

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВИДЕОКАМЕР

В. М. КАРТАК <sup>1</sup>, Н. М. БАШМАКОВ <sup>2</sup>

<sup>1</sup>kvmail@mail.ru, <sup>2</sup>nail.bashmakov@gmail.com

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

**Аннотация.** В данной работе рассматривается задача оптимизации размещения видеокамер. Для выбора оптимального количества камер, их мест размещения и ориентации использовались методы линейного программирования. Математическая модель, полученная в ходе работы, была реализована на языке Python с применением пакета Cplex. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили эффективность метода при решении задачи оптимального размещения видеокамер. В результате исследования был предложен метод, упрощающий размещение видеокамер.

**Ключевые слова:** видеокамеры; оптимизация; размещение; линейное программирование; видеонаблюдение; оптимальное размещение.

### ВВЕДЕНИЕ

Задача построения комплексной системы информационной безопасности включает в себя и организацию технической защиты. Очень важное место в ней занимает видеонаблюдения.

Научно-технический прогресс позволил сделать камеры видеонаблюдения компактными и не очень дорогими, что привело к широкому распространению этого средства технической защиты. Основными задачами, которые решаются с помощью организации видеонаблюдения, являются: поиск преступников, объявленных в розыск, помощь в предотвращении террористических актов, фиксация лиц, совершивших правонарушения и способствование их опознания, контроль ситуации в зоне видимости видеокамеры, пассивное воздействие на злоумышленников, заставляющее их отказаться от своих планов.

Камеры в основном устанавливаются в таких местах как магазины, торговые центры, филиалы банков – то есть в местах с большим количеством посетителей. Камеры могут устанавливаться и на улице, или на периметре контролируемой зоны некоторого объекта, а также внутри помещений [1].

Качество видеокамеры определяется целым рядом показателей, к которым можно отнести следующие: оптический формат, разрешающая способность, пороговая чувствительность, синхронизация, электронный затвор, электронная диафрагма, автоирис, автоматическая регулировка усиления, отношение сигнал/шум, гамма-коррекция, компенсация света сзади, канал звука, конструкция узла присоединения объектива, напряжение питания, узел крепления телекамеры к несущим деталям, объективы, фокусное расстояние, трансфокатор, относительное отверстие, возможность регулирования диафрагмы, кожухи для внутренних и внешних помещений, поворотные устройства, устройства ИК подсветки, кронштейны [2, 3].

Требования к системам охранного телевидения сформулированы в нормативном документе ГОСТ Р 51558-2014 [4], они относятся к техническим характеристикам компонентов системы видеонаблюдения. Кроме того, существует множество нормативных документах обязывающих устанавливать видеонаблюдение на некоторых объектах, например Постановление Правительства РФ от 25 марта 2015 г. № 272 [5].

В настоящее время разработаны программы, позволяющие разработчиками систем видеонаблюдения изучить возможности проектируемой системы до реализации, и возможно выявить какие-то недостатки на этапе проектирования. Примером такого продукта может служить JVSG:CCTV Design Software [6]. Размещение камер в таких программах производится пользователем, что может быть не простой задачей в случае, если необходимо спроектировать систему для достаточно крупного объекта. При этом так же может иметь место неполное покрытие объекта видеонаблюдением, либо избыточность камер.

Следовательно, существует задача оптимального размещения камер с минимизацией их количества.

### 1. ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЯ ВИДЕОКАМЕР

Дана прямоугольная область  $G$ . На области могут быть размещены препятствия, представляющие собой многоугольники. Кроме того, на области так же отмечены зоны, которые являются местами размещения видеокамер. Требуется покрыть всю область  $G$  видеонаблюдением используя минимальное количество камер. В зависимости от требуемой детализации объекта могут решаться задачи наблюдения, распознавания, идентификации [1].

#### 1.1. ПАРАМЕТРЫ КАМЕР

Считается, что камеры имеют следующие характеристики: эффективная дальность наблюдения, горизонтальная ориентированность камеры, горизонтальный угол обзора, угол между оптической осью камеры и вертикалью, вертикальный угол обзора, высота установки, цена. Среди них постоянными являются: эффективная дальность наблюдения, горизонтальный угол обзора, вертикальный угол обзора, высота установки, цена. Остальные – непостоянные.

Горизонтальный и вертикальный углы поворота камеры могут принимать значения из диапазона  $(0, 360)$  и  $(0, 90)$  соответственно. При этом рассматриваются все возможные комбинации (рис. 1).



Рис. 1. Горизонтальный и вертикальный углы обзора камеры

В зависимости от угла между оптической осью камеры и вертикалью  $\beta$  под камерой образуется мертвая зона и меняется эффективная дальность наблюдения (рис. 2) [7].

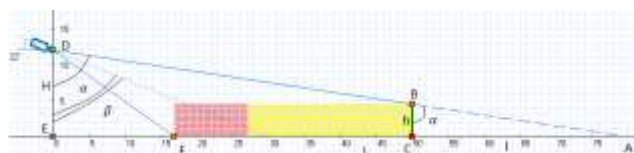


Рис. 2. Зоны камеры в вертикальной плоскости

#### 1.2. ОБЛАСТИ

Области, рассматриваемые в работе, могут представлять собой либо некие помещения, либо городские кварталы (рис. 3). Для помещений решается задача идентификации, для кварталов задача наблюдения.

Таблица 1

Помещения		
№ помещения	Размеры (м×м)	Интервал между точками (м)
1	4.2×2.5	0.5
2	4.2×3	0.5
3	8×5	0.5

Таблица 2

Кварталы		
№ квартала	Размеры (м×м)	Интервал между точками (м)
1	130×145	5
2	170×130	4,5
3	180×130	4,5
4	280×120	7
5	120×130	4

### 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Область  $G$  разбивается на равные квадраты. Центры получившихся квадратов, не лежащие внутри препятствий, считаются

точками, которые требуют покрытия видеонаблюдением. Пронумеруем все эти точки, пусть всего точек  $K$ .

В зонах, которые являются местами установки камер через равные промежутки размещаются точки установки камер. Пусть число этих точек равно  $L$ . В каждой точке установки камер в рамках решаемой задачи могут размещаться камеры разных типов и может присутствовать ограничение, что в одной точке может быть размещена только одна камера. Эти точки также пронумеруем и введем переменную  $\bar{l} \in \{1 \dots L\}$ , которая будет обозначать номер точки установки камеры (рис. 3).

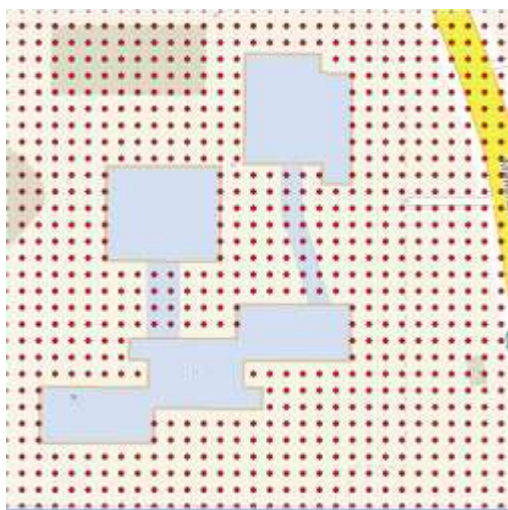


Рис. 3. Расстановка точек в квартале

Пусть  $\alpha \in (0, \dots, 2\pi)$  – шаг на который отстоят друг от друга варианты установки камеры по горизонтали. Обозначим за  $\bar{\varphi} = \{0, \alpha, 2\alpha, \dots, 2\pi\}$ , где  $\bar{\varphi}$  – множество возможных вариантов установки камеры в горизонтальной плоскости.

Пусть  $\gamma \in (0, \dots, 2/\pi)$  – шаг на который отстоят друг от друга варианты установки камеры по вертикали. Обозначим за  $\bar{\beta} = \{0, \gamma, 2\gamma, \dots, 2/\pi\}$ , где  $\bar{\beta}$  – множество возможных вариантов установки камеры в вертикальной плоскости.

Пронумеруем все типы камер, принимающих участие в решении. Пусть всего типов камер  $T$ . Обозначим  $\bar{t} \in \{1 \dots T\}$ .

Введем переменную  $z_{lt}^{\varphi\beta}$  (1)

$$\begin{aligned} z_{lt}^{\varphi\beta} \in \{0,1\}, l \in \bar{l}, \varphi \in \bar{\varphi}, \\ \beta \in \bar{\beta}, t \in \bar{t} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $z_{lt}^{\varphi\beta} = 1$  означает, что в точке  $l$  установлена камера типа  $t$ , с горизонтальным углом  $\varphi$  и вертикальным  $\beta$ .

Введем также функцию  $F(k, l, \varphi, \beta, t) \in \{0, 1\}, k = \bar{1} \dots K$ , которая принимает значение 1, если камера, установленная в точке  $l$ , типа  $t$ , с горизонтальным углом  $\varphi$  и вертикальным углом  $\beta$  «видит» точку с номером  $k$  и соответственно принимает значение 0, если «не видит».

Считается, что камера видит точку, если выполняются следующие условия:

Расстояние от точки  $l$  до точки  $k$  больше мертвой зоны камеры и меньше предельной дистанции наблюдения;

Угол, который образует прямая проведенная из точки  $l$  в точку  $k$  больше угла установки камеры и меньше суммы угла установки и горизонтального угла обзора (рис. 4).

Задача заключается в том, чтобы покрыть все точки видеонаблюдением и минимизировать либо количество камер, либо их стоимость.

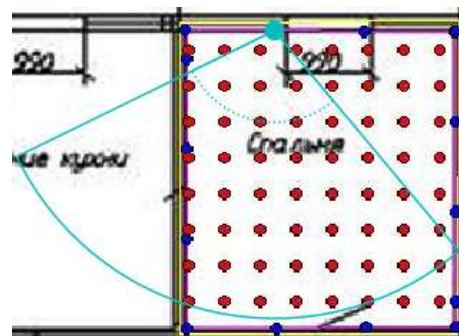


Рис. 4. Представление покрытия камеры. Пунктирной линией помечена мертвая зона

Задача оптимального покрытия всех точек видеонаблюдением может быть сформулирована в виде задачи целочисленного линейного программирования [8].

## 2.1. УСЛОВИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ

Сначала осуществляется проверка того, что для каждой точки области  $G$  существует такое размещение камеры, что в ее поле зрения попадает эта точка. То есть должно выполняться (2)

$$\begin{aligned} \forall k \in \{1, \dots, K\}, \\ \exists l \in \{1 \dots L\}, \\ \exists t \in \bar{t}, \\ \exists \varphi \in \bar{\varphi}, \exists \beta \in \bar{\beta}, \\ F(k, l, \varphi, \beta, t) = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Если есть такие точки, то задача может быть успешно решена, если их нет, то успешное решение невозможно. В таком случае требуется либо добавить зоны размещения камер, либо ввести в рассмотрение камеры с иными характеристиками.

## 2.2. УСЛОВИЕ ПОКРЫТИЯ КАЖДОЙ ТОЧКИ

Каждая точка должна быть покрыта хотя бы одной камерой (3):

$$\sum_{l \in \bar{l}} \sum_{t \in \bar{t}} \sum_{\varphi \in \bar{\varphi}} \sum_{\beta \in \bar{\beta}} z_{lt}^{\varphi\beta} \geq 1 \quad (3)$$

$$\text{и } F(k, l, \varphi, \beta, t) = 1, \forall k = \overline{1 \dots K}$$

Комбинации  $k, l, \varphi, \beta, t$ , такие что  $F(k, l, \varphi, \beta, t) = 0$  исключаются из рассмотрения.

## 2.3. ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Целевая функция сводится к минимизации количества камер (4):

$$\sum_{l \in \bar{l}} \sum_{t \in \bar{t}} \sum_{\varphi \in \bar{\varphi}} \sum_{\beta \in \bar{\beta}} z_{lt}^{\varphi\beta} \rightarrow \min \quad (4)$$

Общее число переменных в модели:  $L * |\bar{\varphi}| * |\bar{\beta}|$ , неравенств –  $k$ .

Для решения этой задачи была написана программа на языке Python 3.6, которая реализует данную модель с использованием библиотеки IBM® ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 [9–11].

## 3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве тестового примера был рассмотрен фрагмент карты города Уфа из программы 2gis и небольшого помещения. При решении задачи использовались характеристики камер HiWatch DS-I450 (1 тип) и Dahua DH-IPC-HFW1230SP-0280B (2 тип). Эти камеры были выбраны из-за предоставления производителями их характеристик, в том числе эффективных дальностей наблюдения для идентификации, обнаружения, наблюдения. Кроме того, камера HiWatch имеет узкий угол обзора, но относительно большую дальность, в то время как камера Dahua имеет широкий горизонтальный обзор, но низкую дальность, что позволяет

решать задачи покрытия за счет комбинации этих камер.

Таблица 3

Характеристики камер

Камера	Стоимость (руб)	Дальность наблюдения (м)	Дистанция идентификации (м)	Угол горизонтального обзора (град)	Угол вертикального обзора (град)
1 типа	8800	80	10	51	28
2 типа	7200	30	4	104	55

В первом эксперименте установка более одной камеры в точках  $l = \overline{1 \dots L}$  была запрещена.

В случае решения задачи в небольшом помещении высота установки камеры принимается как 2 метра, при решении задачи на фрагменте карты как 5 метров.

В обоих случаях шаг угла установки камеры по горизонтали составлял 10 градусов, по вертикали – 5 градусов.

## 3.1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ В ПОМЕЩЕНИИ

Таблица 4

Задачи идентификации в помещениях

№ задачи	Количество точек	Количество точек установки камер	Наличие препятствий
1	54	26	Нет
2	48	26	Да
3	117	38	Нет
4	111	38	Да
5	187	46	Нет
6	175	46	Да

Таблица 5

Результаты идентификации в помещениях

№ задачи	Количество точек	Количество точек установки камер	Наличие препятствий
1	54	26	Нет
2	48	26	Да
3	117	38	Нет
4	111	38	Да
5	187	46	Нет
6	175	46	Да

## 3.2. НАБЛЮДЕНИЕ В ГОРОДСКОМ КВАРТАЛЕ

Таблица 6

## Задачи наблюдения в городских кварталах

№ задачи	Количество точек	Количество точек установки камер	Наличие препятствий
7	634	96	Да
8	997	165	Да
9	1004	166	Да
10	688	100	Да
11	791	105	Да

Таблица 7

## Результаты в городских кварталах

№ задачи	Камер 1-го типа	Камер 2-го типа	Суммарная стоимость (руб)	Затраченное время (сек)
1	0	2	14400	21.90
2	0	3	21600	13.80
3	2	1	24800	67.42
4	0	5	36000	51.17
5	2	0	17600	139.94
6	2	4	46400	83.21



Рис. 5. Решение задачи №11. В решении использованы камеры обоих типов

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

С ростом количества точек, расположенных на области, растет и сложность задачи. Однако сравнение экспериментов 10 и 11 показывает, что дело не только в этом. Предположительно причиной этого может быть немного необычные формы здания, на котором располагались камер в эксперименте. Из-за этого формируемые для точек

множества камер, которые их видят получились меньше, чем в эксперименте 10, что привело к ускорению работы программы на этапе задания ограничений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена задача оптимального размещения камер видеонаблюдения. Были описаны предлагаемые для использования алгоритмы. Были решены задачи оптимального размещения видеокamer для участка карты и плана помещения.

Так же в ходе работы были определены предельные количества точек, требующих покрытия видеонаблюдением и точек установки камер, для которых решение задачи укладывается в приемлемое время. Этими значениями являются ~1000 точек и ~200 мест установки камер. Свыше этих значений более целесообразным представляется разбиение объекта на несколько менее крупных и решение задачи по частям. Другой подход к снижению затрачиваемого времени заключается в снижении точности при решении задачи.

## 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. Design basics, (in Russian), – SPb.: ITMO University, 2015].
2. **Гузаиров М.Б.** Технические средства защиты: Учеб. пособие /М. Б. Гузаиров; Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2005. [M. B. Guzairov Technical means of protection: Textbook. manual /M. B. Guzairov, (in Russian), Ufa . State aviation center . Techn. UN-T.-Ufa: UGATU, 2005]
3. **Долотин А. И., Рыбаков И. М.** Анализ рынка видеокamer для систем охранного телевидения [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rynka-videokamer-dlya-sistem-ohrannogo-televideniya> (дата обращения: 10.05.2019). [A. I. Dolotin, I. M. Rybakov “analysis of the market of video cameras for closed circuit television systems” [Online], (in Russian), Available [https:// cyberleninka.ru/article/n/analiz-rynka-videokamer-dlya-sistem-ohrannogo-televideniya](https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rynka-videokamer-dlya-sistem-ohrannogo-televideniya)]
4. **ГОСТ Р 51558-2014** Средства и системы охраняемые телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний [GOST R 51558-2014 Means and systems the security television. Classification. General technical requirements. Test method (in Russian)]
5. Постановление Правительства РФ от 25 марта 2015 г. № 272 «Об утверждении требований к антитеррористической защищенности мест массового пребывания людей и объектов (территорий), подлежащих обязатель-

ной охране войсками национальной гвардии Российской Федерации, и форм паспортов безопасности таких мест и объектов (территорий)» [Resolution of the Government of the Russian Federation of March 25, 2015 No. 272 " on approval of requirements for anti-terrorist protection of places of mass stay of people and objects ( territories ) subject to mandatory protection by the national guard of the Russian Federation, and forms of security passports of such places and objects ( territories)»,(in Russian)]

6. **JVSG:CCTV Design Software** [Электронный ресурс], URL: <http://www.jvsg.com/ru/>; (дата обращения 8.05.2019). [JVSG:CCTV Design Software [Online], Available: <http://www.jvsg.com/ru/>]

7. **В. И. Воловач**. Определение основных параметров зоны контроля видеокамеры системы видеоконтроля. Электротехнические и информационные комплексы и системы № 2, т. 8, 2012 г [V. I. Volovich. Determination of the main parameters of the control zone of the video camera of the video control system. Electrotechnical and information complexes and systems no. 2, vol. 8, 2012 (in Russian)]

8. **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 flat geometric objects in the form of polyominoes. UGATU Bulletin, [S. I.], V. 22, n. 2 (80), p. 131-137, June 2018. ISSN 1992-6502. (in Russian)]

9. **Python 3.7.3 documentation**. [Электронный ресурс], URL: <https://docs.python.org/3/>; (дата обращения 7.04.2019).

10. **Tutorial: Linear Programming, (CPLEX Part 1)** [Электронный ресурс], URL: [https://ibmdecisionoptimization.github.io/tutorials/html/Linear\\_Programming.html](https://ibmdecisionoptimization.github.io/tutorials/html/Linear_Programming.html); (дата обращения 28.03.2019).

11. **Tutorial: Beyond Linear Programming, (CPLEX Part 2)** [Электронный ресурс], URL: [https://github.com/IBMDecisionOptimization/docplex-examples/blob/master /examples/mp/jupyter/tutorials/ Beyond\\_Linear\\_Programming.ipynb](https://github.com/IBMDecisionOptimization/docplex-examples/blob/master/examples/mp/jupyter/tutorials/Beyond_Linear_Programming.ipynb); (дата обращения 1.04.2019).

#### 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.

#### METADATA

**Title:** Optimizing the placement of video cameras

**Authors:** V. M. Kartak <sup>1</sup>, N. M. Bashmakov <sup>2</sup>

#### Affiliation

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> KVmail@mail.ru, <sup>2</sup> nail.bashmakov@gmail.com

**Language:** Russian

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 85-90, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** In this paper we consider the problem of optimizing the placement of cameras. Linear programming methods were used to select the optimal number of cameras, their placement and orientation. The resulting mathematical model is implemented in Python using the Cplex package. Computational experiments have confirmed the effectiveness of the method in solving the problem of optimal placement of cameras. As a result of research the method simplifying placement of cameras is offered.

**Key words:** Video cameras, optimization, placement, linear programming, video surveillance, optimal placement.

#### About authors:

**KARTAK, Vadim Michailovich**, Head of the Department of Computer engineering and information security, Certified software engineer (USATU, 1995). Doctor of physico-mathematical Sciences, 05.13.01 (UGATU, 2012). Research in the field of discrete optimization.

**BASHMAKOV, Nail Maratovich**, A student of USATU.