

УДК 004.942

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0018

АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАССТАНОВКЕ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ

©2021

Стативко Роза Усмановна, кандидат технических наук, доцент

Коломытцева Елена Павловна, аспирант,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

(308012, Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д.46,

e-mails: Stativko1@mail.ru, creame2005@yandex.ru)

Аннотация. Целью данной работы является разработка подходов, рекомендаций и алгоритмов по поддержке принятия решения по расстановке датчиков (движения, освещения и присутствия) в помещениях на основании введенных пользователем критериев. Предложена архитектура информационной системы для автоматизации расстановки датчиков, дана характеристика каждого блока. Приведены примеры расположения потолочных, настенных и потолочно-настенных датчиков, полученные с использованием информационной системы, которая дает возможность получения до трех вариантов расстановки и способа размещения датчика каждого вида по критерию максимизации площади покрытия, а также минимизация общей стоимости всей совокупности датчиков. Согласно предложенному алгоритму расчета площади покрытия пользователь получает значения площади покрытия и минимальной стоимости. По полученным вариантам пользователь может сделать выбор, ориентируясь на площадь покрытия и на стоимость датчиков.

Ключевые слова: задача покрытия, комбинаторная оптимизация, датчик, движение, освещенность, алгоритм расстановки, архитектура информационной системы, геометрическое покрытие.

DECISION SUPPORT ALGORITHM FOR INSTALLATION OF INDOOR MOTION SENSORS

©2021

Stativko Roza Usmanovna, candidate of Engineering Sciences, associate professor,

Kolomytseva Elena Pavlovna, post - graduate student,

Belgorod State Technological University named by V.G. Shukhov

(308012, Belgorod, BSTU VG Shukhov, str. Kostyukova, d.46, e-mails: Stativko1@mail.ru, creame2005@yandex.ru)

Abstract. The purpose of this work is to develop approaches, recommendations and algorithms to support decision-making on the placement of sensors (motion, lighting and presence) in rooms based on the criteria entered by the user. The architecture of the information system for automating the placement of sensors is proposed, the characteristics of each block are given. Examples of the location of ceiling, wall and ceiling-wall sensors obtained using an information system, which makes it possible to obtain up to three options for the placement and placement of each type of sensor according to the criterion of maximizing the coverage area, as well as minimizing the total cost of the entire set of sensors are given. According to the proposed algorithm for calculating the coverage area, the user receives the values of the coverage area and the minimum cost. According to the options received, the user can make a choice, focusing on the coverage area and the cost of sensors.

Keywords: coverage problem, combinatorial optimization, sensor, motion, illumination, placement algorithm, information system architecture, geometric coverage.

Введение. Задача расстановки датчиков движения относится к задачам покрытия области и характеризуется как класс *NP*-трудных задач комбинаторной оптимизации, которая относится к проблематике «раскрой и упаковки» (*Cutting and Packing, C&P*). Впервые задача максимального покрытия была сформулирована в 2002 г. Е. Заком [1]. К фундаментальным работам этого направления относятся работы: И.В. Романовского [2], Э.А. Мухачевой [3], Ю.Г. Стояна [4]. К задаче о покрытии сводятся многие известные задачи дискретной оптимизации [5–10]: транспортная задача, задачи с неделимостью, экстремальные комбинаторные задачи, задачи на неклассических областях, задача о коммивояжере, задачи теории расписаний и др. При решении многих задач расстановки датчиков необходимо учитывать геометрические особенности помещения.

Метаэвристические алгоритмы [11–16] можно

адаптировать для решения задач в различных системах: освещения, агротехнических, охранных, беспроводной связи, воздушного наблюдения и многих других. Алгоритмы помогут повысить эффективность систем и уменьшить затраты на их проектирование и реализацию.

Целью работы является разработка рекомендаций, подходов и алгоритмов по расстановке датчиков движения, освещения и присутствия, а также программы для решения задачи геометрического покрытия, способной выводить рекомендации пользователю по расстановке датчиков на основании введенных пользователем данных.

В данной работе предложен алгоритм размещения датчиков в помещении таким образом, чтобы вся поверхность была максимально покрыта с наименьшей площадью перекрытий датчиков, а также наименьшим их количеством с целью минимизации затрат.

Материалы и результаты исследования. *Математическая постановка задачи.* Введем понятия и определения. Пусть в качестве площади помещения (S_0) выступает геометрическая поверхность (прямоугольник, многоугольник) с заданными параметрами: l – длина помещения и w – ширина помещения. Имеется множество датчиков $D = D_k \cup D_z$, которое является объединением двух множеств D_k – множество потолочных датчиков и D_z – множество настенных датчиков. Каждый принадлежащий D элемент d_i соответствует конкретному типу датчика и имеет свои базовые характеристики: радиус (r_k, r_z) и цена ($C_{(k,z)}$).

Для решения проблемы расстановки датчиков нужно разбить геометрическую поверхность (площадь помещения) на зоны согласно параметрам датчиков $d_i(r_k, r_z)$.

Используем следующие обозначения переменных, которые необходимы для формулирования задачи расстановки:

- n – количество датчиков в базе;
- r_k – радиус k -го датчика (потолочные);
- r_z – радиус z -го датчика (настенные);
- Kd_k – количество потолочных датчиков (k);
- Kd_z – количество настенных датчиков (z);
- i – количество датчиков по ширине помещения;
- j – количество датчиков по длине помещения;

$Sp = \{Sp_k, Sp_z, Sp_{kz}\}$ – площадь покрытия датчиками, где:

Sp_k – площадь покрытия k -го датчика;

Sp_z – площадь покрытия z -го датчика;

Sp_{kz} – площадь покрытия z -го датчика и k -го датчика;

$CT_{(k,z)}$ – стоимость датчиков (k, z).

Сформулируем постановку задачи для расстановки датчиков. Задача состоит в том, чтобы выполнялись условия:

$$GT: \begin{cases} L1 = \frac{Sp(Kd_k, Kd_z, Kd_{kz})}{S_0} \rightarrow 1 \\ CT(Kd_k, Kd_z, Kd_{kz1}) \rightarrow \min, d_i \in D \end{cases} \quad (1)$$

Критерий $L1$ отражает максимум покрытия S_0 ($0 < L1 \leq 1, L1 \rightarrow 1$).

Разработка подходов к решению задачи по автоматизации расстановки датчиков. Согласно постановке задачи необходимо разработать подходы по расстановке датчиков и создать программное средство, способное выдавать пользователю рекомендации по расстановке датчиков на основании введенных пользователем данных.

Архитектура информационной системы с рекомендательным блоком по автоматизации расстановки датчиков может быть представлена следующими блоками (рис. 1):

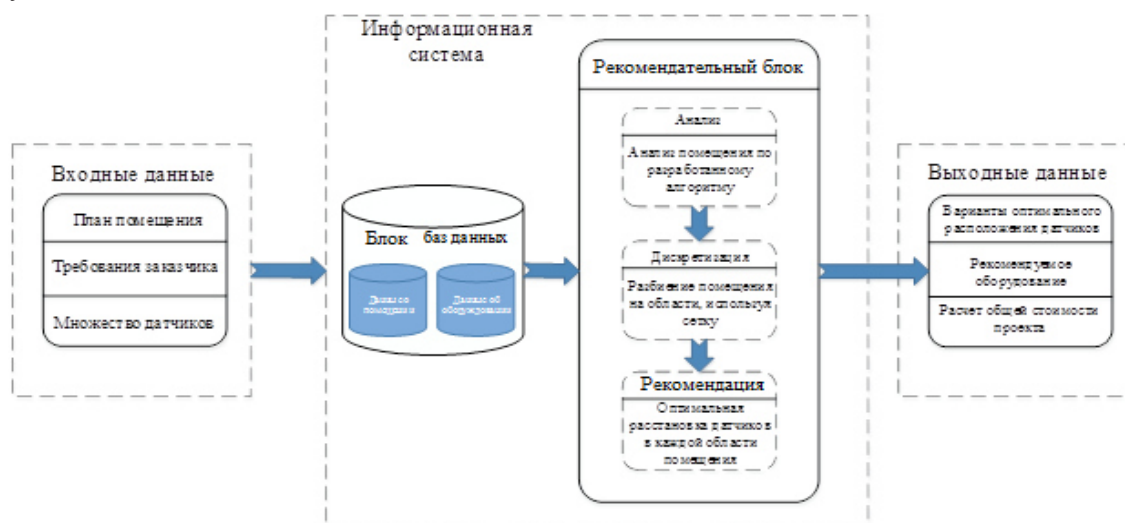


Рисунок 1 – Информационная система с рекомендательным блоком по автоматизации расстановки датчиков

Блок баз данных содержит данные о помещении и данные об оборудовании. Первая база данных содержит информацию о помещении: план (со структурной информацией), расположение стен. Вторая база данных содержит информацию о датчиках различных типов, включая их характеристики и цены. Рекомендательный блок является ядром информационной системы и выполняет три функции: анализ, дискретизация и рекомендация.

На этапе анализа определяются зоны помещения, в которых необходимо установить датчики, и которые могут быть обследованы независимо от остальной части помещения. Под зоной будем понимать часть помещения, которая охватывается датчиком согласно его параметрам.

Приведем пример размещения датчиков разных типов:

1. Расстановка потолочных датчиков. Определим площадь покрытия как совокупность площадей всех зон. Зона в данном случае – это площадь, вычисляемая ($S_i = \pi R^2$).

1.1. На рисунке 2 показан фрагмент расстановки потолочных датчиков по l -длине помещения:

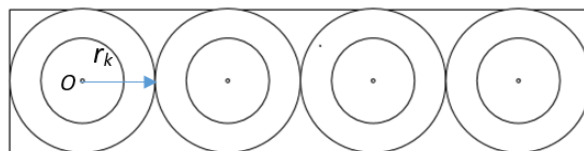


Рисунок 2 – Фрагмент расположения потолочных датчиков

1.2. В случае если потребителя не устраивает характер расположения датчиков представленных на рисунке 2, то минимизируем площадь непокрытого помещения представленной на рисунке 3 расстановкой:

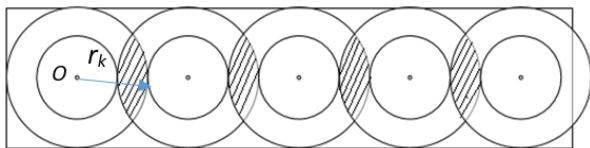


Рисунок 3 – Фрагмент расположения потолочных датчиков с максимизацией покрытия

На рисунке 4 показан фрагмент блок-схемы вычисления наибольшей площади покрытия помещения путем перебора имеющихся потолочных датчиков в базе данных. В результате работы данного алгоритма получаем необходимое количество потолочных датчиков и соответственно можем получить их стоимость $CT_k = Kd_k * C_k$.

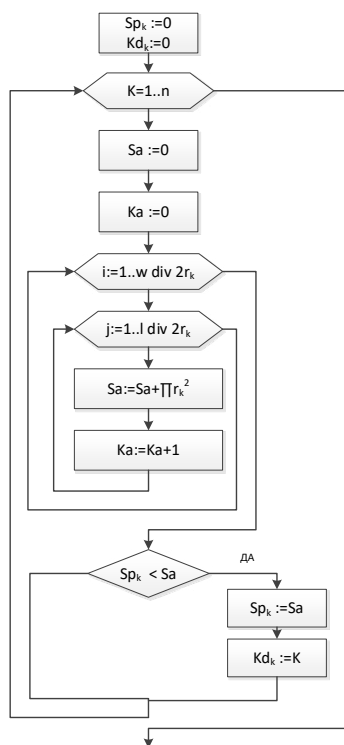


Рисунок 4 – Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета площади покрытия для потолочных датчиков движения

2. Расстановка настенных датчиков:

2.1. Если ширина помещения сопоставима с параметрами настенных датчиков, то получаем картину представленную на рисунке 5.

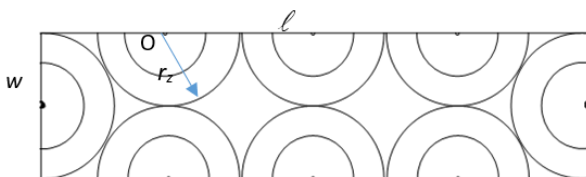


Рисунок 5 – Фрагмент расположения настенных датчиков

На рисунке 6 показан фрагмент блок-схемы вычисления наибольшей площади покрытия помещения пу-

тем перебора имеющихся настенных датчиков в базе данных, в результате которых получаем необходимое количество датчиков и их стоимость $CT_z = Kd_z * C_z$.

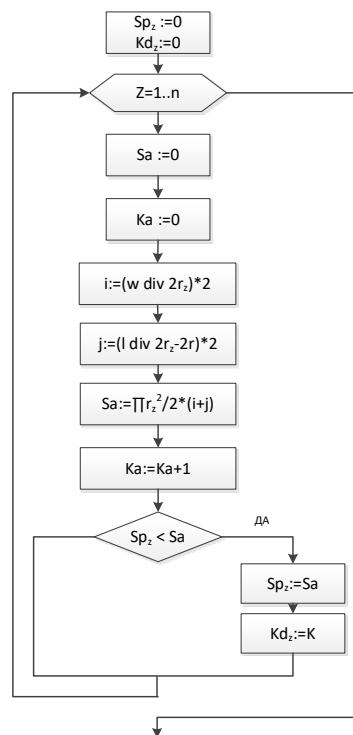


Рисунок 6 – Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета площади покрытия для настенных датчиков движения

3. Возможна ситуация, когда параметры настенных датчиков не позволяют перекрыть площадь помещения, как это показано на рисунке 7.

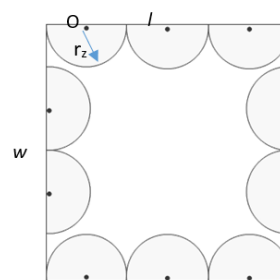


Рисунок 7 – Расстановки настенных датчиков не покрывающих всю площадь

В создавшейся ситуации можно рекомендовать пользователю смешанную расстановку датчиков (настенные и потолочные) (рис.8).

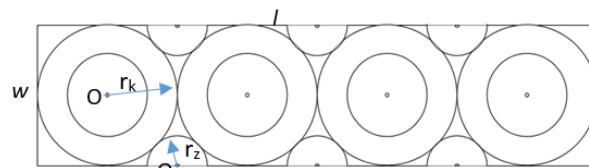


Рисунок 8 – Пример смешанной расстановки датчиков (настенные и потолочные)

Для смешанной расстановки датчиков следует разбить площадь помещения на зоны с учетом параметров датчиков (потолочных и настенных) $d_i(r_k, r_z)$.

Рисунок 9 и формулы (2), (3) поясняют порядок геометрического вычисления радиуса для выбора необходимого настенного датчика, где O – центр потолочного датчика, O' – настенного.

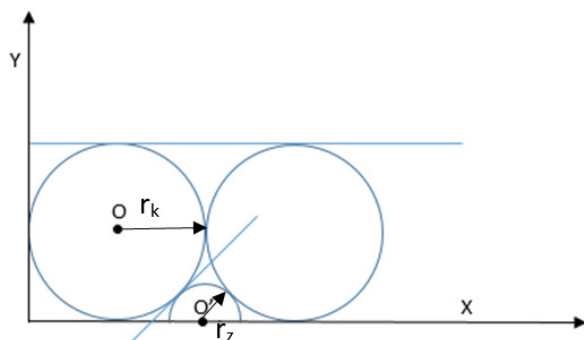


Рисунок 9 – Порядок определения радиуса настенного датчика при смешанной расстановке

$$|OO'| = \sqrt{r_k^2 + r_k^2} = r_k \sqrt{2} \quad (2)$$

Вычислив значение расстояния (2), получим требуемое значение радиуса настенного датчика (6):

$$r_z' = r_k \sqrt{2} - r_k = r_k (\sqrt{2} - 1) \quad (3)$$

Пользователю представляется возможность получения n ($n = 1 \dots 3$) вариантов расстановки для каждого вида датчика и способа их размещения по критерию максимизации площади покрытия с учетом стоимости множества датчиков по каждому варианту. Пользователь имеет возможность выбора варианта, ориентируясь на площадь покрытия (Sp_k, Sp_z, Sp_{kz}) и на наименьшую стоимость датчиков ($CT_{min_k}, CT_{min_z}, CT_{min_{kz}}$).

Необходимо принимать во внимание запросы пользователя и особенности планировки, в том числе наличие в помещении перегородок, которые могут мешать корректной работе датчиков и исказить результат работы программы.

Заключение. Применение предложенных подходов, рекомендаций, и разработанных алгоритмов по расстановке в помещениях датчиков движения, освещения и присутствия может существенно упростить принятие решения пользователем при проектировании схемы их установки. Учитывая предпочтения пользователя, можно получить различные схемы покрытия, и из полученных результатов выбрать подходящий пользователю вариант расположения датчиков.

Предложена архитектура информационной системы с рекомендательным блоком по автоматизации разработки схемы расстановки датчиков. Продемонстрированы примеры работы алгоритма проектирования схемы размещения различных датчиков. Информационная система предоставляет пользователю возможность получения трех вариантов расстановки для каждого вида датчика (настенного, потолочного и смешанного варианта) и способов их размещения с максимальной площадью покрытия, а также минимизация стоимости всей совокупности датчиков для каждого варианта, что упрощает процедуру выбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zak, E. Relationship between skiving stock and cutting stock problem /E. Zak, C. RENNICK // The 16th Triennial Conf. of

the Int. Federation of Operational Research Societies. Edinburgh, UK, 2002. P. 27.

2. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. – М.: Наука. – 1977. – 420 с.

3. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчёта раскроя упаковки геометрических объектов. – Уфа. – УГАТУ. – 1998. – 216 с.

4. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев. Наукова думка. 1986. 268 с.

5. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование). – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192 с.

6. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. – М.: Мир, 1985. – 512 с.

7. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304с.

8. Глебов Н. И., Кочетов Ю. А., Плясунов А. В. Методы оптимизации: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2000. 105 с.

9. Овчинников В.А. Систематизация точных методов дискретной оптимизации // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-tochnykh-metodov-diskretnoy-optimizatsii> (дата обращения: 15.04.2021).

10. Джабраил М., Романченко О.А., Толстикова О.Н. Размещение объекта обслуживания населения на основе метода дискретной оптимизации // Управление большими системами: сб. тр. 2006. № 14. С. 123-134.

11. Фроловский В.Д. Приближенные методы решения NP-трудных задач в системах автоматизации проектирования. Новосибирск. НГТУ. 2006. – 100 с.

12. Курейчик В.М., Гладков Л.А., Курейчик В.В. Генетические алгоритмы. М.ФИЗМАЛТИТ. 2006. – 320 с.

13. Фроловский В.Д. Оптимизация раскроя материалов на оборудовании с ЧПУ (модели, методы, алгоритмы). Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2011. 124 с.

14. Щербина О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) // ТВИМ. 2014. №1 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metaevristicheskie-algoritmy-dlya-zadach-kombinatornoy-optimizatsii-obzor> (дата обращения: 15.04.2021).

15. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М.: МАИ-Принт. 2009. – 159 стр.

16. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2004. – № 4.

17. Blum C. and Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison // ACM Computing Surveys. – 2003. – 35(3). – P. 268-308.

18. Dorigo M. and Stützle T. Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances // M. Gendreau and J.-Y. Potvin, editors, Handbook of Metaheuristics, volume 146 of International Series in Operations Research & Management Science, chapter 8, pages 227-263. – New York: Springer, 2010. Режим доступа <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/DorStu2010MetaHandBook.pdf>.

19. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. – Reading: Addison-Wesley, 1989.

20. Стативко Р.У., Коломыцева Е.П. Разработка алгоритмов определения необходимости использования типовых моделей датчиков. Известия Юго-Западного государственного университета. 2018;22(6):118-126.

Статья поступила в редакцию 06.05.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021