уведемо базову множину $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$, де $a_j \in X_J$, $j = \overline{1, J}$, а $a_{J+i} \in E_h$, $i = \overline{1, q_h}$, $n = J + q_h$. Вхідні дані, якими є ваги між елементами $x_j \in X_J$ і $e_{h_i} \in E_h$, задамо несиметричною матрицею $C = \left\| c_{ij} \right\|_{q_h \, x \, J}$, номера стовпців якої збігаються з нумерацією елементів $x_j \in X_J$, $j = \overline{1, J}$, а номера рядків — з нумерацією елементів $e_{h_i} \in E_h$, $i = \overline{1, q_h}$. Аналогічне представлення вхідних даних подано розгорнутим графом слова у [9]. Як описано у [9], при поелементному розпізнаванні мовного сигналу для елемента $x_j \in X_J$ знаходиться йому подібний $e_{h_i} \in E_h$. Оскільки з базової множини $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$ вибираються почергово по два елементи у строгому порядку, то отримана комбінаторна конфігурація є розміщення без повторень. Позначимо її $\mu^k \in M$, де M — їхня всіляка множина. Для визначення елементів a_j, що вибираються з базової бібліотеки на k-му варіанті розв'язку задачі, уведемо комбінаторну (0,1)-матрицю $Q(\mu^k) = \left\| g_{ij}^k(\mu^k) \right\|_{q_h x \, J}$. Якщо $g_{ij}^k(\mu^k) = 1$, то з множини A вибирається пара (e_{h_i}, x_j), в іншому разі — значення $g_{ij}^k(\mu^k) = 0$. Елементи матриці C подамо числовою функцією $\phi(j)\,|_1^{n^*}$, а матриці $Q(\mu^k)$ — комбінаторною функцією $\beta(f(j), \mu^k)|_1^{n^*}$, де $n^* = J\, q_h$.

Задача порівняння еталонного і вхідного мовних сигналів полягає в знаходженні такого розміщення без повторень $\mu^{k*} = (\mu_1^{k*}, \ldots, \mu_{q'}^{k*})$, для якого цільова функція

$$F\left(\mu^{k*}\right) = \max_{\mu^k \in M} \sum_{j=1}^{n^*} \phi(j)\, \beta_j \left(f(j), \mu^k\right), \tag{3}$$

де $\sum_{j=1}^{n^*} \phi(j) \beta_j \left(f(j), \mu^k\right)$ — інтегральна міра подібності, а $\phi(j) = g_j^{'}(x_j, e_{h_i})$ — елементарна міра подібності, яка визначає подібність між елементами еталонного і вхідного сигналів $q^{'} = \min(J, q_h)$. Аргументом цільової функції задачі (1) є розміщення без повторень. Розглянемо задачу (2).

Позначимо $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$ базову множину, де $a_1 \in X_J$, а $a_i \in E_{i-1}$, $i = \overline{2, n}$. В цій задачі як ваги між еталонним і вхідним сигналами виступають значення інтегральних мір подібності, одержаних за виразом (3) і представлених матрицею $C^{'}$. Номера стовпців цієї матриці збігаються з номерами еталонних сигналів, розміщених у бібліотеці. Рядок у ній один і відповідає номеру один вхідного сигналу. Оскільки при порівнянні вхідного і еталонного сигналів з базової множини A вибираються два елементи, то утворений об'єкт є сполучення без повторень. Позначимо його $\mu^{'k} \in M^{'}$, де $M^{'}$ — їхня всіляка множина. Уведемо комбінаторну (0,1)—матрицю $Q^{'}\left(\mu^{'k}\right) = \left\| g_{1i}^{'k}\left(\mu^{'k}\right) \right\|_{1\, x\, n}$. Якщо $g_{1i}^{'k}\left(\mu^{'k}\right) = 1$, то з множини A вибрана пара (a_1, a_j), в іншому разі — значення $g_{1i}^{'k}\left(\mu^{'k}\right) = 0$.

Елементи матриці $C^{'}$ подамо числовою функцією $\phi^{'}(j)|_1^{n-1}$, а матриці $Q^{'}\left(\mu^{'k}\right)$ — комбінаторною $\beta^{'}\left(f^{'}(j), \mu^{'k}\right)|_1^{n-1}$.

Задача пошуку еталонного сигналу, який відповідає вхідному, полягає у знаходженні такого сполучення без повторень $\mu^{'k*} = (a_1, a_i)$ із n елементів $a_j \in A$ по 2, для якого значення заданої цільової функції було б найбільшим, тобто

$$F\left(\mu^{'k*}\right) = \max_{\mu^{'k} \in M} \sum_{j=1}^{n-1} \phi^{'}(j)\, \beta_j^{'}\left(f^{'}(j), \mu^{'k}\right), \tag{4}$$

де $\phi^{'}(j) = \sum_{j=1}^{n^*} \phi(j)\,\beta_j\left(f(j), \mu^k\right)$.

Як видно з постановки задачі (2), пошук еталонного сигналу, подібного до вхідного, потребує прямого перебору. Для розв'язання цієї задачі направленим перебором необхідно структуризувати бібліотеку еталонних сигналів за певними ознаками. Структуризація бібліотеки є задачею кластеризації, аргументом цільової функції якої виступають розбиття n-елементної множини на підмножини.

Виходячи з викладеного, задача розпізнавання мовних сигналів розділяється на три підзадачі, аргументом цільової функції в яких є комбінаторні конфігурації різних типів. Ця задача полягає в знаходженні таких комбінаторних конфігурацій $\rho^{i*} \in \Theta$, $\mu^{t*} \in M$, $\mu^{'k*} \in M^{'}$, для яких задана цільова функція набуває екстремального значення, тобто $F\left(\rho^{i*}, \mu^{t*}, \mu^{'k*}\right) = \underset{\substack{\rho^i \in \Theta \\ \mu^t \in M \\ \mu^{'k} \in M^{'}}}{glob\ extr}\ F\left(\rho^i, \mu^t, \mu^{'k}\right)$.

Звідси випливає, що цільова функція в задачі розпізнавання мовних сигналів залежить від розбиття n-елементної множини на підмножини, розміщення без повторень та сполучення без повторень, що і доводить лему 3.

Справедливість теореми випливає з лем 1—3.

Гібридний алгоритм розпізнавання мовних сигналів

Отже розв’язання задачі розпізнавання мовних сигналів потребує розроблення трьох алгоритмів, роботу яких необхідно об’єднати загальною обчислювальною схемою. Спочатку розглянемо підзадачу структуризації бібліотеки еталонних сигналів за певними ознаками. Упорядкуємо сигнали, що відповідають заданим словам, в алфавітному порядку за такою схемою.

1. З кожного бібліотечного сигналу виділимо сегмент постійної довжини $q^{''}$, який є початком сигналу еталонного слова, так, щоб він відповідав частині першої фонеми. Множину одержаних сегментів позначимо $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$, а множину слів у словнику позначимо $B = \{b_1, \ldots, b_n\}$. Елементу $a_j \in A$ відповідає сегмент частини першої фонеми слова, яке позначено елементом b_j словника B.

2. Розв'язавши задачу розбиття множини A на підмножини (кластеризацію), об'єднаємо однорідні сегменти в одну підмножину $\rho_s^k \subset \rho^k$. Підмножина $\rho_s^{'k} \subset \rho^{'k}$ є підмножиною слів словника $B = \{b_1, \ldots, b_n\}$ з подібними початковими сегментами і ізоморфна підмножині $\rho_s^k \subset \rho^k$, $s \in \{1, \ldots, \eta^k\}$. Як і в задачі розпізнавання, в цьому випадку значення функції $\phi(j) = \sum_{j=1}^{q^{''}} g_j^{'}\left(a_{js}, a_{jt}\right)$ є інтегральною мірою подібності, а $g_j^{'}(a_{js}, a_{jt})$ — елементарна міра подібності, яка встановлюється між сегментами a_r, $a_t \subset A$, $a_{jr} \in a_r$, $a_{jt} \in a_t$.

3. Кожній одержаній підмножині $\rho_s^k \subset \rho^k$ поставимо у відповідність еталон сегмента $a_j^{'}$, який відповідає частині першої фонеми слова, що входить до $\rho_s^{'k} \subset \rho^{'k}$. Одержану множину сегментів позначимо $A^{'} = \{a_1^{'}, \ldots, a_\eta^{'}\}$. Аналогічно можна структуризувати бібліотеку еталонних сигналів по другій, третій фонемі, використавши як еталони множину сегментів $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$.

Маючи еталони сегментів $a_j^{'} \in A^{'}$, упорядкованих в алфавітному порядку, задача (1)—(2) розв'язується таким чином. При пошуку еталонного сигналу у бібліотеці вирізаємо сегмент вхідного сигналу X_J, що відповідає частині першої фонеми довжиною $q^{''}$. Задачу (1) розв'язуємо з використанням відомих методів, наприклад методу динамічного програмування [9]. При цьому порівнюється сегмент вхідного сигналу довжиною $q^{''}$ з еталонними сегментами $a_j^{'} \in A^{'}$ структуризованої бібліотеки. Якщо значення функції (1) найбільше для підмножини $\rho_s^k \subset \rho^k$, то пошук вхідного слова проводиться у цій підмножині словника B по другій, третій і т. д. фонемах.

Структуризація бібліотеки еталонних сигналів проводиться один раз. Для розпізнавання поточного вхідного сигналу організується ітераційний процес, на кожному кроці якого почергово розв'язуються задачі (1)—(2).

Висновок

Як випливає з теореми, цільова функція в задачах комбінаторної оптимізації може залежати від кількох змінних, якими є комбінаторні конфігурації різних типів. Такі задачі досить природно розділяються на кілька підзадач, для розв'язання кожної з яких розробляються незалежні алгоритми, що працюють як вбудовані процедури в ітераційному режимі. Тобто, задачі комбінаторної оптимізації, цільова функція в яких залежить від кількох змінних, якими є комбінаторні конфігурації різних типів, потребують для свого розв’язку розроблення гібридних алгоритимів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стоян Ю. Г. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації / Ю. Г. Стоян, О. О. Емець. — К. : Міносвіти України, Ін-т системних досліджень освіти, Полтавський інженерно-будів. ін-т, 1993. — 188 с.

2. Сергиенко И. В. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации / И. В. Сергиенко, М. Ф. Каспшицкая. — К. : Наук. думка, 1981. — 281 с.

3. Бурков В. Н. Комбинаторное программирование. Сер.: матем. Кибернетика / В. Н. Бурков, М. И. Рубинштейн. — М. : Знание, 1977. — № 8. — 64 с.

4. Супруненко Д. А. О значениях линейной формы на множестве перестановок / Д. А. Супруненко // Кибернетика. — 1968. — № 2. — С. 59—63.

5. Гуляницький Л. Ф. Розробка моделей і наближених методів комбінаторної оптимізації та їх застосування в інформаційних технологіях Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Л. Ф. Гуляницький. — К. : Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2005. — 32 с.

6. Тимофеева Н. К. Решение одной задачи типа задачи коммивояжера при проектировании печатных плат / Н. К. Тимофеева // Кибернетика. — 1983.— № 5. — С. 73—76.

7. Liesegang D. G. The tube-passing problem and the traveling salesman problem / D. G. Liesegang // Surv.Math. Program, 1976: Proc. Sympos-Budapest. — 1979. — Vol. 2. — P. 537—543.

8. Гуляницкий Л. Ф. О размещении разногабаритных элементов на печатных платах / Л. Ф. Гуляницкий, Н. К. Тимофеева // УСИМ. — 1982. — № 3. — С. 50—53.

9. Винцюк Т. К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов / Т. К. Винцюк. — К. : Наукова думка, 1987. — 262 с.

10. Тимофеева Н. К. О некоторых особенностях построения математических моделей задач комбинаторной оптимизации / Н. К. Тимофеева // УСиМ. — 2004. — № 5 — С. 38—45.

11. Тимофеева Н. К. Об особенностях формирования и упорядочения выборок / Н. К. Тимофеева // Кибернетика и систем. анализ. — 2004. — № 3. — С. 174—182.

12. Тимофієва Н. К. Гібридний (комбінований) алгоритм розв'язання задачі розпізнавання мовних сигналів / Н. К. Тимофієва // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. Восьма Веукр. Міжнар. конф. Київ. 28—31 серпня 2006 р. — К., 2006. — С. 87—90.

Рекомендована кафедрою комп’ютерних систем управління

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 21.11.08

Тимофієва Надія Костянтинівна — науковий співробітник.

Відділ розпізнавання та синтезу звукових образів, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, м. Київ