

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ COMPUTER SCIENCE

doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-5-927-934

УДК 681.772.7

Метод оптимизации параметров установки камеры для видеоконтроля зоны наблюдения произвольной формы

Владимир Владимирович Волхонский¹✉, Владислав Александрович Ковалевский²

^{1,2} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

¹ volkhonski@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>

² Kovalvlad9@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7042-7905>

Аннотация

Введение. Рассмотрена задача оптимизации выбора параметров установки видеокамеры, таких как место и углы обзора, наклона и поворота для повышения информативности формируемого видеосигнала. Актуальность темы обусловлена отсутствием методов и программ автоматизации процесса выбора этих параметров. Задача решена при условии достижения плотности пикселей, необходимой для решения поставленной задачи наблюдения. **Метод.** Разработанный метод оптимизации основан на предложенной модели представления зон обзора, наблюдения и расположения камер как дискретных множеств в соответствии с решаемой задачей наблюдения, определяющей минимально требуемую плотность пикселей с учетом выбранных критериев и ограничений. Получена возможность решения задачи программным способом в отличие от существующих решений, использующих эмпирические подходы. **Основные результаты.** Сформулированы основные и дополнительные критерии, а также ограничения, по которым можно осуществлять оптимизацию положения камеры относительно требуемой зоны наблюдения — решаемая задача наблюдения, минимально требуемое разрешение камеры и максимальная информативность формируемого изображения. Определены алгоритмы вычисления оценок ближней, дальней и боковых границ зоны обзора, позволяющие получить значения углов обзора, поворота и наклона. Обоснована адекватность предложенной модели реальным зонам наблюдения, обзора и расположения камер. Приведен пример решения задачи оптимизации, подтверждающий корректность использования предложенного метода. **Обсуждение.** Полученные результаты позволяют автоматизировать процесс проектирования и минимизировать влияние человеческого фактора при выборе места и параметров установки камер в процессе проектирования систем наблюдения. Результаты работы могут найти применение при разработке алгоритмов и программ автоматизированного проектирования систем наблюдения.

Ключевые слова

задача наблюдения, камера, видеокамера, зона обзора, зона наблюдения, установка камер, выбор места установки камеры

Ссылка для цитирования: Волхонский В.В., Ковалевский В.А. Метод оптимизации параметров установки камеры для видеоконтроля зоны наблюдения произвольной формы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 5. С. 927–934. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-5-927-934

Method for optimization of camera installation parameters for video monitoring of arbitrary surveillance zone

Vladimir V. Volkhonskiy¹✉, Vladislav A. Kovalevskiy²

^{1,2} ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

¹ volkhonski@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>

² Kovalvlad9@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7042-7905>

Abstract

The problem of optimizing the choice of parameters for installing a video camera, such as the location and viewing angles, tilt and pan to increase the information content of the generated video signal, is considered. The relevance of

the paper is due to the lack of methods and programs for automating the process of choosing these parameters. The problem is solved when the pixel density is reached, which is necessary for solving the task of observation. It is based on the proposed model for representing view areas, surveillance and camera locations as discrete sets in accordance with the observation task being solved, which determines the required minimum pixel density as well as selected criteria and restrictions. It gives the opportunity to solve the problem programmatically, unlike existing solutions that use empirical approaches. The main and additional criteria as well as limitations are formulated according to which it is possible to optimize the position of the camera relative to the required surveillance area — the observation task to be solved, the minimum required camera resolution and the maximum information content of the generated image. Algorithms for calculating estimates of the near, far and side boundaries of the view area as well as view angles, pan and tilt are formulated. The adequacy of the proposed model to real areas of observation, review and location of cameras is substantiated. An example of solving an optimization problem is given, which confirms the correctness of using the proposed method. The results obtained make it possible to automate the design process and minimize the influence of the human factor when choosing the location and installation parameters of cameras in the process of designing surveillance systems. The results of the work can be used in the development of algorithms and programs for computer-aided design of surveillance systems.

Keywords

surveillance task, camera, video camera, view area, surveillance area, camera installation, choice of camera location

For citation: Volkhonskiy V.V., Kovalevskiy V.A. Method for optimization of camera installation parameters for video monitoring of arbitrary surveillance zone. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 5, pp. 927–934 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-5-927-934

Введение

Одна из важных задач, возникающих в процессе разработки систем телевизионного наблюдения (СТВН), заключается в аргументированном выборе места расположения телевизионных камер (ТК). При достаточно большом количестве научных работ, как общего плана, так и рассматривающих частные вопросы, например [1–11], а также программ автоматизированного проектирования СТВН, проблемы автоматизации этого процесса практически не рассмотрены. Ряд работ, так или иначе связанных с оптимизацией параметров СТВН, посвящены или рассмотрению особенностей формирования изображения объектов наблюдения внутри зоны обзора, или анализу эмпирических вариантов расстановки камер [2–9]. В работах [10–15] представлена техническая реализация частных случаев установки камер и улучшения характеристик видеоизображения или оптимизации только одного параметра¹. Но в них не рассмотрены вопросы аргументированного выбора положения камеры относительно зоны обзора. Программы автоматизированного проектирования также не дают такой возможности. Так калькуляторы объективов, как более простые программы, позволяют выполнять функции, ограниченные, как правило, автоматизированным расчетом формы, размера и положения зоны обзора при задаваемых вручную высоте установки камеры, углах ее поворота, наклона и обзора.

При этом упомянутые функции формально никак не связаны с формой и размерами требуемой зоны наблюдения, как части объекта, подлежащей видеоконтролю. В качестве дополнительных параметров могут рассматриваться плотность пикселей и визуализироваться изображение человека в зоне обзора. Вторая группа программ дает возможность существенно расширить возможности автоматизированного проектирования, включая моделирование объекта наблюдения. В том

числе имитировать различные предметы, находящиеся в зоне обзора, конструктивные особенности зданий или помещений, в которых установлена камера, погодные условия и т. п.². Однако и эти программы лишены возможностей не только автоматического, но и автоматизированного выбора места расположения камеры относительно требуемой зоны наблюдения произвольной формы. Таким образом, проектировщик должен, основываясь на своем опыте и знаниях, выбрать самостоятельно место установки камеры на объекте. При этом в процессе выбора места расположения и других параметров установки камеры могут возникать существенные ошибки, связанные с некорректным выбором, не учитывающим те или иные особенности объекта или при недостаточной квалификации проектировщика. Исходя из этого, вопрос автоматизации и оптимизации упомянутого процесса не решается. А это, в свою очередь, приводит к снижению функциональных характеристик СТВН.

Нерешенность этой проблемы заключается в сложности автоматизации рассматриваемого этапа проектирования с оптимизацией параметров установки по тому или иному критерию, так как эта задача многокритериальная; используемые критерии накладывают противоречивые требования к параметрам установки камеры [1]; необходимо учитывать ряд ограничений решаемой задачи.

В связи с этим можно говорить об актуальности задачи автоматизации процесса выбора места установки камеры относительно требуемой зоны наблюдения. Для решения данной задачи необходимо сформулировать основные критерии и ограничения, а также предложить метод, позволяющий реализовать алгоритмы автоматизированного выбора места расположения камеры и границ требуемой зоны обзора, определяющих углы обзора, наклона и поворота. Решению этих вопросов и посвящена настоящая работа.

¹ Panomera cameras [Электронный ресурс]. <https://www.dallmeier.com/technology/panomera-cameras/> (дата обращения: 23.11.2022).

² IP VideoSystem Design [Электронный ресурс]. <https://www.jvsg.com/> (дата обращения: 15.03.2023).

Заметим, что вопросы оптимизации места расположения камеры непосредственно связаны с другим важным вопросом, оказывающим существенное влияние на качество формируемого изображения, который необходимо также учитывать и в рассматриваемой задаче — оптимизации распределения плотности пикселей по зоне обзора [12].

Модель системы наблюдения

Рассмотрим систему наблюдения, включающую контролируемый объект, зону обзора камеры и точку возможной установки камеры. Выберем за основу модель, предложенную в работе [12] — двумерное представление зон обзора, наблюдения и мест расположения камер.

Сформулируем критерии и ограничения решения поставленной задачи.

Критерии выбора основных параметров установки камеры подробно рассмотрены и сформулированы в работе [1]. Основным критерием, в значительной степени определяющим качество видеоизображения, является решение поставленной задачи наблюдения. Как известно обычно используют следующие типы задач: идентификация, распознавание, обзор или наблюдение, обнаружение и мониторинг. Выбор конкретной задачи определяет необходимую для ее решения плотность пикселей. Она, в свою очередь, является одним из трех необходимых параметров, определяющих разрешение камеры. Двумя другими являются угол обзора и максимальное расстояние до возможного места нахождения субъекта или объекта наблюдения, которые нужно определить в процессе проектирования на этапе выбора места установки ТК.

Существует также ряд *дополнительных критериев* [1], к которым можно отнести:

- 1) формирование требуемой зоны обзора (по форме, размеру и положению), соответствующей заданной зоне наблюдения;
- 2) максимальная информативность видеоизображения;
- 3) минимальная избыточность видеоизображения;
- 4) отсутствие не просматриваемых зон, в частности под камерами;
- 5) возможность наблюдения одних и тех же участков зоны с разных направлений (односторонний, двухсторонний или многосторонний обзор);
- 6) максимальная равномерность видеоизображений на разных дальностях;
- 7) минимизация искажений видеоизображения объектов наблюдения;
- 8) минимизация эффекта загораживания одних объектов наблюдения другими;
- 9) возможность взаимного визуального контроля камер;
- 10) защищенность телекамер;
- 11) отсутствие засветки телекамер (фоновой, точечной и т. п.).

Заметим, что многие из перечисленных критериев предъявляют противоречивые требования к параметрам установки камеры. Например, минимизация искаже-

ний формируемого изображения (критерий 7) требует уменьшения высоты установки, а необходимость уменьшить эффект загораживания одного объекта наблюдения другим (критерий 8) приводит к увеличению высоты установки [1].

Говоря об информативности формируемого видеоизображения, отметим, что для задач телевизионного наблюдения наиболее важная характеристика — степень детализации видеоизображения, характеризуемая плотностью пикселей. Существенная зависимость плотности пикселей от расстояния между камерой и субъектом или объектом наблюдения требует ее оптимизации для достижения требуемого уровня равномерности по зоне обзора. Подход к решению подобной задачи рассмотрен в работе [12]. Это, в свою очередь, дает возможность аргументированно снизить избыточность информативности формируемого изображения при сохранении гарантированной возможности решения заданной задачи наблюдения. Методика, позволяющая обеспечить необходимую равномерность плотности пикселей по различным критериям, также предложена в работе [12].

Второй основной характеристикой информативности формируемого видеоизображения можно считать коэффициент информативности [1], определяемый соотношением площади изображения, несущей полезную информацию, к его общей площади. Причина избыточности формируемого видеоизображения может заключаться в необоснованном превышении размеров зоны обзора по сравнению с требуемой зоной наблюдения. Это проблема может и должна решаться, прежде всего, корректным выбором места расположения камеры относительно зоны наблюдения, а также углов обзора, поворота и наклона с минимизацией неинформативной части зоны обзора.

Основное ограничение, непосредственно связанное с решаемой задачей, касается практической возможности установки камеры в том или ином месте. Также необходимо учитывать ряд ограничений, зависящих от особенностей объекта наблюдения или используемого оборудования, к примеру, на допустимые углы поворота и наклона камеры для корректной работы системы видеоаналитики или связанных с практической возможностью установки камеры в желаемом месте относительно зоны наблюдения. Так критерий 7 накладывает ограничение на допустимую высоту установки камеры, а критерии 5, 8 и 11 — на возможную направленность камер относительно зоны наблюдения.

Таким образом, в общем случае необходимо решать многокритериальную задачу оптимизации параметров установки (места и углов обзора, поворота и наклона относительно требуемой зоны наблюдения) по сформулированным критериям и ограничениям.

С общей точки зрения рассмотрим задачу, основываясь на следующем представлении: 1) о зоне наблюдения $Z_{\text{ЗН}}$ — пространстве возможного нахождения объекта или субъекта наблюдения; 2) о зоне обзора $Z_{\text{ЗО}}$ — пространстве формируемого видеоизображения; 3) об основном ограничении — пространстве возможного местонахождения камер $Z_{\text{ТК}}$. Пространство зоны обзора является дискретным в силу дискретности формируемого камерой видеоизображения. Пространство

зоны наблюдения также можно считать дискретным по причине того, что изображение этой зоны, формируемое камерой, по определению является дискретным. Пространство возможных мест установки может быть как дискретным $Z_{\text{ТК}}^{\text{Д}}$ (например, отдельные опоры), так и непрерывным $Z_{\text{ТК}}^{\text{Н}}$ (поверхность потолка или стены). Непрерывную часть пространства положений камеры представим дискретным подмножеством $Z_{\text{ТК}}$ возможных положений ТК с тем или иным шагом, зависящим от требуемой точности. В этой связи с точки зрения последующей реализации алгоритмов это подпространство также можно представить совокупностью точек возможной установки камеры, т. е. рассматривать как дискретное $Z_{\text{ТК}} = Z_{\text{ТК}}^{\text{Д}} \cup Z_{\text{ТК}}^{\text{Н}}$.

Все три рассматриваемых пространства опишем в виде совокупности дискретных множеств $Z_{\text{ЗН}}$, $Z_{\text{ЗО}}$ и $Z_{\text{ТК}}$, соответствующих требуемым зонам наблюдения и обзора, а также положения камер (рис. 1). В дальнейшем, говоря о зонах, будем оперировать понятиями дискретных множеств $Z_{\text{ЗН}}$, $Z_{\text{ЗО}}$ и $Z_{\text{ТК}}$, как составляющих пространственной модели системы зон «наблюдения-обзора-камер». При этом общее множество будет определено объединением перечисленных множеств $Z = Z_{\text{ТК}} \cup Z_{\text{ЗО}} \cup Z_{\text{ЗН}}$. Отметим, что, если множества $Z_{\text{ЗО}}$ и $Z_{\text{ЗН}}$ обязательно должны пересекаться, а также должно (по первым двум общим критериям) выполняться требование $Z_{\text{ЗО}} \cap Z_{\text{ЗН}} = Z_{\text{ЗН}}$, то множества $Z_{\text{ТК}}$ и $Z_{\text{ЗН}}$ могут быть как пересекающимися, так и не пересекающимися $Z_{\text{ЗО}} \Delta Z_{\text{ЗН}} = \emptyset$.

В случае взаимного расположения множеств камер и наблюдения, то они могут быть любыми — как пересекающимися полностью или частично (рис. 1), так и непересекающимися.

Рассмотрим аргументы в пользу адекватности предлагаемой модели системы зон наблюдения, обзора и камер моделируемой системе наблюдения. Для адекватности отдельных составляющих модели системы зон реальным частям контролируемого объекта, прежде всего, необходима достаточная точность соответствия реальных непрерывных зон (частей объекта) их дискретными моделями.

Непрерывная зона наблюдения соответствует дискретному множеству $Z_{\text{ЗН}}$. Это может достигаться высокой точностью соответствия зон наблюдения и обзора, поскольку точность их соответствия будет определяться количеством пикселей матрицы ТК. Учтем, что совре-

менные телекамеры имеют горизонтальное и вертикальное разрешения порядка 10^3 пикселей (например, 1080×720 и 1920×1280 для наиболее распространенных форматов HD). По этой причине ошибка представления непрерывной зоны наблюдения дискретной по дальности и по ширине будет составлять около 10^{-3} от максимального размера зоны обзора. Если этого недостаточно, то проблема легко решается выбором ТК с большим разрешением.

Дискретная зона обзора камеры соответствует дискретному множеству $Z_{\text{ЗО}}$. Это требование, учитывая дискретность формируемого видеоизображения, выполняется по определению. Заметим, что значения точности будут аналогичны значениям для непрерывной зоны.

Для дискретной части зоны возможных точек установки камер соответствие их дискретной модели (дискретному подмножеству $Z_{\text{ТК}}^{\text{Д}}$) обеспечивается практической точностью выбора возможного места установки камеры. Для непрерывной зоны $Z_{\text{ТК}}^{\text{Н}}$ мест установки есть возможность выбора с требуемой точностью необходимого количества элементов дискретного подмножества.

Вышесказанное свидетельствует об адекватности предлагаемой модели рассматриваемой системе зон.

Метод оптимизации

Рассмотрим в общем случае зону наблюдения произвольной формы (рис. 1), учитывая необходимость выполнения сформулированных критериев и ограничений. Для решения поставленной задачи выберем такие параметры установки камеры, как место установки, а также углы наклона, поворота и обзора.

Критерии и ограничения. Говоря о критериях и ограничениях, которые рассматривались в разделе «Модель системы наблюдения», в любом случае необходимо учесть основной критерий — достижение во всей зоне наблюдения плотности пикселей, необходимой для решения поставленной задачи наблюдения и выполнение ограничений на места установки камер, прежде всего, ограниченные зоной возможного расположения камер.

При этом из множества $Z_{\text{ТК}}$ необходимо выбрать место установки, удовлетворяющее кроме основного, также дополнительным критериям и ограничениям.

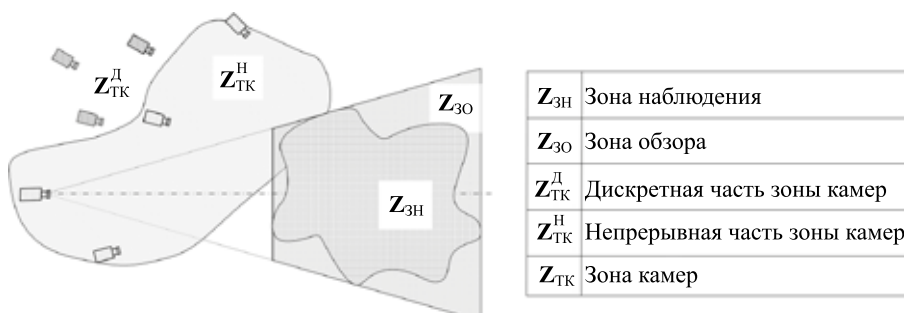


Рис. 1. Пространственная модель системы наблюдения

Fig. 1. Spatial model of the surveillance system

Наиболее важные дополнительные критерии для решаемой задачи: полное перекрытие требуемой зоны наблюдения зоной обзора камеры и максимальную информативность видеоизображения. Особенности выполнения дополнительных критериев проиллюстрированы на рис. 2, на котором изображены разные варианты соотношения множеств Z_{30} и Z_{3H} . Избыточность и частичная неинформативность Z_{30} объясняется, с одной стороны, необходимостью полного перекрытия требуемой зоны наблюдения зоной обзора $Z_{30} \cap Z_{3H} = Z_{3H}$ (рис. 2, *a, b*) и, желательно, их полного совпадения. Хотя реально практическая ситуация, когда имеет место полное соответствие формы зоны обзора форме зоны наблюдения встречается крайне редко. Некорректный вариант, показанный на рис. 2, *c*, не имеет смысла рассматривать, поскольку не выполняется первый критерий — необходимостью видеоконтроля всей требуемой зоны наблюдения.

Таким образом, множество зоны обзора всегда включает в себя множество зоны наблюдения и в любом из этих случаев информативным будет только пересечение $Z_{30} \cap Z_{3H}$ рассматриваемых множеств.

Отметим, что зоны наблюдения и установки камер, могут иметь любые варианты месторасположения (рис. 3, *a–c*), зависящие от конструктивных особенностей конкретного объекта.

Место установки. Задачу выбора параметров установки камеры (места расположения относительно зоны наблюдения и углов обзора, наклона и поворота) условно можно разделить на две составляющие. Первая — выбор места установки камеры, а вторая — выбор ее ориентации, т. е. углов наклона и поворота, а также обзора. На рис. 4 показаны различные положения ТК.

При выбранном месте установки угловые параметры будут определяться требуемыми границами зоны обзора, которые, в свою очередь, связаны с положением зоны наблюдения относительно камеры. Положение камеры можно достаточно просто выбрать перебором возможных положений в пределах заданной зоны расположения камер по тому или иному алгоритму с учетом выбранных критериев. Далее для решения рассматриваемой задачи необходимо сформулировать алгоритмы нахождения положения границ зоны обзора (дальней, ближней и угловых) относительно рассматриваемого положения камеры.

Оценка границ зоны обзора. Учтем, что зона наблюдения должна точно вписываться в угол обзора

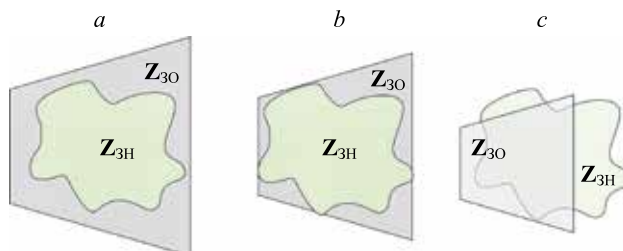


Рис. 2. Соотношение зон обзора и наблюдения: избыточное (*a*); рациональное (*b*); некорректное (*c*)

Fig. 2. The ratio of the areas of view and observation: redundant (*a*); rational (*b*); incorrect (*c*)

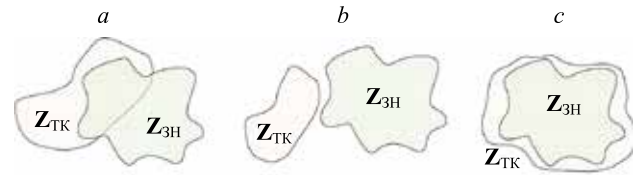


Рис. 3. Соотношение зон установки камер и наблюдения: частичное пересечение (*a*); не пересекающиеся (*b*); пересекающиеся (*c*)

Fig. 3. The ratio of the zones of installation of cameras and surveillance: partial intersection (*a*); not intersecting (*b*); intersecting (*c*)

камеры (рис. 4) при разных направлениях обзора и расстояниях. С точки зрения критерия максимальной информативности изображения, это соответствует минимуму не информативных частей, а в идеальном случае — их отсутствию $Z_{30} \Delta Z_{3H} = \emptyset$.

Представим совокупность элементов z_{ij} множества Z_{3H} на периметре произвольной зоны наблюдения как подмножество периметра Z^{Π} , состоящее из элементов $z_{ij} \in Z_{3H}$. Учитывая необходимость достижения требуемой плотности пикселей в дальней точке $z_{ij}^{\max}$ зоны обзора, следует определить положение этой дальней точки как элемента множества Z^{Π} . Оно будет определяться верхней гранью множества расстояний L от камеры до всех дискретных точек (пикселей) дальней части границы зоны наблюдения $\sup Z^{\Pi}$ (рис. 5, *a*). Эта же точка определит дальнюю границу зоны обзора камеры по поверхности или по высоте субъекта или объекта наблюдения. В свою очередь ближняя граница зоны обзора $z_{nm}^{\min}$ может быть определена как нижняя грань подмножества Z^{Π} периметра $\inf Z^{\Pi}$ (рис. 5, *a*).

Оценка углов обзора. Полученные значения $L_{ij}^{\max}$ и $L_{nm}^{\min}$ дальней и ближней границ зоны обзора при известной высоте установки позволяют непосредственно получить первую оценку $\hat{\alpha}_1$ требуемого угла обзора ТК в вертикальной плоскости. В горизонтальной плоскости расчетное значение угла обзора β_1^p может быть получено пересчетом из $\hat{\alpha}_1$ по соотношению сторон матрицы камеры $\beta_1^p = k\hat{\alpha}_1$ с коэффициентом $k = 16:9$ или $4:3$.

Для оценки боковых границ зоны обзора необходимо найти, соответственно, верхнюю $\Phi_{kl}^{\max} = \sup \Phi$ и нижнюю $\Phi_{rs}^{\min} = \inf \Phi$ грани множества углов Φ (рис. 5, *b*)

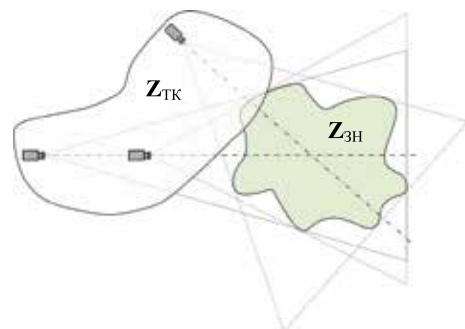


Рис. 4. Варианты ориентации камер с разными ракурсами
Fig. 4. Camera orientation options with different view angles

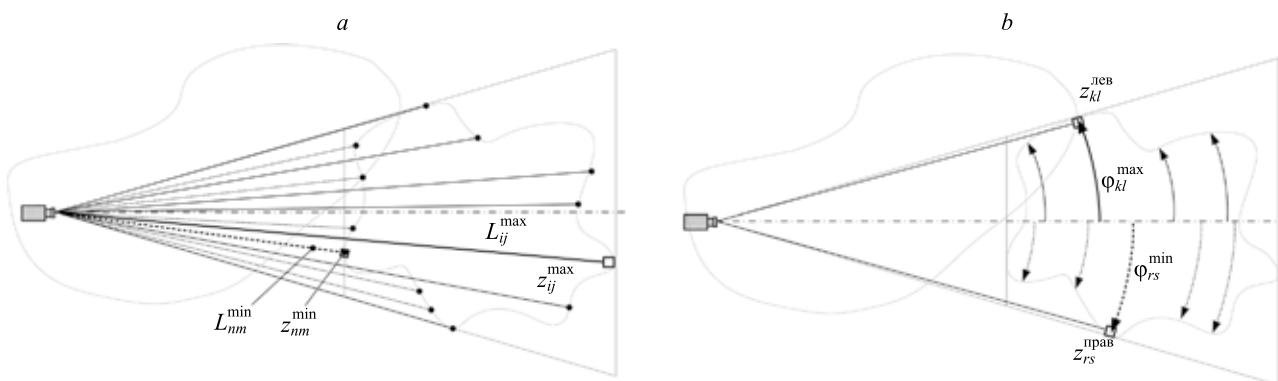


Рис. 5. Алгоритмы формирования оценки границ зоны обзора в вертикальной (а) и горизонтальной плоскостях (b)

Fig. 5. Algorithms for forming an estimate of view angles in the vertical (a) and horizontal planes (b)

между направлениями от камеры на зону наблюдения и на элемент подмножества z_{ij} (отсчет углов против часовой стрелки). Оценки углов, соответствующих левой и правой границам зон обзора в горизонтальной плоскости, будут определяться значениями верхней и нижней граней множества углов Φ . Вторая оценка β_2 требуемого угла обзора в горизонтальной плоскости будет равна $\beta_2 = \phi_{kl}^{\max} - \phi_{rs}^{\min}$. Аналогично первой оценке β_1 , расчетное значение α_2 определится как $\alpha_2 = \beta_2/k$.

Поскольку в общем случае первая и вторая оценки могут не совпадать, то необходимые углы обзора определяются по правилу $\alpha_0 = \max\{\hat{\alpha}_1, \alpha_2\}$ и $\beta_0 = \max\{\beta_1, \beta_2\}$ — из двух полученных оценок углов выбирается наибольшая. Эти углы точно соответствуют требуемым и в общем случае соответствуют формату матрицы камеры (рис. 6).

Так как полученные значения границ зоны обзора однозначно связаны с положением камеры, то по ним, кроме углов обзора, можно вычислить и такие параметры установки, как углы наклона и поворота.

Пример использования метода. На рис. 7 приведен пример задачи оптимизации выбора положения ТК с помощью предложенного метода для произвольной зоны наблюдения (например, акватории) с возможностью установки камеры в трех точках (как элементов множества $Z_{\text{ТК}}$, например на трех опорах, расположенных рядом с акваторией).

Для простоты расстояние от мест установки камеры до дальней границы зоны наблюдения выбраны оди-

наковые, что не влияет на полученный результат, но позволит упростить восприятие примера.

Основным критерием является обеспечение требуемой плотности пикселей. Как дополнительные критерии — минимальная избыточность видеоизображения и максимальная плотность пикселей при одинаковых параметрах камер. При рассматриваемых условиях последний критерий эквивалентен требованию минимального угла обзора.

Для решения задачи оптимизации для каждого из трех возможных мест установки ТК необходимо по рассмотренным выше алгоритмам выполнить оценки положений дальней и ближней, а также угловых границ зон обзора, которые показаны на рис. 8.

Так как дополнительные критерии — максимальная плотность пикселей при фиксированном разрешении камеры и максимальная информативность видеоизображения, то выбран третий вариант установки ТКЗ (рис. 8, c), обеспечивающий при минимальном угле обзора максимальную плотность пикселей и минимальную неинформативную часть зоны обзора.

Рассмотренный пример показал адекватность предложенной модели и однозначность алгоритмов, реализующих все этапы использования предложенного метода (поиск дальней, ближней и угловых границ зоны обзора) и однозначно связанных с ними угловых параметров установки (наклона и поворота камеры относительно зоны наблюдения). В результате можно говорить об адекватности предложенного метода.

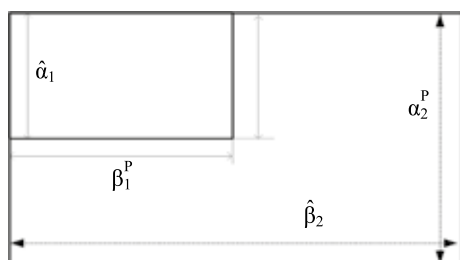


Рис. 6. Соотношения сторон видеоизображения при разных оценках углов обзора

Fig. 6. Aspect ratios of the video image at different estimates of viewing angles

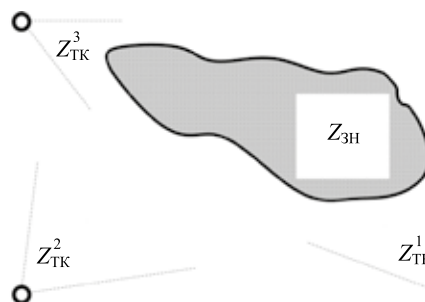


Рис. 7. Зона наблюдения и места возможной установки камеры

Fig. 7. Surveillance area and possible camera locations

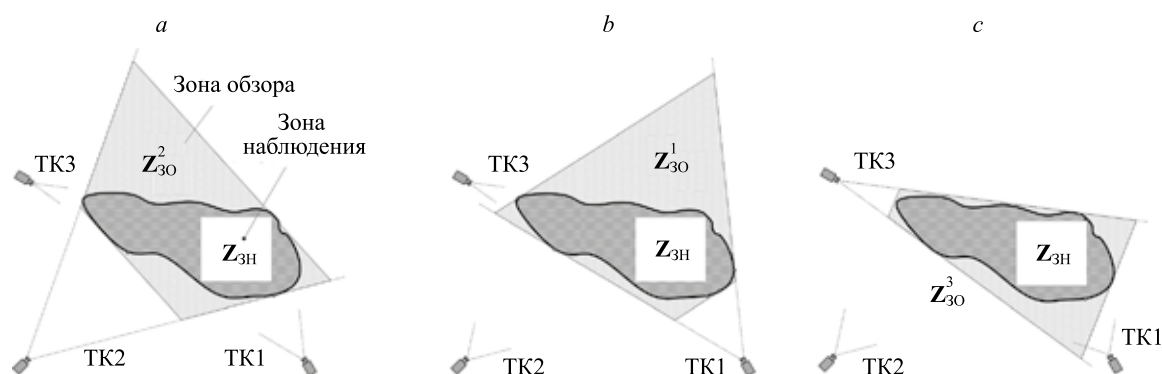


Рис. 8. Оценки границ зоны обзора для возможных мест установки камеры: ТК2 (а); ТК1 (б); ТК3 (с)

Fig. 8. View area boundaries estimates for possible camera installation locations: TK2 (a); TK1 (b); TK3 (c)

Заклучение

В работе сформулированы основные и дополнительные критерии, по которым можно осуществлять оптимизацию выбора параметров установки камеры относительно требуемой зоны наблюдения — решаемая задача наблюдения, минимально требуемое разрешение камеры и максимальная информативность (минимальная избыточность) формируемого видеоизображения. Предложена модель представления зон наблюдения, обзора и расположения камер как совокупности дискретных множеств. Сформулирован метод оптимизации выбора положения камеры и ее угловых параметров относительно зоны обзора, включая алгоритмы оценок дальней, ближней и угловых границ зоны обзора позволяющие получить значения углов обзора, поворота и наклона.

Обоснована адекватность предложенной модели реальным зонам наблюдения, обзора и расположения камер. Однозначность алгоритмов, реализующих этапы использования предложенного метода нахождения дальней, ближней и угловых границ зоны обзора и однозначно связанных с ними угловых параметров установки (углов обзора, наклона и поворота) камеры относительно зоны наблюдения, а также практический пример, подтверждающий адекватность предложенного метода.

Предложенная модель и метод, алгоритмы оценок границ зоны обзора, а также сформулированные критерии и ограничения могут быть использованы для реализации программ автоматизированного проектирования систем телевизионного наблюдения и позволят минимизировать влияние человеческого фактора при проектировании таких систем.

Литература

1. Волхонский В.В. Системы телевизионного наблюдения: основы проектирования и применения. М.: Горячая линия-Телеком, 2022. 392 с.
2. Волхонский В.В., Ковалевский В.А. Влияние параметров установки телекамер на информативность видеоизображения // Системы безопасности. 2022. № 2(164). С. 78–80.
3. Волхонский В.В., Муратов А.С. Специфика использования мультимодульных телевизионных камер // Технологии защиты. 2021. № 2. С. 52–54.
4. Horster E., Lienhart R. Approximating optimal visual sensor placement // Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. 2006. P. 1257–1260. <https://doi.org/10.1109/icme.2006.262766>
5. Erdem U.M., Sclaroff S. Optimal placement of cameras in floorplans to satisfy task requirements and cost constraints // Omnivis 2004. Proc. of the fifth Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical cameras. Citeseer, 2004. P. 30–41.
6. Bodor R., Schrater P., Papanikolopoulos N. Multi-camera positioning to optimize task observability // Proc. of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. 2005. P. 552–557. <https://doi.org/10.1109/avss.2005.1577328>
7. Domański M., Dziembowski A., Grzelka A., Mieloch D. Optimization of camera positions for free-navigation applications // Proc. of the 2016 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES). 2016. P. 118–123. <https://doi.org/10.1109/icses.2016.7593833>
8. Watras A.J., Kim J.-J., Liu H., Hu Y., Jiang H. Optimal camera pose and placement configuration for maximum field-of-view video stitching // Sensors. 2018. V. 18. N 7. P. 2284. <https://doi.org/10.3390/s18072284>

References

1. Volkhonsky V.V. *Video Surveillance Systems: Design and Application Fundamentals*. Moscow, Gorjachaja linija-Telekom Publ., 2022, 392 p. (in Russian)
2. Volkhonsky V., Kovalevsky V. Influence of camera installation parameters on the information content of the video image. *Security and Safety*, 2022, no. 2(164), pp. 78–80. (in Russian)
3. Volkhonskii V.V., Muratov A.S. Specific features of multimodule TV-cameras application. *Tehnologii zashchity*, 2021, no. 2, pp. 52–54. (in Russian)
4. Horster E., Lienhart R. Approximating optimal visual sensor placement. *Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2006, pp. 1257–1260. <https://doi.org/10.1109/icme.2006.262766>
5. Erdem U.M., Sclaroff S. Optimal placement of cameras in floorplans to satisfy task requirements and cost constraints. *Omnivis 2004. Proc. of the fifth Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical cameras*. Citeseer, 2004, pp. 30–41.
6. Bodor R., Schrater P., Papanikolopoulos N. Multi-camera positioning to optimize task observability. *Proc. of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 2005, pp. 552–557. <https://doi.org/10.1109/avss.2005.1577328>
7. Domański M., Dziembowski A., Grzelka A., Mieloch D. Optimization of camera positions for free-navigation applications. *Proc. of the 2016 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*, 2016, pp. 118–123. <https://doi.org/10.1109/icses.2016.7593833>
8. Watras A.J., Kim J.-J., Liu H., Hu Y., Jiang H. Optimal camera pose and placement configuration for maximum field-of-view video stitching. *Sensors*, 2018, vol. 18, no. 7, pp. 2284. <https://doi.org/10.3390/s18072284>

9. Kim S.T., Ahn S.O. Simulation to evaluate CCTV positioning in use of ray-tracing algorithm // *Korean Institute of Interior Design Journal*. 2013. V. 22. N 6. P. 40–48. <https://doi.org/10.14774/jkiid.2013.22.6.040>
10. Yang T.P., Asirvadam V.S., Saad N.B. Using multiple view in optimizing detector placement for petrochemical plant // *Proc. of the 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*. 2012. P. 80–84. <https://doi.org/10.1109/cspa.2012.6194695>
11. Kim Y., Park S., Kim H. Crowdedness measuring system considering view angle of CCTV camera // *Proc. of the 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. 2017. P. 1149–1152. <https://doi.org/10.1109/ictc.2017.8190882>
12. Волхонский В.В., Ковалевский В.А. Методика оптимизации распределения плотности пикселей по зоне наблюдения // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2022. Т. 22. № 6. С. 1055–1062. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-6-1055-1062>
13. Dallmeier D. Monitoring Device. *World Intellectual Property Organization patent PCT/EP2012/060438*. 2012-06-01.
14. Далльмайер Д. Устройство наблюдения. Патент ЕАПО 026475.
15. Stening J., Persson H., Ruzs A., Bengtsson A. System for panoramic imaging. *Patent US 2020/0195845 A1*.
9. Kim S.T., Ahn S.O. Simulation to evaluate CCTV positioning in use of ray-tracing algorithm. *Korean Institute of Interior Design Journal*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 40–48. <https://doi.org/10.14774/jkiid.2013.22.6.040>
10. Yang T.P., Asirvadam V.S., Saad N.B. Using multiple view in optimizing detector placement for petrochemical plant. *Proc. of the 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 2012, pp. 80–84. <https://doi.org/10.1109/cspa.2012.6194695>
11. Kim Y., Park S., Kim H. Crowdedness measuring system considering view angle of CCTV camera. *Proc. of the 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2017, pp. 1149–1152. <https://doi.org/10.1109/ictc.2017.8190882>
12. Volkhonskiy V.V., Kovalevskiy V.A. Distribution optimization method of pixel density by surveillance area. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2022, vol. 22, no. 6, pp. 1055–1062. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-6-1055-1062>
13. Dallmeier D. Monitoring Device. *World Intellectual Property Organization patent PCT/EP2012/060438*. 2012-06-01.
14. Dallmeier D. Monitoring Device. *Patent EAPO 026475*, 2017. (in Russian)
15. Stening J., Persson H., Ruzs A., Bengtsson A. System for panoramic imaging. *Patent US 2020/0195845 A1*.

Авторы

Волхонский Владимир Владимирович — доктор технических наук, доцент, профессор практики, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>, volkhonski@mail.ru

Ковалевский Владислав Александрович — аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-7042-7905>, Kovalvlad9@gmail.com

Статья поступила в редакцию 31.03.2023

Одобрена после рецензирования 22.06.2023

Принята к печати 15.09.2023

Authors

Vladimir V. Volkhonskiy — D.Sc., Associate Professor, Professor of Practice, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>, volkhonski@mail.ru

Vladislav A. Kovalevskiy — PhD Student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7042-7905>, Kovalvlad9@gmail.com

Received 31.03.2023

Approved after reviewing 22.06.2023

Accepted 15.09.2023



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»