

О.А. Антошкін, викладач, НУЦЗУ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУМІСНОЇ ЗАДАЧІ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ І ТРАСУВАННЯ ШЛЕЙФІВ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

(представлено д.т.н. Абрамовим Ю.О.)

В роботі виконано моделювання розміщення пожежних сповіщувачів сумісно із трасуванням шлейфів пожежної сигналізації, яке виконується при проектуванні систем пожежної сигналізації. Задача розміщення пожежних сповіщувачів розглядається як задача покриття з набором додаткових обмежень, а задача трасування шлейфів як задача «комівояжера» або маршрутизації.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, шлейф пожежної сигналізації, задача покриття, задача маршрутизації, задача комівояжера.

Постановка проблеми. Зниження вартості обладнання об'єкту системою пожежної сигналізації (СПС) за умови зберігання ефективності її роботи може бути досягнуто за рахунок зменшення витрат на закупівлю складових для цієї системи – пожежних сповіщувачів (ПС), приймально-контрольних приладів (ПКП), провідникової продукції та ін. Зараз при оптимізації складу системи, як правило, орієнтуються на зменшення кількості більш коштовного обладнання – ПС, ПКП, допоміжних блоків та модулів. А кількості провідникової продукції, метр якої, у порівнянні з іншим обладнанням, коштує відносно недорого, належної уваги не приділяється. Хоча, враховуючи сумарну довжину дротів у розгалужених СПС, навіть 5 % економія може трансформуватися в значну суму. Тому вдосконалення СПС шляхом моделювання процедури розміщення ПС і трасування шлейфів з подальшою оптимізацією загальної вартості проекту протипожежного захисту є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання проектування систем пожежної сигналізації регламентуються в [1, 2]. Розв'язанню задачі оптимального розміщення ПС приділяли уваги багато вчених. Так у роботах [3-5] автори оптимізують решітчасте чотирикутне розміщення ПС. У роботі [6] розглядається питання розміщення приладів виявлення загоряння в системах автоматичного протипожежного захисту за шаховою схемою. Випадкове розміщення сенсорних датчиків у області розглядалося в роботі [7]. У роботі [8] було показано, що задача розміщення пожежних сповіщувачів може бути сформульована як задача покриття довільної області колами. На підставі засобів моделювання відносин між об'єктами в задачах кругового покриття в роботі [9] була побудована загальна математична модель задачі покриття.

Постановка завдання та його вирішення. Незважаючи на велику кількість спроб вирішити задачу оптимального покриття області колами та оптимізувати довжину ламаної, що поєднує окремі точки, сумісна оптимі-

зація розміщення датчиків і довжини мережі, що їх поєднує, не виконувалась. Тому задачею даної роботи є розробка математичної моделі сумісної процедури розміщення ПС і трасування шлейфів пожежної сигналізації.

При трасуванні дротових з'єднань у СПС дуже важливим є врахування технологічних обмежень, тому що використовуються два основних види дротових з'єднань: кільцеве з більшою кількістю датчиків і радіальне, коли з однієї точки може виходити кілька шлейфів з обмеженою кількістю датчиків на кожному.

Перша задача є класичною задачею комівояжера. Для розв'язання задач комівояжера великих розмірностей був розроблений ефективний «k-opt алгоритм» [10].

Задача побудови радіального з'єднання можна представити у вигляді варіанта задачі маршрутизації (без повернення в стартову точку), якщо інтерпретувати точки встановлення ПС як пункти доставки з потребою в 1 одиницю вантажу й обмежити вантажопідйомність транспорту максимальною кількістю датчиків у шлейфі. Оскільки задача розміщення ПС може мати кілька десятків і, навіть, сотень, вузлів і містить у собі набір додаткових обмежень, які ще більше ускладнюють проблему, для розв'язання задачі використовуються метаевристичні методи, наприклад [11].

Постановка сумісної задачі розміщення пожежних сповіщувачів і трасування шлейфів пожежної сигналізації може бути виконана у наступному вигляді: знайти покриття γ області Ω , що задовольняє системі технологічних обмежень, які накладаються на вектор параметрів розміщення кіл, оптимальне відповідно до заданого критерію якості $F(u)$, $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, де $F(u)$ – гладка функція.

На підставі засобів моделювання відношень між об'єктами в задачах кругового покриття у вигляді phi-функцій, квазі-phi-функцій, функцій належності й квазі-функцій належності, що наведені у [11], узагальнена математична модель сумісної задачі розміщення пожежних сповіщувачів і трасування шлейфів пожежної сигналізації може бути записана у вигляді

$$F(u) \xrightarrow{u \in W \subset R^\sigma} \min \quad (1)$$

$$W = \{u \in R^\sigma : \varphi^{p_k C_i} \geq 0 \forall (i, k) \in \Xi_1,$$

$$\varphi^{t_{jk} \Omega^*} \geq 0, \Phi_{-}^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i, j, k) \in \Xi_2, \quad (2)$$

$$\varphi^{t_{jk} C_{s_k}} \geq 0, \Phi_{-}^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i, j, s, k) \in \Xi_3, \Psi \geq 0 \},$$

де $F(u)$, $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, – довжина дротяної мережі; $\sigma = 2n + 1$, 1 – кількість додаткових змінних, що залежить від постановки задачі, обраних засобів моделювання відносин між геометричними об'єктами й виду технологічних обмежень задачі; $u = (u_1, u_2, \dots, u_1, t)$ – вектор змінних задачі; t – вектор додаткових змінних задачі; $u_i = (x_i, y_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – параметри розміщення i -го кола; $\varphi^{p_k C_i}$, $\varphi^{t_{jk} C_{s_k}}$ – функції належності; $\varphi^{t_{jk} \Omega^*}$ – функції (або квазі-функції) належності (залежно від виду області Ω й обраних засобів мо-

делювання відносин між геометричними об'єктами); $t_{ijk} = f(u_i, u_j, k), k \in \{1, 2\}$ – точка перетинання окружностей C_i і C_j ; $f(u_i, u_j, k), k \in \{1, 2\}$ – функція, яка розраховує координати точок перетинання окружностей C_i і C_j ; $\Phi_{-}^{C_i C_j} = 4r^2 - (x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2$ – псевдонормалізована ρ -функція, що формалізує умови розміщення пари кіл на максимально припустимій відстані $\rho=0$; Ξ_1, Ξ_2, Ξ_3 – індексні множини для опису умов повноти покриття; $\Psi(u)$ – система допоміжних обмежень (наприклад, умов належності центрів кіл області Ω).

Для вибору методу розв'язання виконаємо дослідження моделі, що була отримана. У загальному випадку задача являє собою задачу негладкої оптимізації. Це пояснюється тим, що принаймні одна з розглянутих в описі області припустимих розв'язків задачі функція, а саме функція $\varphi^{t_{ijk}^{\Omega}}$, в загальному випадку є мінімаксною.

У деяких випадках (наприклад, коли кожна з компонентів зв'язності області Ω описана одною аналітичною нерівністю) модель з роботи [9] описує класичну задачу нелінійного програмування.

В інших випадках (наприклад, коли всі компоненти Ω є опуклими багатокутниками) модель з роботи [9] описує класичну задачу нелінійного програмування після заміни в функції належності $\varphi^{t_{ijk}^{\Omega}}$ на функцію квазіналежності $\varphi^{t_{ijk}^{\Omega^*}}$. Платою при цьому служить зростання розмірності задачі.

Якщо (із міркувань надійності) задані максимально припустимі відстані між зонами контролю «сусідніх» ПС та від «граничних» зон до межі області, то в моделі з роботи [9] здійснюється додавання відповідних псевдонормалізованих функцій. Під "сусідніми" маються на увазі зони датчиків, які мають непусте перетинання із границею області, а «сусідніми» – зони з непустим взаємним перетинанням. Розмір відстаней обумовлюється вимогами, що вказані в [1] та [2].

Висновки. Таким чином, в роботу була побудована й досліджена узагальнена математична модель сумісної задачі оптимізації розміщення ПС й трасування шлейфів СПС. Її використання дозволяє не тільки зменшити кількість пожежних сповіщувачів, а й мінімізувати довжину шлейфів, що може суттєво зменшити загальну вартість системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5–56–2014 [Чинний від 2015-07-01]. К. : ДП «Укрархбудінформ». 2014. 127 с.
2. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, введення в експлуатацію, експлуатування і технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2004, IDT) : ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009. [Чинний від 2010-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 68 с.
3. Бабуров В.П., Колосов И.С., Пранов Б.М. Размещение автоматических пожарных извещателей с учетом степени перекрытия защищаемой площади // Пожарная техника, тактика и автоматические установки

пожаротушения. М : ВНИИПО. 1975. С. 118–123.

4. Родэ А.А., Рыжов А.М., Яйлиян Р.А. К вопросу о рациональном размещении тепловых пожарных извещателей в помещении // Автоматическое тушение пожаров. М : ВНИИПО. 1975. С. 25-33.

5. Родэ А.А., Борисов В.С., Рыжов А.М. Определение времени срабатывания извещателей, реагирующих на повышение температуры в помещении // Пожарная техника и тушение пожаров. Информационный сборник. М.: Стройиздат. 1974. № 12. С. 88-94.

6. Бондаренко С.Н., Дрога М.А. Формализация методики размещения спринклерных оросителей по шахматной схеме // Проблемы пожарной безопасности. 2012. №32. С. 26-31.

7. Hall P. Introduction to the Theory of Coverage Processes. John Wiley & Sons Incorporated, 1988. 432 p.

8. Johnson D. S., McGeoch L. A. The travelling salesman problem: a case study // Local Search in Combinatorial Optimization / E. Aarts, J. K. Lenstra, etc. Princeton : Princeton University Press, 2003. P. 215–310.

9. Chen Si., Golden B., Wasil E. Split delivery vehicle routing problem: Applications, algorithms, test problems, and computational results // Networks. 2007. Vol. 49. Iss. 4. P. 318–329.

10. Антошкин А. А., Комяк В. М., Романова Т. Е. Особенности построения математической модели задачи покрытия в системах автоматической противопожарной защиты // Радиоэлектроника и информатика. Харьков: ХНУРЭ. 2001. № 1. С. 75–78.

11. Antoshkin O., Pankratov O. Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6, N 4(84). P. 45-53. Way of Access: DOI: 10.15587/1729-4061.2016.86171.

Отримано редколлегією 12.03.2019

О.А. Антошкін

Моделювання сумісної задачі розміщення пожежних сповіщувачів та трасування шлейфів пожежної сигналізації

В роботі виконано моделювання сумісної задачі покриття та трасування, що виникає при проектуванні шлейфів пожежної сигналізації. Задача розміщення пожежних сповіщувачів розглядається як задача покриття з набором додаткових обмежень, а задача трасування шлейфів як задача «комівояжера» або маршрутизації.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, шлейф пожежної сигналізації, задача покриття, задача маршрутизації, задача комівояжера.

A. Antoshkin

Modeling of compatible task of placement of fire sensors and transparency of fire signals

In the work, the simulation of a coherent coating and tracing problem that occurs when designing the fire alarm loops is performed. The task of placing fire detectors is considered as a task of coverage with a set of additional constraints, and the problem of tracing trains as a salesman problem or routing.

Keywords: fire detector, signaling loop, problem of coverage, routing problem, salesman problem.