

МЕТОДЫ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕЩЕНИЯ КАМЕР

В. М. КАРТАК¹, Н. М. БАШМАКОВ²

¹kvmail@mail.ru, ²nail.bashmakov@gmail.com

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Исследуется проблема оптимизации размещения видеокамер в помещении. Рассматривается размещение 2-х типов камер, отличающихся ценой, градусом обзора и радиусом. Предложен подход на основе целочисленного линейного программирования.

Ключевые слова: целочисленное линейное программирование, оптимизация, оптимальное размещение, видеокамеры.

ВВЕДЕНИЕ

Последние годы во всех публичных местах можно увидеть установленные камеры видеонаблюдения. Наличие видеокамер:

- упрощает поиск преступников, выявленных в розыск;
- помогает предотвратить террористические угрозы;
- помогает установить личность людей, совершивших преступления и попавших на запись;
- способствует предотвращению преступлений;
- соотношение цена/качество видеокамер позволяет даже относительно небольшим коммерческим организациям установить несколько видеокамер на своей территории.

Устанавливаются камеры и в помещениях, например в торговых центрах, магазинах, учебных заведениях. Установка камер видеонаблюдения может производиться несколько хаотично, и в результате привести к тому, что некоторые области останутся непокрытыми видеонаблюдением, где-то расположение камер может оказаться неудачным, где-то избыточным.

Для решения задач организации телевизионного наблюдения предлагается рас-

сматривать следующие характеристики и параметры [1]:

- количество;
- места расположения;
- высоты установки и ориентации в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- углы обзора;
- разрешающая способность.

А также другие параметры и характеристики, связанные, прежде всего:

- с условиями освещенности (источники естественной и искусственной освещенности, их расположение и направленность, изменение их положения во времени и т.п.);
- возможными помехами наблюдению, препятствующими получению видеоизображений или снижающими на некоторое время качество изображения (засветка светом фар, блокировка части зоны проезжающим транспортом и т.д.);
- возможностью возникновения экстремальных условий эксплуатации (конденсат или иней на объективах).

В связи с массовой повсеместной установкой камер видеонаблюдения возникает задача полностью покрыть всю территорию видеонаблюдением и не переплатить, расставив видеокамеры не оптимальным образом. Эта проблема уже рассматривалась,

однако задача выбора оптимального количества камер не ставилась [2].

Основной целью данной работы является выбор оптимального количества видеокамер, места их расположения, ориентация в горизонтальной плоскости. Входными данными являются радиус обзора видеокамеры (величина, зависящая от фокусного расстояния объектива), угол обзора и цена.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано прямоугольное помещение, размерностью $M \times N$ на плоскости (M и N кратны 10). Его площадь разбивается на квадраты 10×10 , центры квадратов считаются точками, которые должны лежать в поле зрения камеры. Могут присутствовать точки, которые требуют двойного покрытия (более важные, задаются случайным образом) (рис. 1).

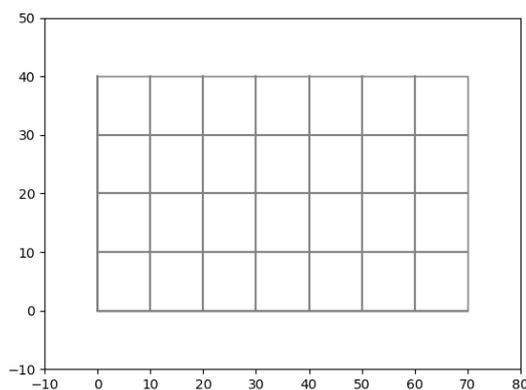


Рис. 1. Разбиение помещения на квадраты

Видеокамеры размещаются только на сторонах прямоугольника, в точках, где стороны прямоугольника пересекаются со сторонами квадратов, на которые разбит прямоугольник. В рамках задачи предполагается, что видеокамеры имеют следующие характеристики: угол размещения (угол между осью абсцисс и стороной угла, образующей с осью абсцисс меньший угол), угол обзора, радиус обзора, стоимость. Считается, что есть 2 вида камер, характеристики которых могут быть как различны, так и частично совпадать.

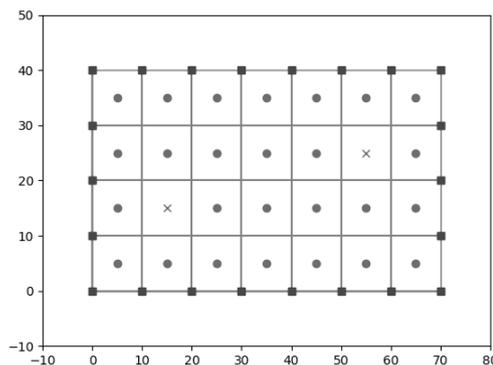


Рис. 2. Точки, которые требуется покрыть и места установки видеокамер (x-обозначение точки, требующей двойного покрытия)

Задача состоит в том, чтобы полностью покрыть видеонаблюдением все точки – центры окружностей, учитывая условие о двойном покрытии и минимизировать общую стоимость камер, т.е. оптимизировать их размещение. В этой работе предложено решение задачи при помощи методов целочисленного линейного программирования.

Для каждого помещения размером $M \times N$ количество возможных точек размещения камер равно $2 \cdot M + 2 \cdot N$, а количество точек, которые необходимо покрыть $M \cdot N$. Введем переменную z_{ij}^{qr} , соответствующую камерам 1-го типа, где $q \in \{\alpha \bmod 360, (\alpha+1) \bmod 360, \dots, (\alpha+180) \bmod 360\}$, где $\alpha = 0, 90, 180, 270$, для стороны лежащей на оси абсцисс, и так далее, при обходе сторон против часовой стрелки, $i \in \{1, \dots, M\}$, $j \in \{1, \dots, N\}$, r равен радиусу камер 1-го типа. Введем так же переменную s_{kl}^{pR} , соответствующую камерам 2-го типа, где $p \in \{\alpha \bmod 360, (\alpha+1) \bmod 360, \dots, (\alpha+180) \bmod 360\}$, где $\alpha = 0, 90, 180, 270$, $k \in \{1, \dots, M\}$, $l \in \{1, \dots, N\}$, R равен радиусу камер 2-го типа [3].

Целевая функция сводится к минимизации суммы всех установленных камер

$$\left(a * \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{q=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} z_{ij}^{qr} + b * \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \sum_{p=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} s_{kl}^{pR} \right) \rightarrow \min,$$

где a и b – стоимость камер 1-го и 2-го типа соответственно.

Для того чтобы определить, покрывает ли какая-то конкретная камера, с координатами c_x, c_y , радиусом R , углом размещения α и углом обзора β , какую-то конкретную точку, с координатами d_x, d_y , осуществляются следующие операции:

1. Производится параллельный перенос точки (c_x, c_y) , в точку $(0, 0)$, а точки (d_x, d_y) , в точку $(d_x - c_x, d_y - c_y)$;

2. Зная связь между полярными и декартовыми координатами:

$$x = r \cdot \cos \varphi$$

$$y = r \cdot \sin \varphi$$

можем найти угол φ , который является углом между осью абсцисс прямоугольника и отрезком, проведенным из начала координат в точку $(d_x - c_x, d_y - c_y)$. Угол φ находится следующим образом:

$$\varphi = \begin{cases} \arctg\left(\frac{y}{x}\right), & x > 0, y \geq 0 \\ \arctg\left(\frac{y}{x}\right) + 2\pi, & x > 0, y < 0 \\ \arctg\left(\frac{y}{x}\right) + \pi, & x < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & x = 0, y > 0 \\ \frac{3\pi}{2}, & x = 0, y < 0 \\ -, & x = 0, y = 0 \end{cases}$$

3. Осуществляется перевод значения угла из радиан в градусы по формуле:

$$\varphi = \frac{\varphi(\text{рад}) \cdot 180}{\pi}$$

4. Выполняется проверка условий:

$$(c_x - d_x)^2 + (c_y - d_y)^2 < R^2$$

$$\alpha < \varphi < \alpha + \beta$$

Если оба условия выполняются, то считается, что точка с координатами (d_x, d_y) покрыта этой камерой.

Для того чтобы избежать установки нескольких камер в одной точке вводится следующее ограничение:

$$\forall z_{ij}^{qr}, s_{kl}^{pR}, \text{ если } i = k \text{ и } j = l,$$

$$\text{то } \sum_{q=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} z_{ij}^{qr} + \sum_{p=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} s_{kl}^{pR} \leq 1$$

С целью обеспечить полное покрытие всех точек помещения, множество D , вводятся следующие ограничения:

$$\forall Di, \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{q=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} z_{ij}^{qr} + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \sum_{p=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} s_{kl}^{pR} \geq 1$$

для не важных точек и

$$\forall Di, \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{q=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} z_{ij}^{qr} + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \sum_{p=\alpha \bmod 360}^{(\alpha+180) \bmod 360} s_{kl}^{pR} \geq 2$$

для важных.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для решения этой задачи была написана программа на языке Python 3.6, которая реализует данные алгоритмы и модели с использованием библиотеки IBM® ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0. В качестве тестового примера было задано помещение размером 70×40 . В каждой точке рассматривалось размещение камер обоих типов. Камеры первого типа имели следующие характеристики: радиус=20, угол обзора=50, стоимость=2, камеры второго типа имели следующие характеристики: радиус=25, угол обзора=40, стоимость=3. В каждой точке размещения может устанавливаться только 1 камера, причем варианты размещения данной камеры в данной точке отличаются друг от друга смещением камеры на 1 градус. Случайным образом были заданы важные точки с координатами $(5, 40)$ и $(65, 40)$.

В результате выполнения программы был получен следующий результат: камеры 1-го типа будут размещены в точках с координатами: $(70, 0)$ угол 92, $(70, 30)$ угол 134, $(70, 40)$ угол 206, $(40, 40)$ угол 279, $(30, 40)$ угол 288, $(0, 30)$ угол 11.

Камеры второго типа будут размещены в точках с координатами: $(0, 0)$ угол 43, $(10, 0)$ угол 14, $(50, 0)$ угол 122, $(60, 0)$ угол 101, $(40, 40)$ угол 282, $(0, 30)$ угол 279. Общая стоимость – 30.

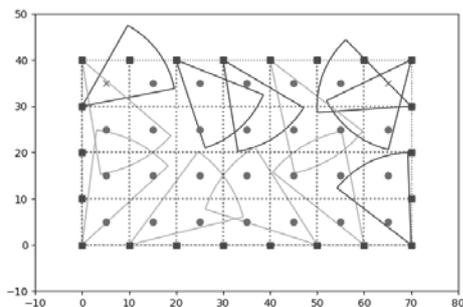


Рис. 3. Результат работы программы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была предпринята попытка подойти к размещению камер видеонаблюдения с точки зрения оптимизации. Были описаны предлагаемые для использования алгоритмы. С целью решения данной задачи для прямоугольного помещения с учетом наличия важных участков была написана программа, позволяющая осуществить размещение камер двух типов оптимальным образом, минимизирующим их стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. А., Волхонский В. В., Суханов А. В. Телевизионные системы наблюдения. Основы проектирования. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. [S. A. Alekseev, V. V. Volkhonsky, A. V. Sukhanov Television surveillance systems. Fundamentals of design. – SPb.: ITMO University, 2015.]
2. Локтев А. А., Алфимцев А. Н., Локтев Д. А. Алгоритм размещения видеокамер и его программная реализация // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 167–175. [A. A. Loctev, A. N. Alfimcev, D. A. Loctev, Algorithm of placement of video cameras and its software implementation. Vestnik MGSU. 2012. No. 5. P. 167-175.]
3. Картак В. М., Фабарисова А. И. Методы целочисленного линейного программирования в задаче нерегулярного размещения плоских геометрических объектов в форме полимино. Вестник УГАТУ, [S.I.], v. 22, n. 2 (80), p. 131-137, июнь 2018. ISSN 1992-6502. [V. M. Kartak, A. I. Fabarisova, "Methods of integer linear programming in the problem of irregular placement of planar geometric objects in the form of a polymino" in Vestnik UGATU v. 22, n. 2 (80), p. 131-137, 2018.]

ОБ АВТОРАХ

КАРТАК Вадим Михайлович, зав. кафедрой ВТиЗИ. Дипл. Инженер-программист (УГАТУ, 1995). Д-р физ.-мат. наук по 05.13.01 (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. дискретной оптимизации.

БАШМАКОВ Наиль Маратович, студент каф. ВТиЗИ.

METADATA

Title: methods integer linear programming in the problem of optimizing the number and placement of cameras

Authors: V. M. Kartak¹, N. M. Bashmakov²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹kvmail@mail.ru, ²nail.bashmakov@gmail.com

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (20), pp. 93-96, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: Explores the problem of optimizing the placement of video cameras in the room. We consider the placement of 2 types of cameras with different price, degree of view and radius. An approach based on integer linear programming is proposed.

Key words: integer linear programming, optimization, optimal placement, video cameras.

About authors:

KARTAK, Vadim Michailovich, Head of the Dept. of Computer Science and Information Security. Dipl. Software Engineer (UGATU, 1995). Dr. of Phys.-Math. Sci. (UGATU, 2012). Research interests – discrete optimization.

BASHMAKOV, Nail Maratovich, student, Ufa state aviation technical University