УДК 681.3

О.О. Морозов

Національна академія Національної гвардії України, Харків

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

Пропонується алгоритм рішення задачі з формування системи виконавчих елементів для обслуговування територіально розосереджених об'єктів. Рішення включає розбивку вихідної множини територіально розосереджених об'єктів обслуговування на щільні підмножини і розміщення в цих підмножинах виконавчих елементів системи обслуговування.

***Ключові слова:** територіально розосереджені об'єкти, об'єкт обслуговування, виконавчий елемент, система виконавчих елементів, щільні множини об'єктів обслуговування, координатна площина.*

Вступ

Постановка проблеми. Для виконання завдань матеріально-технічного забезпечення об'єктів військового призначення створюються відповідні системи такі, наприклад, як системи постачання матеріально-технічних засобів або системи ремонту озброєння і військової техніки (ОВТ) (далі – система обслуговування (СОб)).

Основними вимогами до таких систем є, поперше, необхідність обслуговування територіально розосереджених об'єктів обслуговування (ООб) (наприклад, частин і підрозділів, зразків або груп зразків ОВТ), по-друге, оперативне та своєчасне обслуговування таких ООб у місцях їх розміщення і, потретє, обслуговуванні об'єктів раціональним (наявним) складом сил і засобів СОб.

Створення таких систем вимагає вирішення комплексу задач, однією з яких є визначення системи виконавчих елементів (ВЕ). Це можуть бути склади або ремонтні органи. Під системою ВЕ будемо розуміти їх кількість, закріплення за ними ООб та територіальне розміщення відносно цих об'єктів.

Територіально розосереджені ООб мають "прив'язку" до місцевості, тобто координати, розташовані на певній відстані один від одного, територія їх розміщення має транспортну інфраструктуру. Тому для виконання означених вимог потребує вирішення задач формування груп (підмножини) ООб, виділення для їх обслуговування ВЕ та визначення (або призначення) місця розташування таких елементів для кожної з підмножин виконавчих елементів СОб. Або для відомого складу ОПЕ визначити групи ООб, що будуть за ними закріплені.

Для формування таких груп ООб і визначення місць розміщення в цих групах виконавчих елементів необхідно визначати показник та критерій сформованості таких груп ООб, мати алгоритми рішення таких задач.

Аналіз публікацій і досліджень. Аналіз розв'язання сформульованої задачі в різних постановках показав, що більшість з їх належить до класу комбінаторних, а методи їх вирішення розділяються на точні (комбінаторні) та наближені (включаючи евристичні) [1–4].

Комбінаторні методи передбачають повний або напрямків перебір усіляких варіантів формування груп ООб. Методи відсікання можуть бути використані тільки в тих випадках, коли цільова функція та функції обмежень лінійні. Тоді задача може розглядатися як окремий випадок задачі цілочисельного лінійного програмування, що істотно звужує область їх практичного застосування [2; 3].

Можливість застосування комбінаторних методів з'являється при використанні підходу, заснованого на виключенні ізоморфних варіантів [5].

Серед наближених методів, що знаходять широке застосування при вирішенні задач великої розмірності, виділяються методи, що використають випадковий пошук, методи, що використають випадковий пошук з локальною оптимізацією і методи, схеми яких враховують специфіку задач. До числа найбільш ефективних методів цієї групи можуть бути віднесені методи еволюційного синтезу, реалізовані за допомогою генетичних алгоритмів [7; 8] і методи, що використають схеми покоординатної оптимізації [1; 6]. При цьому методи еволюційного синтезу добрі пристосовані для вирішення багатокритеріальних задач, але поступаються методам на основі покоординатної оптимізації за комплексним показником "точність-складність" при вирішенні задач за показником витрат. Методи на основі покоординатної оптимізації мають відносно низьку часову складність, однак не гарантують одержання точних рішень.

При вирішенні задач оптимізації множин ООб з регулярним розподілом ВЕ отримані оцінки оптимальної кількості елементів вищого рівня в них на основі аналітичної моделі Нокера і попередньої оцінки витрат для систем з радіально-вузловими структурами [9]. При цьому територіальне розміщення таких елементів не визначається.

Мета статті – розробити алгоритм розв'язання задачі формування системи виконавчих елементів, які забезпечать обслуговування територіально розосереджених об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Множину територіально розосереджених ООб з урахуванням того, що відомо їх географічні координати, можна представити зваженим графом $G=(Q,R)$ із множиною вершин $Q=\{q_i\}$, $i=\overline{1,n}$, кожна з яких відповідає певному ООб, і множиною ребер $R=\{r_{ij}\}$, $i,j=\overline{1,n}$, з вагами r_{ij}, що визначають відстані між вершинами q_i і q_j.

Даний граф відрізняється від звичайного зваженого графа [10] тим, що його вершини мають фіксовані, задані координатами місця розташування на координатній площині, а кожна пара вершин q_i і q_j зв'язана ребром з вагою r_{ij}, що дорівнює відстані між відповідними точками площини. На координатній площині граф G візуально представляється множиною вершин $q_i \in Q$ із завданням координат $(x_i,\ y_i)$. Граф G може бути представлений також матрицею відстаней $R=\|r_{ij}\|_{n\times m}$, яка виходить на основі візуального подання графа. Матриця R є симетричною, а діагональні елементи $r_{ij}=0$.

При формуванні системи ВЕ, як правило, виникає задача розбивки множини ООб на задане число підмножин так, щоб сума відстаней між ними в підмножинах була мінімальною. Тобто, необхідно одержати щільні підмножини ООб.

З урахуванням позначень, прийнятих при визначенні графа G, розглянуту задачу можна сформулювати в такий спосіб.

Множину Q необхідно розбити на сукупність підмножин $\{Q_k\}$, $k=\overline{1,m}$, таких, що:

$$\sum_k \sum_{q_i,q_j\in Q_k} r_{ij} \to \min, \tag{1}$$

$$\bigcup_k Q_k = Q,\quad Q_k \bigcap Q_s = \varnothing,\quad k,\ s=\overline{1,m}, \tag{2}$$

$$|Q_k| \cong [n/m],\quad \sum_k |Q_k| = n. \tag{3}$$

Умова (3) означає, що потужність множини Q_k приймається рівній величині n/m, округленій в більшу або меншу сторону так, щоб сума $|Q_k|$ становила величину n. Величини $|Q_k|$ можуть призначатися при дотриманні другої частини умови (3).

Умови (2) і (3) задають на множині Q множину W припустимих варіантів розбивки $\{Q_k\}$. Сукупність множин $\{Q_k\}_w$, що задовольняють умовам (2) і (3), відповідає деякому варіанту розбивки $w\in W$.

Розбивку $\{Q_k^*\}_w$ назвемо щільною розбивкою (ЩР) множини вершин Q графа G, якщо дана розбивка задовольняє критерію (1).

Суму відстаней r_{ij} між вершинами q_i і q_j у множині Q_k позначимо величиною L_k, тобто $L_k=\sum_{q_i,q_j\in Q_k} r_{ij}$, а сумарну оцінку щільності для розбивки $\{Q_k\}_w$ позначимо величиною $L_w^*=\sum_k L_k$.

Тоді щільній розбивці $\{Q_k^*\}_w$ буде відповідати оцінка щільності $L_w^*=\min_{w\in W} L_w$.

Варто мати на увазі, що оцінка щільності L_w відноситься до розбивки $\{Q_k\}_w$ в цілому, а не до її окремих множин Q_k. Інакше кажучи, не можна сказати, що множини Q_k^* з оцінками L_k^* в ЩР $\{Q_k^*\}_w$ є щільними, а множини Q_k з оцінками L_k в розбивці $\{Q_k\}_w$ ні. Множина Q_k має певну оцінку щільності L_k незалежно від того, входить Q_k у ЩР чи ні.

При формуванні системи ВЕ задачу (1–3) треба вирішувати не тільки з метою одержання ЩР, але і для розміщення на координатній площині розташування вершин множини Q_k деякого ВЕ, для взаємодії з вершинами $q_i \in Q_k$.

У цьому випадку як оцінку щільності множини Q_k можна використовувати сумарну відстань від вершин множини до ВЕ.

У множині Q_k виконавчий елемент будемо розглядати як додаткову вершину q_k з координатами $(x_k,\ y_k)$. Тоді оцінка щільності R_k множини Q_k відносно ВЕ q_k визначається виразом $R_k=\sum_{q_i\in Q_k} r_{ik}$, де r_{ik} – відстань від вершини q_i до ВЕ q_k. Аналогічно оцінкам L_w і L_w^* вводяться оцінки $R_w = \sum_k R_k$ для розбивок $\{Q_k\}_w$ і оцінки $R_w^* = \min_{w \in W} R_w$ для ЩР $\{Q_k^*\}_w$.

Приймемо, що координати (x_k, y_k) ВЕ q_k для множини Q_k приблизно визначаються як центри мас, тобто

$$x_k = 1/\mu_k \sum_{q_i \in Q_k} x_i\,, \quad y_k = 1/\mu_k \sum_{q_i \in Q_k} y_i\,, \tag{4}$$

де μ_k – число вершин у множині Q_k.

Якщо за умовами задачі ВЕ можуть або повинні бути розміщені тільки в одній з вершин відповідної множини Q_k, то при використанні оцінок R_w критерій вирішення задачі запишеться у вигляді:

$$\sum_k \sum_{q_i \in Q_k} r_{ik} \to \min\,. \tag{5}$$

Щодо використання оцінок L і R варто відмітити, що вони не суперечать одна одній, тобто мінімізація оцінки L відповідає мінімізації оцінки R і навпаки. Надалі будемо розглядати задачу в постановці (5; 2; 3) з обчисленням координат ВЕ за виразом (4).

Розглянемо одну з можливих розбивок $\{Q_k\}_w$. У множинах Q_k згідно (4) визначені координати ВЕ q_k. Вирішимо задачу закріплення вершин множини Q за ВЕ так, щоб за кожним виконавчим елементом q_k було закріплено μ_k вершин, а сума відстаней, що зв'язують ВЕ із закріпленими на ними вершинами, була б мінімальною.

Введемо змінну x_{ik}=1, якщо вершина q_i закріплена за ВЕ q_k, x_{ik}=0, у противному випадку. Задачу закріплення вершин за ВЕ запишемо як задачу математичного програмування:

$$\min R = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} r_{ik} x_{ik}\,, \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ik} = \mu_k\,, \quad k = \overline{1,m}\,, \tag{7}$$

$$\sum_{k=1}^{m} x_{ik} = 1\,, \quad i = \overline{1,n}\,. \tag{8}$$

Умова (7) забезпечує закріплення за кожним ВЕ q_k рівно μ_k вершин. За умовою (8) кожна вершина закріплюється за одним із обраних ВЕ. Критерій (6) відповідає мінімальній оцінці R_w деякої розбивки, отриманій в результаті вирішення задачі (6–8), виходячи із заданого варіанта розміщення ВЕ. Задача (6–8) займає проміжне положення між задачею лінійного програмування транспортного типу і задачею про призначення [11].

Вирішення задачі (6–8) приводить до одного із двох результатів, що принципово відрізняються. В одному з них закріплення вершин за ВЕ повністю відповідає розбивці $\{Q_k\}_w$. У цьому випадку за кожним ВЕ q_k закріпилися вершини множини Q_k. Дане рішення відповідає ситуації, коли в розбивці $\{Q_k\}_w$ вершини множини Q відносно ВЕ q_k, $k = \overline{1,m}$, закріпилися найкращим чином і при цьому розбивка $\{Q_k\}_w$ виявилася найкращою щодо прийнятого розташування ВЕ q_k на координатній площині. Таке розташування ВЕ варто вважати стійким. Слід відмітити, що стійке розташування сукупності ВЕ $\{q_k\}$ завжди зв'язується із сукупністю значень $\{\mu_k\}$. При цьому взаємно однозначна відповідність між $\{q_k\}$ і $\{\mu_k\}$ може встановлюватися довільно.

Інший результат вирішення задачі (6–8) відповідає ситуації, коли відбувається зміна деяких або всіх множин Q_k, тобто має місце перерозподіл вершин між даними множинами. Нові множини, позначимо їх Q'_k, очевидно утворять розбивку з більш високою оцінкою щільності, тобто $R'_{w'} \le R_w$. Дійсно, оцінка $R'_{w'}$, отримана в результаті вирішення задачі (6–8), не може бути більше оцінки R_w, тому що це означало б, що рішення задачі (6–8) не є оптимальним, тобто гірше вихідної розбивки $\{Q_k\}_w$. Отже, між оцінками щільності розбивок $\{Q'_k\}_{w'}$ і $\{Q_k\}_w$ повинне виконуватися одне зі співвідношень – $R'_{w'} < R_w$ або $R'_{w'} = R_w$. Співвідношення $R'_{w'} = R_w$ відповідає розглянутій вище ситуації, при якій перерозподіл вершин між множинами Q_k не відбувся, або має місце дві різних розбивки $\{Q'_k\}_{w'}$ і $\{Q_k\}_w$ з рівними оцінками щільності. Співвідношення $R'_{w'} < R_w$ однозначно вказує на те, що вершини між множинами Q_k перерозподілилися, і це привело до покращання оцінки щільності нової розбивки.

У множинах Q'_k нової розбивки залишилися ВЕ, встановлені для множин Q_k вихідної розбивки. Ці ВЕ не відповідають реальним виконавчим елементам множин Q'_k. Тому з'являється можливість обчислити нові місця розташування ВЕ і покращати оцінку щільності $R'_{w'}$. З огляду на перенос ВЕ на нові місця, розбивка $\{Q'_k\}_{w'}$ розглядається як вихідна, а задача (6)-(8) вирішується щодо нових ВЕ в надії одержати розбивку $\{Q''_k\}_{w''}$ з оцінкою щільності $R''_{w''} < R'_{w'}$.

Перенос ВЕ і вирішення задачі (6–8) доцільно повторювати доти, поки знов отримана розбивка не збіжиться з попередньою, прийнятою в якості вихідної. Це буде означати, що отримане стійке розташування ВЕ, що відповідає стійкій розбивці, яку будемо називати локальною щільною розбивкою (ЛЩР).

Знайдена стійка розбивка названа локальною, тому що немає підстав вважати, що серед множини розбивок W вона має найкращу оцінку щільності R^*_w, тобто є щільною розбивкою.

Алгоритм вирішення задачі (5; 2; 3) зводиться до одержання ЛЩР. Для цього використовується метод послідовного поліпшення розбивок. Для застосування методу необхідно сформувати вихідну розбивку та визначити ВЕ в її множинах.

В [12] запропоновано як вихідну сукупність ВЕ використовувати m вершин $q_i \in Q$. Такі вершини названі координатними точками (КТ). В якості КТ будемо приймати довільну сукупність із m вершин. Зокрема, це можуть бути вершини множини Q з першими m номерами.

Вихідна розбивка отримується шляхом вирішення задачі (6–8) відносно прийнятої сукупності КТ. При цьому в умові (7) значення μ_k зменшується на 1, тому що координатні точки входять у відповідні множини Q_k. Алгоритм одержання ЛЩР буде включати наступні операції.

1. Задається координатна площина і на ній фіксується розташування вершин множини Q. Координати вершин формуються автоматично за місцем фіксації вершин. Нумерація вершин здійснюється відповідно до послідовності їх фіксації.

2. Обчислюються відстані r_{ij} між вершинами q_i і q_j, формується матриця відстаней R.

3. Задається значення m і відповідно до умови (3) обчислюються величини μ_k, $k = \overline{1,m}$. Величини μ_k можуть призначатися з дотриманням співвідношення $\sum_k \mu_k = n$.

4. У множині Q виділяється сукупність КТ, які приймаються в якості вихідних ВЕ і відносно них формується матриця відстаней для вирішення задачі (6–8). Для виділення КТ використовується одне з простих формальних правил [12], або в множині Q вибирається m вершин довільним образом. При необхідності сукупність КТ може призначатися користувачем.

5. Відносно координатних точок вирішується задача (6–8) і визначаються множини Q_k вихідної розбивки.

6. Для кожної множини Q_k за виразом (4) визначаються координати ВЕ q_k і формується нова матриця відстаней для вирішення задачі (6–8).

7. Відносно ВЕ, отриманих у п.6, вирішується задача (6–8), формується нова розбивка.

8. Аналізується результат вирішення задачі (6–8). Якщо нова розбивка відрізняється від вихідної, то нова розбивка приймається в якості вихідної і виконуються п. 6 і 7. Якщо нова і вихідна розбивки збігаються, то це означає, що отримана локальна щільна розбивка.

Висновки

1. Розроблено алгоритм рішення задачі з формування системи виконавчих елементів для обслуговування територіально розосереджених об’єктів, який формує щільні множини таких об'єктів, в основу якого покладений метод послідовного поліпшення розбивок.

2. Алгоритм є ефективним інструментом для наближеного рішення задачі формування з вихідної множини територіально розосереджених ООб підмножин рівної потужності з мінімальною сумарною оцінкою щільності.

3. Алгоритм рішення шуканої задачі за умови визначеної кількості ВЕ дозволяє формувати таку ж кількість локальних щільних підмножин ООб або на підставі визначеної кількості локальних щільних підмножин ООб визначати кількість ВЕ.

Список літератури

1. Петров Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с.

2. Комяк В.М. Алгоритм оптимізації розміщення пожежних депо при проектуванні нових районів міст (реконструкції існуючих) [Текст] / В.М. Комяк, А.Г. Косе, О.К. Пандорін, О.В. Панкратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2000. – Вип. 68. – С. 62-64.

3. Годлевский М.Д. Принципы структурно-параметрического синтеза модели транспортно-складской системы транснациональной логистической компании [Текст] / В.В. Дыбская // Вестник НТУ "ХПИ". Системный анализ, управление и информационные технологии. – 2009. – №10. – С. 23-30.

4. Годлевский М.Д. Модель статической задачи структурного синтеза корпоративной информационно-вычислительной системы [Текст] / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (20). – С. 110-113.

5. Свирщева Э.А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами / Э.А. Свирщева. – Х.: ХТУРЭ, 1998. – 256 с.

6. Бесковорайный В.В. Модификация метода направленного перебора для синтеза топологии систем с радиально-узловыми структурами [Текст] / В.В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 123. – С. 110-116.

7. Бескоровайный В.В. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС [Текст] / В.В. Бескоровайный, З.А. Имангулова // Вестник ХГПУ: Новые решения в современных технологиях. – 2000. – Вып. 83. – С. 4-7.

8. Годлевский М.Д. СППР управления развитием корпоративной информационно-вычислительной системы при нечеткой исходной информации [Текст] / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (26). – С. 3-6.

9. Бескоровайный В.В. Оценка оптимального количества подсистем при проектировании систем с регулярно распределенными элементами [Текст] / В.В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 122. – С. 141-144.

10. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

11. Дегтярев Ю.И. Методы оптимизации. – М.: Советское радио, 1980. – 272 с.

12. Морозов О.О. Формування системи ремонтних органів для відновлення територіально розосередженої техніки [Текст] / О.О. Морозов // Збірник наукових праць НАНГУ. – 2016. – Вип. 2. – С. 49-55.

Надійшла до редколегії 27.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Морозов

Предлагается алгоритм решения задачи по формированию системы исполнительных элементов для обслуживания территориально рассредоточенных объектов. Решение включает разбивку исходного множества территориально рассредоточенных объектов обслуживания на плотные подмножества и размещение в этих подмножествах исполнительных элементов системы обслуживания.

Ключевые слова: *территориально рассредоточены объекты, объект обслуживания, исполнительный элемент, система исполнительных элементов, плотные множества объектов обслуживания, координатная плоскость.*

CHART OF FORMATION OF THE EXECUTIVE ELEMENTS FOR SERVICE GEOGRAPHICALLY DISPERSED ANALYZING PROCESSES

A. Morozov

An algorithm for solving the problem of the formation of the actuators of the system to serve geographically dispersed facilities. The solution includes a breakdown of the initial set of geographically dispersed service facilities on dense subsets and accommodation in these subsets of actuators care system.

Keywords: *geographically dispersed facilities, service object, the actuator system actuators, dense sets of service objects, the coordinate plane.*