

УДК 004.93'1

DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-192-197

## ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ КАМЕР В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ \*

**Р. Р. Галимов**, кандидат технических наук, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия  
**А. Ю. Кручинин**, кандидат технических наук, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

*Актуальность темы определяется широким развитием распределенных систем видеонаблюдения, характеризующихся большим количеством видеокамер, расположенных на большой территории. Эффективность распределенных систем видеонаблюдения зависит от множества факторов, таких как используемые алгоритмы распознавания, технические характеристики камер и средств обработки данных. Кроме того, качество системы видеонаблюдения во многом зависит от топологии размещения видеокамер. Целевая функция минимизирует количество камер, обеспечивая при этом необходимый уровень достоверности распознавания событий. Считается, что качество распознавания в основном зависит от пространственного разрешения распознанного объекта на видеокадре. Этот параметр определяется техническими характеристиками камеры и расстоянием до распознанного объекта. При пересечении поля зрения нескольких камер и возможности комбинирования их результатов увеличивается оценка достоверности распознавания объектов. Таким образом, при размещении камер в контролируемой зоне необходимо учитывать множество параметров: координаты, углы обзора, области пересечения поля зрения камер. Данная задача характеризуется высокой вычислительной сложностью. Поэтому для получения результата за приемлемое время предложен алгоритм оптимизации топологии на основе метода роя частиц. Представленный подход к оптимизации топологии размещения камер сократит время проектирования системы видеонаблюдения.*

**Ключевые слова:** распределенная система видеонаблюдения, метод роя частиц, топология размещения видеокамер.

### Введение

Развитие средств вычислительной техники приводит к распространению распределенных систем видеонаблюдения (РСВ), осуществляющих мониторинг большой территории. Несмотря на относительно невысокую стоимость камер видеонаблюдения, их большое количество в РСВ определяет актуальность задачи оптимального расположения видеокамер в контролируемой зоне. В качестве критериев оценки качества топологии размещения камер обычно рассматриваются стоимостные затраты и качество получаемых видеоданных.

Необходимо отметить, что на рынке представлено множество программных средств для проектирования систем видеонаблюдения: VideoCad, IP Video System Design Tool и др. Данные программные средства позволяют рассчитать зоны обзора камер, провести трехмерное моделирование, определить стоимость проекта [1, 2]. Но в них не реализована функция автоматизированного определения размещения камер.

Вопросам оптимизации топологии размещения камер посвящено множество работ. В част-

ности, в работе [3] предлагается эвристический алгоритм и программа для оптимизации камер, область обзора которых рассматривается как треугольники. В работе [4] рассматривается подход к оптимизации топологии системы видеонаблюдения на основе эволюционного алгоритма. Несмотря на достоинства данных работ, в них не учтены возможности взаимодействия камер видеонаблюдения для совместного получения результата.

Целью настоящей работы является минимизация стоимостных затрат на построение распределенной системы видеонаблюдения при обеспечении требуемого уровня достоверности распознавания в контролируемой зоне.

### Алгоритм оптимизации топологии размещения камер

Затраты на распределенную систему видеонаблюдения (РСВ) во много определяются количеством камер  $N$ . Основным требованием является необходимость контролировать зону безопасности  $S$ , обеспечивая требуемую оценку достоверности распознавания объектов.

Вероятность распознавания объекта зависит от пространственного разрешения камеры.

В частности, в работе [5] выделяют три зоны в области видимости камеры с учетом пространственного разрешения, позволяющие идентифицировать человека при расстоянии объекта до камеры не более половины фокусного расстояния; распознавать человека возможно при расстоянии объекта до камеры не более фокусного расстояния; только обнаружить объект при расстояниях, больших фокусного расстояния камеры. На рис. 1 представлена обобщенная схема обзора камеры. Зоны, которые обеспечивают распознавание объектов с высокой достоверностью, зависят от расположения камеры в пространстве и размеров распознаваемых объектов. В вертикальной проекции обзора камеры распознаваемый объект должен попадать полностью. Угол наклона камеры по вертикали и высота детектируемого объекта  $H_0$  во многом определяют максимальное расстояние обзора камеры.

Таким образом, оценка вероятности распознавания объекта  $i$ -й камерой в  $j$ -й точке обобщенно выражается следующей формулой:

$$d_{i,j} = (r_{i,j}, v_i), \quad (1)$$

где  $r_{i,j}$  – расстояние от  $i$ -й камеры до  $j$ -й точки контролируемой зоны;  $v_i$  – характеристики камеры видеонаблюдения, включающие углы обзора, разрешение матрицы и фокусное расстояние.

Для систем видеонаблюдения, выполняющих процесс распознавания в автоматическом режиме, необходимо определить оптимальное расположение камер, при котором обеспечивается достаточное качество видеоданных для требуемого уровня вероятности успешного распознавания объектов [6, 7]. В связи с этим основным

критерием эффективности проектного решения системы видеонаблюдения является максимизация областей контролируемой зоны с требуемым уровнем пространственного разрешения.

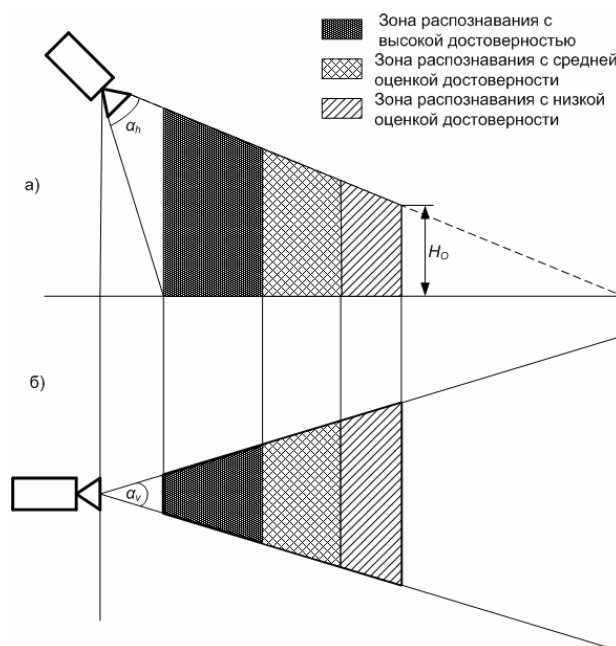


Рис. 1. Схема обзора камеры видеонаблюдения: а – профильная проекция; б – горизонтальная проекция

В РСВ возможно организовать взаимодействие камер для повышения достоверности распознавания и балансировки нагрузки при использовании многоагентной архитектуры [8, 9]. В случае пересечения зоны нескольких камер видеонаблюдения оценка достоверности распознавания объекта повышается за счет совмещения результатов нескольких камер. Возможная схема расположения камер представлена на рис. 2.

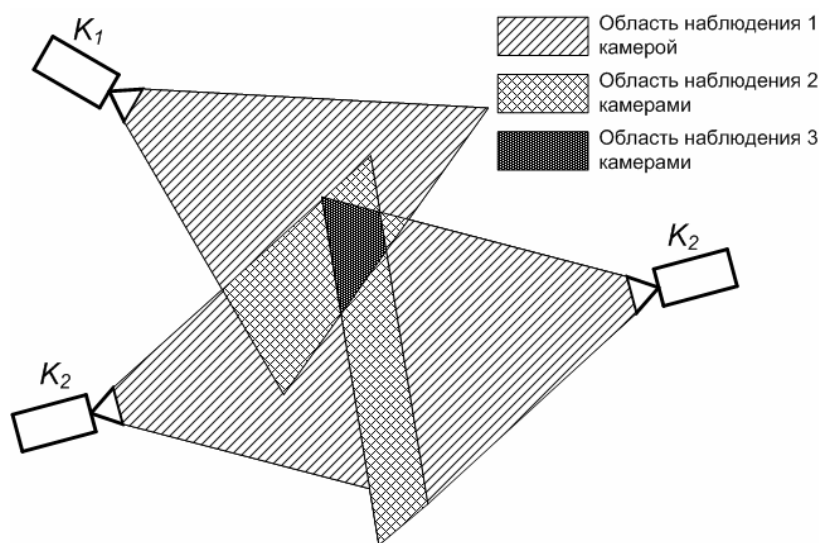


Рис. 2. Схема зон обзора нескольких камер

Достоверность совместного распознавания образа несколькими камерами в  $j$ -й области оценивается следующим выражением:

$$d_{\Sigma i} = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - d_{i,j}), \quad (2)$$

где  $d_{i,j}$  – оценка достоверности распознавания объекта в  $i$ -й камерой в  $j$ -й точке области контроля;  $N$  – количество камер в системе.

Таким образом, целевую функцию оптимизации расположения камер видеонаблюдения можно представить как минимизацию стоимостных затрат:

$$Z = F(T) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$C \geq C_{\text{тр}}, \quad (4)$$

$$d_{\Sigma j} \geq d_{j\text{тр}}, \quad j \in S, \quad (5)$$

где  $T$  – параметры топологии размещения камер видеонаблюдения;  $C$  и  $C_{\text{тр}}$  – текущее и требуемое значения доли от общего числа точек контролируемой зоны, для которых выполняется условие (5);  $d_{j\text{тр}}$  – требуемое значение оценки достоверности распознавания образов в  $j$ -й точке области  $S$ .

Топология размещения камер системы видеонаблюдения в данной работе определяется следующим выражением:

$$T = \langle N, K \rangle, \quad K = \{k_1, k_2 \dots k_N\}, \quad (6)$$

$$k_i = \langle \text{coord}_i, \alpha_i, \beta_i \rangle,$$

где  $N$  – количество камер видеонаблюдения;  $K$  – множество параметров камер;  $\text{coord}_i$  – координаты  $i$ -й камеры;  $\alpha_i, \beta_i$  – углы поворота камеры по вертикали и горизонтали.

В связи с большим количеством параметров топологии, которые нужно учитывать для оптимизации, то данная задача относится к классу  $NP$ -сложных. Для достижения приемлемых результатов за заданный интервал времени могут быть использованы эволюционные методы оптимизации [10], такие как генетические алгоритмы, методы роевых частиц. Для реализации данных типов алгоритмов необходимо определить функцию оценки близости текущего решения к глобальному оптимуму. В качестве данной функции в данной работе используется следующее выражение:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^L f_e(d_{\Sigma i}, d_{\text{тр}})}{L}, \quad (7)$$

где  $f_e$  – функция оценки соответствия текущей вероятностной оценки достоверности распознавания объекта в  $i$ -й позиции требуемой;  $L$  – количество точек контролируемой зоны. Фактически критерий  $C$  оценивает долю точек контролируемой зоны, где оценка вероятности распознавания близка требуемому уровню. При этом функция  $f_e$  представляет собой весовой коэффициент каждой точки в диапазоне от 0 до 1.

Обобщенно график функции  $f_e$  представлен на рис. 3, на котором можно выделить 3 области: текущая оценка достоверности меньше  $d_{i,\text{min}}$ , текущая оценка достоверности находится в диапазоне  $d_{i,\text{min}} \dots d_{i,\text{max}}$ ; текущая оценка достоверности находится больше значения  $d_{i,\text{max}}$ . Таким образом, при приближении значения текущей оценки достоверности распознавания к требуемому уровню значение функции значительно увеличивается. При превышении требуемой оценки достоверности распознавании для систем, предусматривающих взаимодействие камер, весовой коэффициент уменьшается. Это сделано для того, чтобы предотвратить преобладание областей с высокой оценкой вероятности распознавания объектов в ущерб другим, где данная величина значительно меньше.

В данной работе для оптимизации топологии размещения камер предлагается использовать метод роя частиц, представляющий собой эффективный вид стохастического поиска решений для многомерных задач. Для данного метода  $i$ -е решение на итерации  $t$  определяется следующим выражением:

$$X_{i,t} = \{x_{i,t,1}, \dots, x_{i,t,L}\}, \quad L = 5N, \quad (7)$$

где  $x_{i,t,1}, \dots, x_{i,t,L}$  – параметры камер. Каждые 5 значений определяют параметры одной камеры: координаты в трех измерениях и углы поворота камеры.

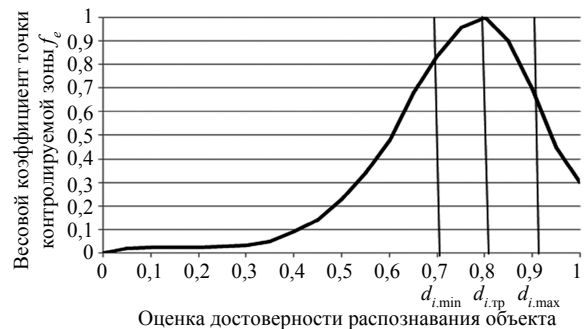


Рис. 3. График зависимости весового коэффициента от достоверности распознавания требуемому уровню

Обобщенный алгоритм поиска оптимального размещения камер РСВ представлен на рис. 4. Входными данными алгоритма являются: требуемые уровень качества решения  $C_{тр}$  и оценка достоверности распознавания объектов  $D_{тр}$ . Величины  $N_X$  и  $M$  определяют количества генерируемых решений на начальном шаге и итераций при поиске решения. В алгоритме предусмотрено два цикла: внешний последовательно увеличивает число необходимых камер для контроля зоны, пока не будет обеспечено условие (4); во внутреннем осуществляется нахождение оптимального решения методом роя частиц для текущего количества камер видеонаблюдения  $N$ . Внутренний цикл завершается, если последние  $M$  итераций не привели к улучшению результата. Исходим из того, что отсутствие улучшения

качества решения на данном количестве определяет высокую вероятность нахождения оптимального решения. При генерации начального решения  $X_{i,1}$  используются случайные значения с учетом минимальных и максимальных значений параметров.

На основе данного алгоритма была разработана программа для определения топологии РСВ, учитывающая при поиске решения только координаты камер и угол поворота по горизонтали. Программа осуществляет поиск решения в двух режимах: для многоагентной и централизованной архитектур. В первом случае оценка достоверности распознавания объекта в  $j$ -й точке определяется формулой (2), а во втором – следующим выражением:

$$d_{\Sigma j} = \max_{i=1...N} d_{i,j}. \tag{8}$$

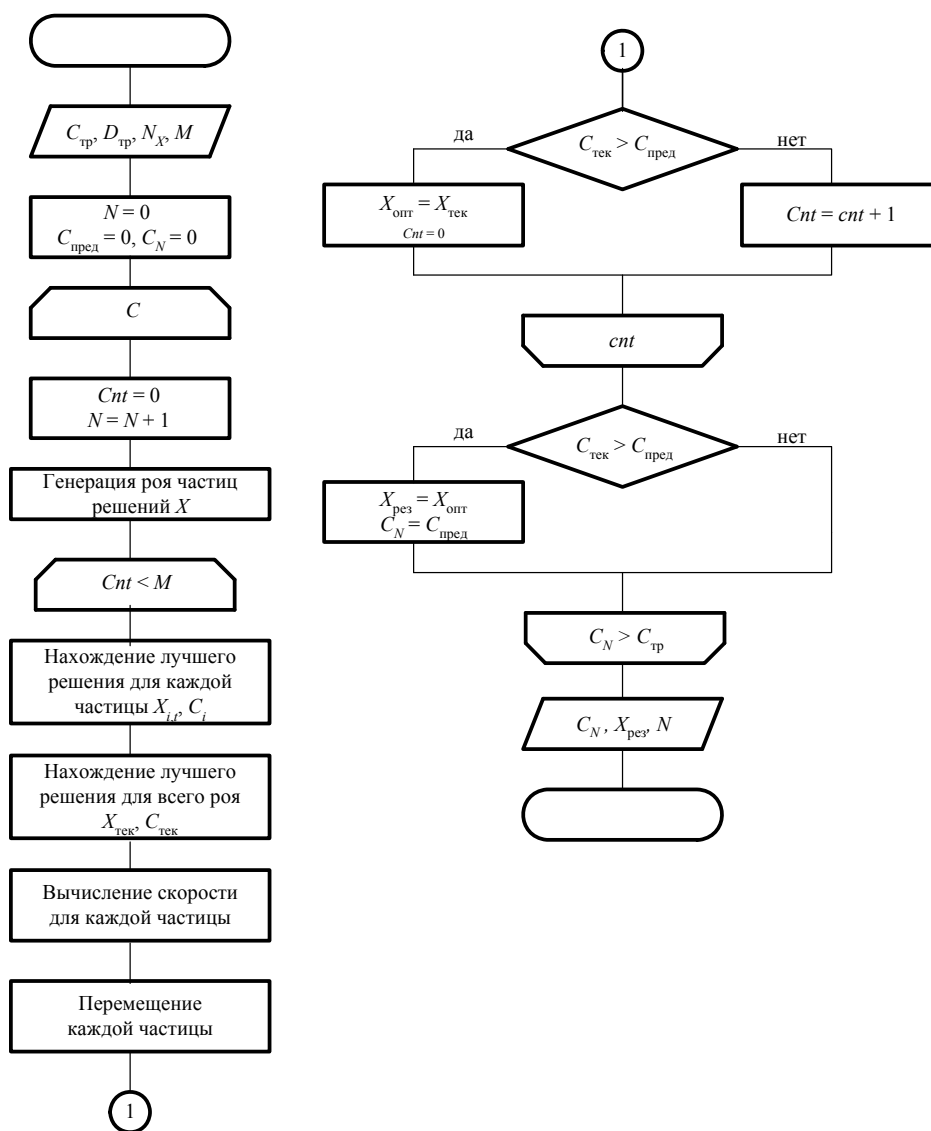


Рис. 4. Схема обобщенного алгоритма оптимизации топологии размещения камер видеонаблюдения

### Анализ результатов

На рис. 5 представлены результаты вычислительного эксперимента по определению топологии камер. В качестве контролируемой зоны выбран квадрат размерами 400×400. Область видимости камеры упрощенно представлено в виде треугольника с углом обзора 65°, длина стороны от точки размещения камеры до края внешней зоны составляет 250, соотношение

длин сторон трех зон составляет следующие значения: 0,5, 0,33 и 0,27. Оценки достоверности распознавания объекта в области соответствующих зон одной камеры были определены следующие: 0,7, 0,48 и 0,33, требуемые значения качества решения и уровня оценки достоверности распознавания – соответственно, равными 0,6 и 0,7.

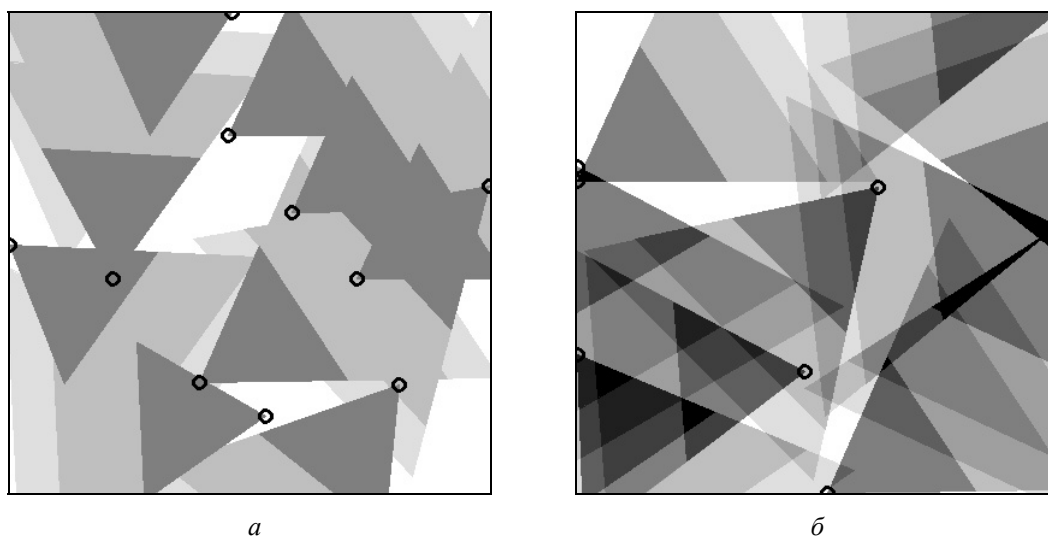


Рис. 5. Схема размещения камер для РСВ: а – с централизованной архитектурой; б – с многоагентной архитектурой

В результате работы программы для многоагентной архитектуры заданные требования удалось достичь при количестве камер, равным 10, а для централизованной – при 13. На рисунке 5, а представлен результат размещения 10 камер для централизованной архитектуры, для которого величина  $C$  составляет 0,45. Результаты показывают, что применение многоагентной архитектуры позволяет уменьшить количества камер видеонаблюдения.

Расчеты производились на ноутбуке с процессором i3-2350M с частотой 2.3 ГГц. Расчеты для диапазона камер от 5 до 13 камер в среднем осуществлялись за 15 минут. При этом на каждой итерации метода роя частиц рассматривались 100 решений.

### Выводы

Таким образом, предложенный алгоритм может быть использован для оптимизации топологии размещения видеокамер РСВ по критерию минимальных стоимостных затрат с учетом возможности взаимодействия узлов системы. При этом временные затраты на проведение вычислений находятся в приемлемом уровне. В дальнейшем предполагается добавить в модель оптимизации наличие запрещенных мест для размещения камер.

### Библиографические ссылки

1. Шумейко М. Классификация инструментов для проектировщиков систем видеонаблюдения // Алгоритм безопасности. 2013. № 1. С. 14–17.
2. Расчет системы видеонаблюдения. URL: <http://www.jvsg.com/download/raschet-videonabludenia.pdf> (дата обращения: 13.11.2017).
3. Локтев А. А., Алфимцев А. Н., Локтев Д. А. Алгоритм размещения видеокамер и его программная реализация // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 167–174.
4. Reddy K. K. and Conci N. [Global and local coverage maximization in multi-camera networks by stochastic optimization]. *Info-Communications Journal*, 2013, no. 1, pp. 1-8.
5. Окунев А. Фокусное расстояние камеры видеонаблюдения. URL: <https://systemstv.ru/fokusnoe-rasstoyanie-kamery-videonablyudeniya/> (дата обращения: 13.11.2017).
6. Озеров Е. И. Техническое задание на проектирование видеонаблюдения. Ч. 1. URL: <http://eozerov.ru/specification-on-cctv-part1/> (дата обращения: 13.11.2017).
7. Омелянчук А. М. Проектирование системы видеонаблюдения. URL: <http://www.bezopasnost.ru/about/articles/detail/38/1016/> (дата обращения: 13.11.2017).
8. Кручинин А. Ю., Галимов Р. Р. Особенности защиты объектов со сложной конфигурацией в распределенных системах видеонаблюдения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 9.

9. Кручинин А. Ю., Галимов Р. Р. Защита объектов со сложной конфигурацией на основе систем видеонаблюдения // Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий : материалы междунар. науч.-практ. конф. Сочи : СГУ, 2017.

10. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем : Конспект лекций / Е. С. Семенкин, М. Н. Жукова, В. Г. Жуков, И. А. Панфилов, В. В. Тынченко. Красноярск : СФУ, 2007. 310 с.

### References

1. Shumeyko M. [Classification of tools for designers of video surveillance systems]. *Algoritm bezopasnosti*, 2013, no. 1, pp. 14-17 (in Russ.).

2. *Raschet sistemy videonabljudeniya* [Calculation of the video surveillance system] (in Russ.). Available at <http://www.jvsg.com/download/raschet-videonabljudeniya.pdf> (accessed 11.11.2017).

3. Loktev A. A., Alfimtsev A. N., Loktev D. A. [Algorithm for the placement of video cameras and its software implementation]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 5, pp. 167-174 (in Russ.).

4. Reddy K. K. and Conci N. [Global and local coverage maximization in multi-camera networks by stochastic optimization]. *Info-Communications Journal*, 2013, no. 1, pp. 1-8.

5. Okunev A. *Fokusnoe rasstojanie kamery videonabljudeniya* [Focal length of the CCTV camera] (in Russ.).

Available at <https://systemstv.ru/fokusnoe-rasstoyanie-kamery-videonabljudeniya> (accessed 13.11.2017).

6. Ozerov E. I. *Tekhnicheskoe zadanie na proektirovanie videonabljudeniya. Chast' 1* [Technical task for video surveillance design. Part 1] (in Russ.). Available at <http://eozarov.ru/specification-on-cctv-part1> (accessed 13.11.2017/)

7. Omelyanchuk A. M. *Proektirovanie sistemy videonabljudeniya* [Designing a video surveillance system] [Electronic resource] (in Russ.). Available at <http://www.bezopasnost.ru/about/articles/detail/38/1016/> (accessed 13.11.2017).

8. Kruchinin A. Yu., Galimov R. R. [Features of protection of objects with a complex configuration in distributed video surveillance systems]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*, 2017, no. 9, pp. 64-69 (in Russ.).

9. Kruchinin A. Yu., Galimov R. R. (2017). *Zashchita obyektov so slozhnoy konfiguratsiyey na osnove sistem videonabljudeniya* [Protection of objects with complex configuration based on video surveillance systems]. Proc. International. scientific-practical. Conf "Aktualnyye zadachi matematicheskogo modelirovaniya i informatsionnykh tekhnologii". Sochi, SGU, 2017 (in Russ.).

10. Semenkin E. S., Zhukova M. N., Zhukov V. G., Panfilov I. A., Tynchenko V. V. *Evolyutsionnyye metody modelirovaniya i optimizatsii slozhnykh sistem*. [Evolutionary methods of modeling and optimization of complex systems]. Krasnoyarsk, SFU, 2007, 310 p. (in Russ.).

### Optimal Placement of Cameras in a Distributed Video Surveillance System

R. R. Galimov, PhD in Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia

A. Yu. Kruchinin, PhD in Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia

*The relevance of the topic is determined by the widespread development of distributed video surveillance systems characterized by a large number of video cameras and located on a large territory. The efficiency of distributed video surveillance systems depends on a variety of factors, such as the recognition algorithms used, the technical characteristics of cameras and data processing facilities. Also, the quality of the video surveillance system largely depends on the topology of the placement of video cameras. The objective function minimizes the number of cameras while providing the required level of veracity of event recognition. It is believed that the quality of recognition mainly depends on the spatial resolution of the recognized object on the video frame. This parameter is determined by the technical characteristics of the camera and the distance to the recognized object. When crossing the field of view of several cameras and the possibility of combining their results increases an estimation of veracity of object recognition. Thus, when locating cameras in a controlled area, it is necessary to take into account a number of parameters: coordinates, viewing angles, areas of intersection of the field of view of cameras. This problem is characterized by high computational complexity. Therefore, to obtain the result for an acceptable time, an algorithm for optimizing the topology based on the method of swarm particles is proposed. The presented approach to optimize camera placement topology will reduce the time of designing a video surveillance system.*

**Keywords:** distributed video surveillance system, particle swarm method, layout of video cameras.

Получено 23.01.2018