

doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-402-409

УДК 621.397

Критерии оценки и метод оптимизации избыточности видеоизображений в системах наблюдения

Владимир Владимирович Волхонский¹✉, Игорь Владимирович Калиберда²

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

² Пятигорский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, 357500, Российская Федерация

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

² Kaliberda-igor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2792-9800>

Аннотация

Введение. Рассмотрена задача оптимизации распределения плотности пикселей по зоне обзора, обеспечивающая минимум избыточности видеоизображений при ограниченном пространстве мест установки камер. Представлено решение устранения избыточности информативности видеосигналов, приводящей к чрезмерным затратам ресурсов по передаче, хранению, обработке и отображению видеосигналов. **Метод.** Предлагаемый подход основан на интегральной оценке непрерывного распределения плотности пикселей в зоне обзора по сравнению с необходимым значением для решения заданной задачи наблюдения. Формализована задача наблюдения — определение пространств наблюдения и возможных мест установки камер. Показана методика расчета распределения плотности пикселей по зоне обзора с последующей оптимизацией параметров установки по критериям минимума значения коэффициента избыточности при достижении требуемого значения плотности пикселей или максимума минимальной плотности пикселей при заданном ограничении на коэффициент избыточности. **Основные результаты.** Предложены интегральный коэффициент и критерии оптимизации избыточности, учитывающие характер распределения плотности пикселей и метод оптимизации, позволяющий максимизировать минимальное значение плотности пикселей или минимизировать значение избыточности видеоизображения. Показано, что использование нормировки как по минимально требуемой плотности пикселей, так и по протяженности зоны обзора, позволяет использовать предложенные критерии для большинства практических задач обнаружения и идентификации при разных параметрах установки камер. Приведен практический пример использования метода. **Обсуждение.** Представленные критерии и метод позволяют повысить эффективность системы видеонаблюдения за счет сокращения избыточности ресурсов при сохранении требуемой информативности. Результаты работы применимы к задачам видеоконтроля зоны одной или несколькими камерами, а также для решения разных задач наблюдения в одной зоне. Могут использоваться при разработке систем наблюдения и программ автоматизированного проектирования таких систем.

Ключевые слова

распределение плотности пикселей, плотность пикселей, информативность видеоизображений, избыточность информативности видеоизображений

Ссылка для цитирования: Волхонский В.В., Калиберда И.В. Критерии оценки и метод оптимизации избыточности видеоизображений в системах наблюдения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2026. Т. 26, № 2. С. 402–409. doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-402-409

Estimation criterion and method for optimizing the redundancy of video images in surveillance systems

Vladimir V. Volkhonskiy¹✉, Igor V. Kaliberda²

¹ ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

² Pyatigorsk Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North Caucasus Federal University”, Pyatigorsk, 357500, Russian Federation

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

² Kaliberda-igor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2792-9800>

Abstract

The problem of optimizing the distribution of pixel density over the viewing area is considered, which ensures a minimum of redundancy of video images with a limited space for camera installations. A solution is presented to eliminate the redundancy of the informativeness of video signals, which leads to excessive resource costs for transmitting, storing, processing and displaying video signals. The proposed approach is based on an integral assessment of the continuous distribution of pixel density over the viewing area in comparison with the required value for solving a given observation task. The surveillance task is formalized — the definition of surveillance spaces and possible camera installation locations. A method for calculating the pixel density distribution over the viewing area is shown followed by optimizing the installation parameters according to the criteria of the minimum value of the redundancy coefficient when the required pixel density is reached or the maximum minimum pixel density with a given limitation on the redundancy coefficient. An integral coefficient and redundancy optimization criteria are proposed, taking into account the nature of the pixel density distribution and an optimization method that allows maximizing the minimum pixel density or minimizing the redundancy value of the video image. It is shown that the use of normalization in terms of both the minimum required pixel density and the length of the viewing area makes it possible to use the proposed criteria for most practical detection and identification tasks with different camera installation parameters. A practical example of using the method is given. The proposed criteria and method make it possible to increase the efficiency of the video surveillance system by reducing resource redundancy while maintaining the required information content. The results of the work are applicable to the tasks of video monitoring of a zone with one or more cameras as well as for solving various surveillance tasks in one zone. They can be used in the development of surveillance systems and computer-aided design programs for such systems.

Keywords

pixel density distribution, pixel density, informativeness of video images, redundancy of video images informativeness

For citation: Volkhonskiy V.V., Kaliberda I.V. Estimation criterion and method for optimizing the redundancy of video images in surveillance systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2026, vol. 26, no. 2, pp. 402–409 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-402-409

Введение

Широкое распространение устройств формирования видеосигналов, использующих дискретные матричные преобразователи оптического излучения разных спектральных диапазонов (телекамеры и видеокамеры, тепловизоры, приборы ночного видения) [1], требует решения задач оптимизации параметров для повышения эффективности таких устройств. Для оценки результативной и экономической эффективностей необходимы соответствующие критерии. Оценкой результативной эффективности служит возможность решения требуемой задачи наблюдения — мониторинга, обнаружения, обзора, распознавания, идентификации [2]. В свою очередь для решения задачи наблюдения в качестве критерия в основном используется степень детализации видеоизображения, характеризуемая плотностью пикселей^{1,2} (ПП). Корректный выбор ПП позволяет обеспечить визуализацию с требуемым качеством и достаточно уверенную возможность решения задачи

наблюдения. Отметим также такое направление, как формирование мультиспектральных видеоизображений. В частности, это эффективный способ повышения надежности решения, в первую очередь, задач идентификации и аутентификации пользователей информационных систем. При этом возникает дополнительная проблема, связанная с существенным ограничением разрешения тепловизоров по сравнению с камерами видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Это еще раз подчеркивает актуальность и важность задачи оптимизации параметров.

Специфика использования устройств формирования видеосигналов состоит в том, что значения ПП существенно меняются в пределах зоны обзора. Учитывая, что требуемое значение ПП должно достигаться в самой дальней точке зоны обзора, в остальных частях и особенно в ближних, значения ПП могут на порядок и более превышать требуемое. Как следствие, возникает избыточность информативности видеоизображения объектов, находящихся вблизи камеры. Это требует дополнительных избыточных ресурсов по обработке, передаче, хранению и отображению видеoinформации и приводит к снижению экономической эффективности. В связи с этим возникает необходимость, во-первых, сформировать видеоизображение с информативностью, необходимой для уверенного решения поставленной задачи наблюдения, прежде всего, идентификации и

¹ IEC 62676-4 (2014) Video surveillance systems for use in security applications — Part 4: Application guidelines. 29.04.2014. 148 p.

² EN IEC 62676-4:2025 Video surveillance systems for use in security applications — Part 4: Application guidelines. 09.10.2025. 98 p.

распознавания, и, во-вторых, оценить и оптимизировать избыточность видеоизображения, которая в силу специфики используемых в настоящее время устройств формирования видеосигналов, практически всегда присутствует.

В результате представляет интерес более детальная проработка вопросов выбора критериев и методов оценивания информативности и избыточности видеоизображения при заданных ограничениях для решения требуемой задачи наблюдения.

В работах [3–7] рассмотрены вопросы, связанные с особенностями идентификации и распознавания видеоизображений при различных внешних условиях и наличии минимально требуемой ПП, но полученные результаты не позволяют сделать практические рекомендации по оптимизации значений ПП в разных частях зоны обзора. В [8–10] представлены особенности вопросов формирования видеоизображения на основе использования пиков плотности, а в [11, 12] предложены решения задачи выбора требуемой ПП. Наиболее близки к рассматриваемой в настоящей работе проблеме работы [13–15], например в [13] предложена методика оптимизации, но она требует новых аппаратно-программных решений для используемых камер.

Таким образом, вышесказанное свидетельствует об актуальности задачи анализа существующих и формулировки новых критериев и методов оценивания информативности и избыточности видеоизображения.

Способы оценки информативности и избыточности

В настоящее время для оценки информативности и избыточности видеоизображения используются следующие параметры и критерии.

Основной параметр оценки степени детализации видеоизображения, характеризующий в наибольшей степени его информативность, это ПП D_p на видеоизображении [2], под которой понимается количество пикселей на единицу длины в той или иной части зоны обзора. Для решения каждой задачи наблюдения необходимо определенное D_p^0 минимально требуемое значение ПП. Этот критерий наиболее широко используется в настоящее время, в том числе, как критерий достижения требуемой результативной эффективности системы наблюдения.

Критерий достижения требуемой ПП не учитывает перепад значений ПП в различных частях зоны обзора, что приводит к информационной избыточности изображения. Инструментом для решения этой проблемы служит использование распределения ПП $P_{DD}(l)$ по длине l зоны обзора, предложенное и используемое в работах [13–15].

С точки зрения решения задач наблюдения информативной будет только та часть изображения зоны обзора, где может находиться объект наблюдения. Коэффициент информативности зоны обзора [2] определяется как отношение $K_{ИЗО} = S_I/S_0$, где S_I — площадь информативной части; S_0 — общая площадь видеоизображения. Это интегральная оценка видеоизображения в целом, свидетельствующая о том, есть

ли области видеоизображения, не несущие полезной информации, где объект наблюдения принципиально не может находиться. В общем случае минимизация неинформативной части видеоизображения — многоальтернативная, многопараметрическая задача [2]. Использование этого параметра весьма полезно для оценки корректности установки камер, в первую очередь, ориентации в пространстве.

Коэффициент неравномерности видеоизображений одинаковых объектов наблюдения на разных расстояниях, определяется как отношение $K_{НР} = h_B/h_D$ высоты изображений h_B и h_D одного и того же объекта на ближней и дальней границах зоны обзора [2] и существенно влияет на условия решения задач наблюдения, поскольку зрительное восприятие оператора сильно зависит от размеров наблюдаемых объектов на экране. Заметим, что коэффициент неравномерности $K_{НР}$ непосредственно связан с распределением $P_{DD}(l)$ ПП — один и тот же объект на разном расстоянии, будет отображаться разным количеством пикселей. По этой причине соотношение $K_{НР} = D_p^{\max}/D_p^0$ максимального D_p^{\max} в ближней части зоны обзора и минимально требуемого D_p^0 для решения задачи наблюдения будет также определять коэффициент неравномерности видеоизображения.

Наиболее детально критерии оценки избыточности ПП рассмотрены в [13]. Отметим, что критерии оценки — минимум максимального значения $\min\{\max D_p^{\max}\}$, минимальный диапазон изменения $\min\{D_p^{\max} - D_p^{\min}\}$, равнозначные максимумы $D_p^{\max} = D_p^{m\max}$ и равнозначные минимумы $D_p^{\min} = D_p^{m\min}$ учитывают лишь экстремальные значения ПП.

Таким образом, анализ существующих критериев показывает, что основной критерий достижения минимально требуемой ПП не учитывает ее значительные изменения в различных частях зоны обзора. Коэффициент неравномерности $K_{НР} = D_p^{\max}/D_p^0$ дает представление только о соотношении максимального и минимального значений ПП и не учитывает реальный вид распределения $P_{DD}(l)$ ПП от минимальной L_{\min} до максимальной L_{\max} границ зоны обзора (рис. 1), поэтому не позволяет сделать корректную оценку избыточности.

В результате отметим, что рассмотренные критерии позволяют выполнять оценки на основе только экстремальных значений ПП или используя бинарные оценки. И в том, и в другом случае эти оценки не дают возможности полноценно и корректно оценить избыточность информативности видеоизображений. Наиболее перспективно использование такой характеристики, как распределение ПП. Однако непосредственное ее использование не представляется возможным ввиду трудности сравнения разных вариантов параметров систем наблюдения (рис. 1). Необходим новый критерий и метод его использования, позволяющий детально оценить избыточность видеоизображения с точки зрения влияния на необходимые ресурсы.

Метод оптимизации избыточности

Для решения задачи оптимизации избыточности, прежде всего, необходимы характеристика или пара-

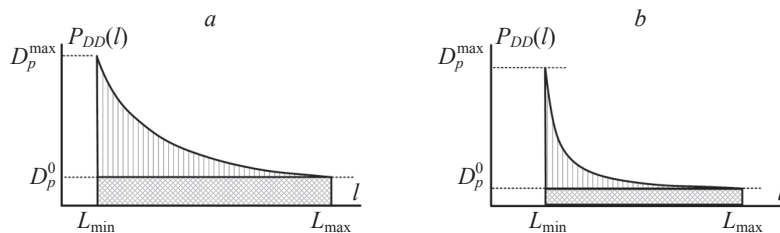


Рис. 1. Информативная (сетчатая штриховка) и избыточная (вертикальная штриховка) составляющие распределения плотности пикселей для большего (а) и меньшего (б) значений минимальной плотности пикселей при равных экстремумах
 Fig. 1. Informative (grid hatching) and redundant (vertical hatching) components of the pixel density distribution for higher (a) and lower (b) values of the minimum pixel density at equal extremes

метр в достаточно полной мере характеризующие избыточность видеоизображения и критерии оптимизации избыточности.

Критерий оценки избыточности. В качестве такого параметра предлагается интегральный коэффициент избыточности, определяемый формулой

$$K_{изб} = \frac{\left(\int_{L_{min}}^{L_{max}} P_{DD}(l) dl - D_p^0(L_{max} - L_{min}) \right)}{D_p^0(L_{max} - L_{min})},$$

и позволяющий получить интегральную оценку избыточности по всей зоне обзора. Физический смысл этого коэффициента — соотношение количества избыточных пикселей видеоизображения и минимально требуемых для решения задачи наблюдения. Нулевое значение этого коэффициента соответствует отсутствию избыточности. При этом такая оценка будет справедлива для любого радиального направления от камеры в плоскости, проходящей через камеру и перпендикулярной подстилающей поверхности (пол помещения, поверхность земли, и т. п.).

С целью повышения общности результатов и возможности объективного сравнения различных вариантов решения системы наблюдения целесообразно выполнить нормировку различных переменных.

Нормировка 1. Выполним нормирование распределения ПП к минимальному значению D_p^0 , определяемому решаемой задачей наблюдения $P_{DD}^H(l) = P_{DD}(l)/D_p^0$. Тогда нормированное значение минимальной ПП будет равно единице $D_p^{H0} = 1$. Переход к абсолютным значениям ПП, при необходимости, может быть осуществлен умножением нормированных значений на минимально требуемое D_p^0 .

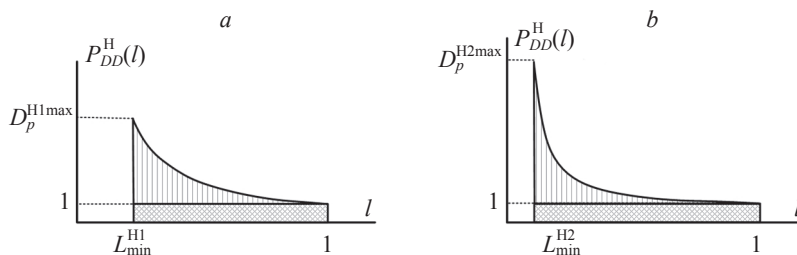


Рис. 2. Нормированные распределения плотности пикселей для разной протяженности нормированной зоны обзора при меньшем (а) и большем (б) значениях максимальной нормированной плотности пикселей

Fig. 2. Normalized pixel density distributions for different length of the normalized viewing area with smaller (a) and bigger (b) values of the maximum normalized pixel density

Нормировка 2. Используем нормированные параметры, характеризующие протяженность зоны обзора. Для этого разделим все значения расстояний l на значение L_{max} расстояния от проекции камеры на горизонтальную плоскость до дальней границы зоны обзора. Тогда нормированная протяженность зоны обзора будет определяться выражением:

$$L_{30}^H = (L_{max} - L_{min})/L_{max} = 1 - L_{min}/L_{max}.$$

Нормированное значение ближней границы будет равно $L_{min}^H = L_{min}/L_{max}$, а нормированная протяженность зоны обзора — $L_{30}^H = 1 - L_{min}^H$. Абсолютные значения расстояний l можно получить умножением любого значения на максимальное L_{max} . В таком случае нормированное расстояние до начала зоны обзора может принимать значения от нуля (без не просматриваемой зоны под камерой) до L_{min}/L_{max} (ближняя граница зоны обзора), а нормированное значение дальней границы зоны обзора L_{max}^H всегда равно единице (рис. 2). Обозначения нормированных переменных D_p^{H1max} и D_p^{H2max} соответствуют разным числовым значениям.

С учетом нормировки 1 можно записать общее выражение для предлагаемого нормированного коэффициента избыточности как

$$K_{изб}^H = \frac{\left(\int_{L_{min}^H}^1 P_{DD}^H(l) dl - (1 - L_{min}^H/L_{max}) \right)}{(1 - L_{min}^H/L_{max})}.$$

Или, выполнив простые преобразования

$$K_{изб}^H = \frac{1}{(1 - L_{min}^H)} \int_{L_{min}^H}^1 P_{DD}^H(l) dl - 1.$$

Последнее выражение позволяет корректно сравнивать влияние различных вариантов параметров систем наблюдения и, как следствие, оценивать избыточность ресурсов системы наблюдения и оптимизировать их. Рис. 2, *b* иллюстрирует различия в характере распределения ПП, которые будут учитываться предложенным интегральным параметром и не учитываются существующими на основе экстремальных значений ПП (рис. 1), поскольку может иметь место равенство $D_p^{H1\max} = D_p^{H2\max}$ нормированных значений экстремумов $D_p^{H1\max}$ и $D_p^{H2\max}$ на рис. 2 соответственно.

Критерии оптимизации избыточности. Используя коэффициент избыточности, сформулируем критерии оптимизации.

1. Минимальное значение $K_{изб}^H$ коэффициента избыточности $\min\{K_{изб}^H\}$ при условии выполнения требований по минимальному значению ПП $D_p^{\min} \geq D_p^0$ (как критерию достижения результативной эффективности).
2. Максимальное значение минимальной ПП $\max\{D_p^0\}$ при заданном ограничении на коэффициент избыточности $K_{изб}^H \leq K_{изб}^0$.

Заметим, что при этом сохраняется возможность одновременного использования, при необходимости, и экстремальных критериев [13], минимума максимального значения, минимальный диапазон изменения, равнозначные максимумы и равнозначные минимумы, которые позволяют учитывать также пиковые нагрузки на ресурсы системы.

Кроме того, использование нормировок 1 и 2, позволяет применить предложенные критерии для большинства практических задач наблюдения — от обнаружения до идентификации изображений при разных параметрах установки камер. Все это еще раз подтверждает достаточную степень универсальности предложенного критерия.

Метод оптимизации. Метод оптимизации, основанный на использовании предложенных интегрального коэффициента избыточности и критериев оптимизации, с учетом основного ограничения по достижению минимально требуемой ПП, можно сформулировать следующим образом.

Этап 1. Ставится задача наблюдения, определяющая значение D_p^0 как основной критерий необходимой информативности видеоизображения системы наблюдения, позволяющее решить поставленную задачу. Выбор ПП производится в соответствии с требованиями упоминавшегося стандарта в разделе «Введение». Однако в ряде случаев может понадобиться учет дополнительных требований производителей программного обеспечения видеоналитики, а также условия работы системы.

Этап 2. Выбирается начальный набор $m = 1$ параметров установки камеры (место, высота, углы обзора, поворота и наклона [2]) из M возможных вариантов $m = 1, 2, \dots, M$.

Этап 3. Рассчитывается нормированное распределение $P_{DD}^{Hm}(l)$ для выбранного m -го набора параметров установки камеры и $D_p^{H0} = 1$.

Этап 4. Вычисляется нормированный коэффициент избыточности $K_{изб}^{Hm}$ для m -го набора параметров.

Этап 5. Осуществляется выбор следующего набора параметров установки камер из всех M возможных вариантов $m = 1, 2, \dots, M$, с использованием метода оптимизации параметров установки, предложенного в работе [14].

Этап 6. Повторяются этапы 3–5.

Этап 7. По завершении процесса перебора наборов параметров установки производится окончательный выбор искомого набора из всех, используемых в расчетах ранее, по критерию минимума нормированного коэффициента избыточности $\min\{K_{изб}^{Hm}\}$, $m = 1, 2, \dots, M$ при заданной D_p^0 .

Этап 8. Осуществляется переход от относительно нормированного значения $D_p^{H0} = 1$ к абсолютному D_p^0 и производится расчет необходимого разрешения камеры с учетом поставленной задачи наблюдения, а также максимального расстояния до дальней точки зоны обзора, угла обзора и требуемого абсолютного значения D_p^0 [2].

Особенности применения и пример использования представленного метода

Рассуждения, приведенные в подразделах «Критерии оптимизации избыточности» и «Метод оптимизации», справедливы для системы наблюдения, контролирующей одну зону наблюдения одной камерой. Однако предложенный метод может быть применен также к мультикамерной и многозадачной системам наблюдения.

Особенности применения метода оптимизации. При решении задачи контроля одной зоны N камерами этапа 3 метода оптимизации расчет $P_{DD}^{MK}(l)$ распределения ПП *мультикамерной системы* производится с учетом перекрытия зон обзора разных камер. При этом итоговое распределение ПП определяется выбором максимального $P_{DD}^{MK}(l) = \max\{P_{DD}^1(l), P_{DD}^2(l), \dots, P_{DD}^N(l)\}$ из всех распределений $P_{DD}^n(l)$, $n = 1, 2, \dots, N$ для каждого значения l .

Аналогично анализируется и *многозадачная система* наблюдения, когда в разных частях зоны обзора решаются разные задачи наблюдения. Это соответствует различным значениям требуемой минимальной ПП в разных частях зоны обзора. Тогда критерий выбора распределения $P_{DD}^n(l)$ для мультикамерной и многозадачной системы может быть записан как $P_{DD}^{MK-M3}(l) = \max\{P_{DD}^1(D_p^{01}, l), P_{DD}^2(D_p^{02}, l), \dots, P_{DD}^N(D_p^{0N}, l)\}$.

Варианты использования метода оптимизации. Предложенные критерии и метод могут быть использованы в двух случаях:

- для оценки информационной избыточности видеоизображения при сохранении необходимой информативности для решения задачи наблюдения и тем самым повышения экономической эффективности при заданной результативной;
- для решения задачи увеличения информативности (увеличения D_p^0) при сохранении или уменьшении избыточности изображения путем оптимизации распределения ПП и увеличения результативной эффективности.

Пример применения метода. В качестве примера рассмотрим задачу видеоконтроля некоторой зоны наблюдения двумя камерами (мультикамерная задача). Воспользуемся моделью системы наблюдения, предложенной в работе [14], в которой подробно рассмотрены условия и ограничения, которые необходимо учитывать при использовании предлагаемого метода. Будем основываться на представлении о зоне наблюдения $Z_{ЗН}$, как пространстве возможного нахождения объекта или субъекта наблюдения; о зоне обзора $Z_{ЗО}$, как пространстве формируемого видеоизображения и об основном ограничении — пространстве возможного местонахождения камер $Z_{ТК}$.

В качестве критериев установки камер [13] выберем решаемую задачу наблюдения (определяющую D_p^0), полное перекрытие зоны наблюдения зонами обзора камер (отсутствие не просматриваемых зон), односторонний обзор, защищенность камер, а также минимум избыточности ПП. На рис. 3 показана модель рассматриваемой системы наблюдения, на которой определены множество требуемой зоны наблюдения $Z_{ЗН}$ как области возможного нахождения субъекта наблюдения и два подмножества $Z_{ТК1}$ и $Z_{ТК2}$ возможных мест установки камер с учетом выбранных критериев (в первую очередь отсутствия не просматриваемых зон, что требует встречной установки камер и высоты установки, ограничивающей доступ к камерам). Ориентация и углы обзора определяются соответствующим взаимным расположением $Z_{ЗН}$ и $Z_{ТК}$.

Для начала оценим влияние сдвига одной камеры в пределах подпространства $Z_{ТК1}$ возможных мест установки первой камеры с учетом выбранных критериев установки. Результаты расчета¹ показаны на рис. 4 [16]. Номера кривых на рис. 5 соответствуют четырем положениям камеры ТК1 на рис. 4.

На рис. 4, *a* изображены ненормированные распределения ПП. Видно, что при сдвиге камеры полностью сохраняются экстремальные значения ПП и, в то же время, происходит рост минимального значения ПП, что свидетельствует о возможности увеличения информативности видеоизображения выбором оптимального положения камер.

На рис. 4, *b* показаны нормированные графики, т. е. распределения ПП при неизменной минимально требуемой ПП $D_p^{H0} = 1$. При этом имеет место уменьшение экстремальных значений ПП, и можно говорить об уменьшении избыточности при заданной информативности.

Основываясь на полученных результатах, выполним расчеты распределения ПП для четырех положений пары камер (рис. 4) в пределах подпространств $Z_{ТК1}$ и $Z_{ТК2}$ возможного расположения каждой из камер соответственно. На рис. 5 изображены распределения ПП для разных положений камер, где номера кривых

¹ Расчеты по просьбе авторов выполнены Р. М. Бакировым [16].

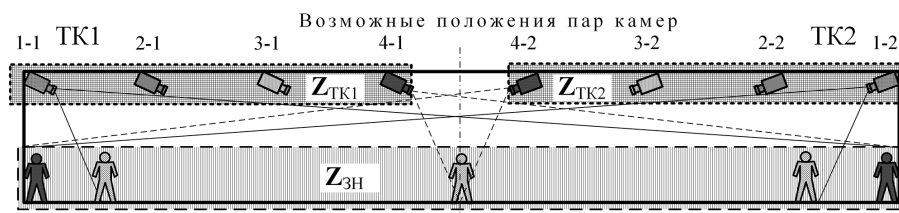


Рис. 3. Пространственная модель рассматриваемой системы наблюдения (пары камер выделены одинаковой штриховкой и имеют двойные номера: первая цифра — положение камеры, вторая цифра — номер камеры)

Fig. 3. Spatial model of the surveillance system under consideration (pairs of cameras are highlighted with the same hatching and have double numbers: the first digit is the camera position, the second is its number)

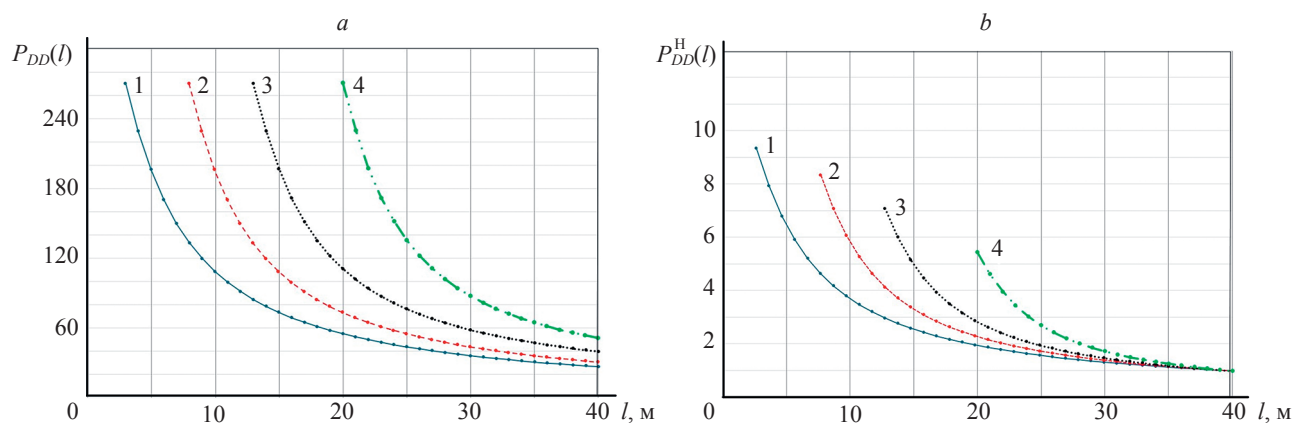


Рис. 4. Ненормированное (a) и нормированное (b) распределения плотности пикселей при изменении места установки камеры

Fig. 4. Unnormalized (a) and normalized (b) pixel density distributions when changing the camera installation location

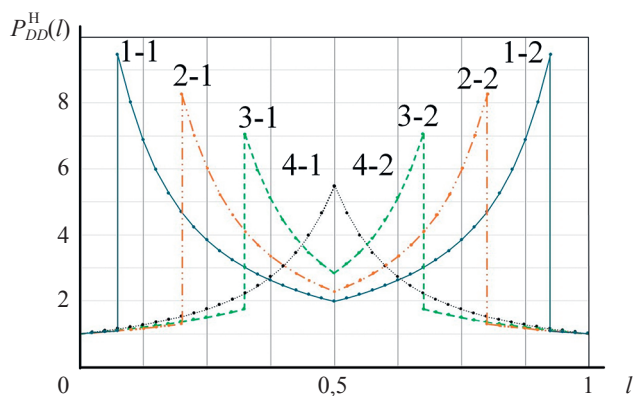


Рис. 5. Нормированные распределения плотности пикселей для четырех выбранных положений пар камер

Fig. 5. Normalized pixel density distributions for four selected camera pair positions

соответствуют четырем положениям камер ТК1 и ТК2 на рис. 3.

Из рис. 5 видно, что в случае встречной установки камер на минимально близком расстоянии (4-1 и 4-2), ограниченном требованиями критерия отсутствия не

просматриваемых зон, достигается минимальная избыточность при сохранении требуемой информативности.

Заключение

В работе предложены интегральный параметр оценки избыточности видеоизображений и критерии оптимизации на основе использования распределения плотности пикселей.

Сформулирован метод, использующий интегральный критерий для оптимизации параметров системы, и позволяющий максимизировать минимальное значение плотности пикселей или минимизировать значение избыточности при сохранении минимально требуемой для решения задачи наблюдения плотности пикселей.

Показано, что представленный метод оптимизации может быть применен к задачам видеоконтроля одной зоны наблюдения одной или несколькими камерами, а также для решения разных задач наблюдения в одной и той же зоне.

Предложенный коэффициент избыточности видеоизображения характеризует также избыточность требуемых ресурсов системы наблюдения по передаче, хранению, обработке и отображению видеосигналов.

Литература

- Петраков А.В., Лагутин В.С. ТелеинфраультраВизуализация как защищённое ТелеВидение. М.: Academia, 2015. 642 с.
- Волхонский В.В. Системы телевизионного наблюдения: основы проектирования и применения. М.: Горячая линия-Телеком, 2022. 392 с.
- Yang M.-H., Kriegman D.J., Ahuja N. Detecting faces in images: a survey // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2002. V. 24. N 1. P. 34–58. <https://doi.org/10.1109/34.982883>
- Liao S., Jain A.K., Li S.Z. Partial face recognition: alignment-free approach // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2013. V. 35. N 5. P. 1193–1205. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.191>
- Nasrollahi K., Moeslund T.B. Face quality assessment system in video sequences // *Lecture Notes in Computer Science*. 2008. V. 5372. P. 10–18. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89991-4_2
- Korshunov P., Ooi W.T. Video quality for face detection, recognition, and tracking // *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*. 2011. V. 7. N 3. P. 1–21. <https://doi.org/10.1145/2000486.2000488>
- Almustafa K.M., Zantout R.N., Obeid H.R. Pixel density: recognizing characters in Saudi license plates // *Proc. of the 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. 2010. P. 308–313. <https://doi.org/10.1109/ISDA.2010.5687246>
- Ahuja N. A transform for multiscale image segmentation by integrated edge and region detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1996. V. 18. N 12. P. 1211–1235. <https://doi.org/10.1109/34.546258>
- Zhao H., Wang T., Zeng X. A clustering algorithm for key frame extraction based on density peak // *Journal of Computer and Communications*. 2018. V. 6. N 12. P. 118–128. <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.612012>
- Zhang, J.Q., Zhang, H.Y. Clustering by fast search and find of density peaks based on manifold distance // *Computer Knowledge and Technology*. 2017. V. 13. P. 179–182.
- Kubota S., Hisatake Y., Kawamura T., Takemoto M. 5.1: influence of pixel density on the image quality of smartphone displays // *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 2015. V. 46. N 1. P. 22–25. <https://doi.org/10.1002/sdtp.10179>
- Saad M.A., Pinson M.H., Nicholas D.G., Van Kets N., Van Wallendael G., Da Silva R., et al. Impact of camera pixel count and

References

- Petrakov A.V., Lagutin V.S. *TeleInfraUltraVisualization as Secure TeleVision*. Moscow, Academia Publ., 2015. 642 p. (in Russian)
- Volkhonsky V.V. *Video Surveillance Systems: Design and Application Fundamentals*. Moscow, Gorjachaja linija-Telekom Publ., 2022. 392 p. (in Russian)
- Yang M.-H., Kriegman D.J., Ahuja N. Detecting faces in images: a survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, vol. 24, no. 1, pp. 34–58. <https://doi.org/10.1109/34.982883>
- Liao S., Jain A.K., Li S.Z. Partial face recognition: alignment-free approach. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2013, vol. 35, no. 5, pp. 1193–1205. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.191>
- Nasrollahi K., Moeslund T.B. Face quality assessment system in video sequences. *Lecture Notes in Computer Science*, 2008, vol. 5372, pp. 10–18. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89991-4_2
- Korshunov P., Ooi W.T. Video quality for face detection, recognition, and tracking. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 2011, vol. 7, no. 3, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1145/2000486.2000488>
- Almustafa K.M., Zantout R.N., Obeid H.R. Pixel density: recognizing characters in Saudi license plates. *Proc. of the 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 2010, pp. 308–313. <https://doi.org/10.1109/ISDA.2010.5687246>
- Ahuja N. A transform for multiscale image segmentation by integrated edge and region detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, vol. 18, no. 12, pp. 1211–1235. <https://doi.org/10.1109/34.546258>
- Zhao H., Wang T., Zeng X. A clustering algorithm for key frame extraction based on density peak. *Journal of Computer and Communications*, 2018, vol. 6, no. 12, pp. 118–128. <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.612012>
- Zhang, J.Q., Zhang, H.Y. Clustering by fast search and find of density peaks based on manifold distance. *Computer Knowledge and Technology*, 2017, vol. 13, pp. 179–182.
- Kubota S., Hisatake Y., Kawamura T., Takemoto M. 5.1: influence of pixel density on the image quality of smartphone displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, vol. 46, no. 1, pp. 22–25. <https://doi.org/10.1002/sdtp.10179>
- Saad M.A., Pinson M.H., Nicholas D.G., Van Kets N., Van Wallendael G., Da Silva R., et al. Impact of camera pixel count and

- monitor resolution perceptual image quality // Proc. of the Colour and Visual Computing Symposium (CVCS). 2015. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/CVCS.2015.7274887>
13. 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>
 14. 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. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-5-927-934>
 15. Волхонский В.В., Мурагов А.С. Специфика использования мультимодульных телевизионных камер // Технологии защиты. 2021. № 2. С. 52–54.
 16. Бакиров Р.М., Волхонский В.В., Калиберда И.В. Оптимизация параметров устройств формирования видеосигналов на основе матричных микроэлектронных преобразователей оптического излучения для контроля протяжённых зон // Микро- и нанотехнологии в электронике. Материалы XV Международной научно-технической конференции. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2025. С. 284–288.
13. 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>
 14. 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). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-5-927-934>
 15. Volkhonskiy V.V., Muratov A.S. Specific features of multimodule TV-cameras application. *Tehnologii zashchity*, 2021, no. 2, pp. 52–54. (in Russian)
 16. Bakirov R.M., Volkhonskiy V.V., Kaliberda I.V. Optimization of parameters of video signal formation devices based on matrix microelectronic transducers of optical radiation for extended zones monitoring. *Proc. of the 16th International Scientific and Technical Conference “Micro- and Nanotechnologies in Electronics”*, 2025, pp. 284–288. (in Russian)

Авторы

Волхонский Владимир Владимирович — доктор технических наук, доцент, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [sc 6507100798](https://orcid.org/0000-0001-9628-2046), <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>, volkhonski@mail.ru

Калиберда Игорь Владимирович — старший преподаватель, Пятигорский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, 357500, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-2792-9800>, Kaliberda-igor@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 06.06.2025
Одобрена после рецензирования 19.01.2026
Принята к печати 19.03.2026

Authors

Vladimir V. Volkhonskiy — D.Sc., Associate Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [sc 6507100798](https://orcid.org/0000-0001-9628-2046), <https://orcid.org/0000-0001-9628-2046>, volkhonski@mail.ru

Igor V. Kaliberda — Senior Lecturer, Pyatigorsk Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North Caucasus Federal University”, Pyatigorsk, 357500, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2792-9800>, Kaliberda-igor@yandex.ru

Received 06.06.2025
Approved after reviewing 19.01.2026
Accepted 19.03.2026



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»