

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ  
ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ****В.Н. Дрынкин**

drykinv@gosniias.ru

**Ю.В. Павлов**

pavlov@gosniias.ru

**Т.И. Царева**

tsareva@gosniias.ru

**ФАУ «ГосНИИАС», Москва, Российская Федерация****Аннотация**

Предложен алгоритм оценки чувствительности видеокамер по отношению сигнал/шум на основе анализа распределения спектральной плотности мощности сигнала и шума в реальных видеоизображениях. Алгоритм протестирован на большом числе реальных изображений видимого диапазона, полученных в разное время года и в разное время суток. Показано хорошее соответствие получаемых значений сигнал/шум уровню освещенности сцены по сравнению с другими алгоритмами. Аппаратная реализация алгоритма непосредственно в видеокамере позволит автоматически включать режим повышенной чувствительности при снижении уровня сигнал/шум ниже некоторого порога при уменьшении освещенности сцены. В качестве режима повышенной чувствительности предложен метод на основе аппаратного биннинга с восстановлением пространственного разрешения. Для обеспечения восстановления пространственного разрешения биннинг в соседних видеокадрах осуществляют со сдвигом по диагонали, хотя бы на один пиксель фоточувствительной матрицы видеокамеры. При этом образуется пространственно-временная решетка пикселей, перемежаемых нулевыми строками и столбцами, в виде шахматного поля, которая затем подвергается трехмерной интерполяционной фильтрации. Согласно результатам экспериментов, в зависимости от кратности биннинга отношение сигнал/шум повышается на 10...15 дБ. Пиксельный размер видеокадров восстанавливается полностью, а пространственное разрешение — на 80 % от исходного при биннинге  $2 \times 2$  и не менее чем на 40 % при биннинге  $4 \times 4$

**Ключевые слова**

*Аппаратный биннинг, повышение чувствительности видеокамер, повышение пространственного разрешения, трехмерная пространственно-временная фильтрация, отношение сигнал/шум*

Поступила 08.05.2024

Принята 06.12.2024

© Автор(ы), 2025

**Введение.** Одной из важнейших характеристик камеры системы видеонаблюдения является чувствительность. Здесь под чувствительностью видеокамеры будем понимать минимальную освещенность (или минимальное значение отверстия диафрагмы), при которой на выходе устройства еще обеспечивается приемлемое для решения поставленной задачи (обнаружение, распознавание объектов и т. д.) отношение сигнал/шум (ОСШ) [1].

В камерах с нерегулируемой чувствительностью в зависимости от условий съемки, времени суток, года и т. п. всегда наступает момент, когда камера перестает формировать различимое изображение. Для расширения условий применения видеокамеры необходимо обеспечить регулировку ее чувствительности, своевременно включая режимы повышенной чувствительности. Для этого необходимо уметь оценивать уровень чувствительности видеокамеры [2, 3].

Существуют различные методы оценки чувствительности по минимальному уровню полезного сигнала на выходе видеокамеры. Наиболее точные значения позволяют получить инструментальные методы, но они доступны только в лабораторных условиях [4, 5]. На практике чувствительность оценивают по изображениям, формируемым камерой видеонаблюдения.

**Методы оценки чувствительности видеокамер.** Видеокамера с повышенной чувствительностью всегда будет формировать более контрастное изображение. В связи с этим предложен метод оценки чувствительности видеокамеры по изменению относительного контраста изображений [6]:

$$K = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{D} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $B_{\max}$ ,  $B_{\min}$  — значения яркости в самой светлой и самой темной областях изображения;  $D = 255$  — максимальная яркость восьмибитного изображения.

На практике оказалось, что в видеокамерах с автоматическими регуляторами контраста такой метод не работает.

Наиболее распространенным методом оценки чувствительности является измерение ОСШ [7, 8]. В большинстве случаев ОСШ измеряют по статистическим характеристикам изображений видеокамеры [9]:

$$SNR = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{sig}}, \quad (2)$$

где  $\mu_{sig}$  — среднее значение сигнала изображения;  $\sigma_{sig}$  — его стандартное отклонение.

Следует отметить, что такой метод хорошо работает на изображениях с искусственно внесенными шумами. Для реальных изображений подобная формальная эквивалентность стандартного отклонения в качестве меры шума, показывающей насколько выбранные пиксели отличаются от среднего значения, которое характеризует полезный сигнал, может быть лишена смысла, так как не учитывает пространственные зависимости яркостей элементов реального изображения и особенности их зрительного восприятия.

При описании влияния шума на изображение обычно используют аддитивную модель, т. е. результирующий сигнал  $B$  можно выразить формулой [10–12]:  $B = A + N$ , где  $A$  — полезная составляющая сигнала изображения;  $N$  — его шумовая составляющая.

Как правило, полезный сигнал изображения сосредоточен в ограниченной полосе частот, в то время как шум присутствует во всей частотной области тракта формирования и передачи видеоизображения. Это позволяет подойти к оценке ОСШ в частотной области.

Предлагаемый метод основан на анализе распределения спектральной плотности мощности сигнала и шума в реальных видеоизображениях. Кадр изображения, формируемого любой видеокамерой, представляет собой растровое полутоновое изображение, в котором содержится полезный сигнал изображения и шум. Матричный фотоприемник видеокамеры действует как фильтр пространственных частот с характеристикой вида  $K(v_1, v_2) = \text{sinc}(\pi a v_1) \text{sinc}(\pi a v_2)$ , который имеет область пропускания в виде прямоугольника [13], представляющего собой все частотное пространство  $R: |v_1| \leq 1, |v_2| \leq 1$ , где  $v_1 = \frac{\Omega_x}{2\pi/(2X)}$ ,  $v_2 = \frac{\Omega_y}{2\pi/(2Y)}$  — нормированные «горизонтальные» и «вертикальные» пространственные частоты кадра видеоизображения,  $\Omega_x$ ,  $\Omega_y$  — частота элементов и частота строк,  $X$ ,  $Y$  — межэлементные и межстрочные интервалы дискретизации;  $a$  — линейный размер элемента фотоприемника.

Исследования показывают, что область существования спектральной плотности отдельных кадров видеоизображений  $D_0$  (рис. 1) близка к ромбической [14] и сосредоточена в области нижних частот пространства  $R$ . Там же присутствуют и низкочастотные компоненты шума, выделение которых представляет собой отдельную проблему и здесь не рассматривается. Поэтому под «сигналом» будем понимать содержимое области  $D_0$ .

В оставшейся области пространства  $R \setminus D_0$  (см. рис. 1) сосредоточена высокочастотная составляющая аддитивного шума, под которой и будем

понимать шум изображения. Тогда ОСШ в видеокадре  $SNR_{ТВ}$  можно определить как [15, 16]

$$SNR_{ТВ} = 10 \lg \frac{\iint_{D_0} \rho_{ТВ}(v_1, v_2) dv_1 dv_2}{\iint_{R \setminus D_0} \rho_{ТВ}(v_1, v_2) dv_1 dv_2}. \quad (3)$$

Здесь  $\rho_{ТВ}$  — спектральная плотность изображения видеокадра с шумом; области интегрирования  $D_0$  и  $R \setminus D_0$  определяются в соответствии со схемой на рис. 1.

Проведем сопоставительный анализ оценки чувствительности видеокамер по формулам (1)–(3). Эксперименты по расчету ОСШ проводили на реальных изображениях видимого диапазона из базы данных, которая получена в разных условиях в течение года [17]. Для анализа отобраны последовательности видеокадров, полученные в ясных погодных условиях, в разное время года и в разное время суток, во временном интервале непосредственно перед наступлением темноты, т. е. пока видеокамера способна формировать все еще распознаваемое изображение. Таким образом исключено влияние сложных метеоусловий на формирование изображения, а по изменению вычисляемых параметров можно оценивать время наступления минимальной освещенности с наступлением темноты (когда камера перестает «видеть»).

Результаты анализа продемонстрировали, что показатель  $SNR_{ТВ}$  (3) наилучшим образом «отслеживает» изменение ОСШ при разных уровнях освещенности, особенно перед наступлением темноты, когда ОСШ начинает стремительно падать (рис. 2). Вертикальными линиями на рис. 2 показаны моменты наступления темноты в разное время года, а кривые показывают изменение ОСШ.

В качестве примера в таблице приведены усредненные значения оценок чувствительности видеокамеры по показателям (1)–(3) для серии экспериментально полученных при различной освещенности изображений.

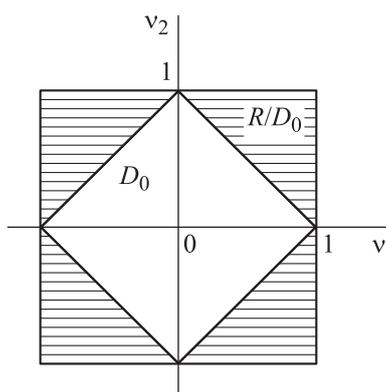
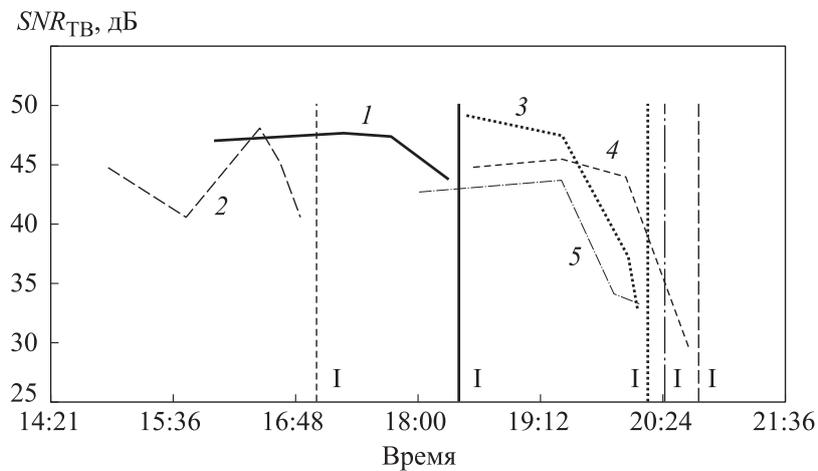


Рис. 1. Области существования спектральной плотности сигнала изображения и шума



**Рис. 2.** Изменение ОСИШ  $SNR_{ТВ}$  камеры видимого диапазона в разное время суток и в разное время года:

I — темно; 1 — осень 21.09.2022; 2 — зима 18.01.2023; 3 — весна 18.04.2023;  
4 — весна 03.05.2023; 5 — лето 28.08.2023

**Сравнительная оценка чувствительности видеокамер по показателям без автоконтраста (числитель) и с ним (знаменатель)**

Показатель	Освещенность		
	Высокая	Средняя	Низкая
$K, \%$	97,91 / 100	27,06 / 100	9,67 / 100
$SNR$	1,28 / 1,22	1,36 / 1,32	1,61 / 1,61
$SNR_{ТВ}, дБ$	40,75 / 40,75	35,81 / 35,83	26,04 / 26,05

Приведенные данные показывают, что ОСИШ  $SNR$  (2) дает практически одинаковый результат независимо от настроек камеры и уровней освещенности, хотя с уменьшением освещенности сигнал становится слабее: контраст  $K$ , рассчитанный по (1), дает значения, в среднем равные 98, 27 и 10 % соответственно.

Применение автоматической регулировки контраста выравнивает контраст  $K$  и приближает его к 100 %. Только показатель  $SNR_{ТВ}$ , рассчитанный по спектральной плотности видеосигнала изображения (3), дает наиболее адекватный результат, который соответствует изменению освещенности вне зависимости от автоматических настроек.

Следовательно, алгоритм вычисления ОСИШ  $SNR_{ТВ}$  по (3) можно предложить в качестве меры оценки чувствительности видеокамер. В качестве критерия для определения момента автоматического включения режима повышенной чувствительности можно принять снижение значе-

ния  $SNR_{ТВ}$  ниже некоторого экспериментально определенного порога, который у каждой камеры будет свой.

**Повышение чувствительности видеокамер.** Существуют различные методы увеличения чувствительности видеокамер (см., например, [18]): на основе использования электронно-оптических усилителей яркости; с использованием применения светосильных объективов и высокочувствительных матриц ССD; за счет использования адаптивных режимов накопления и считывания заряда; увеличения времени экспозиции за счет применения медленного электронного затвора; на основе аппаратного биннинга, т. е. увеличения площади чувствительных элементов матрицы с использованием процедуры суммирования соседних пикселей (например,  $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$ ).

Все методы увеличения чувствительности камер видеонаблюдения основываются на принципе накопления энергии сигнала, который в корне отличается от шума. Сигнал имеет ограниченную полосу частот и однополярный характер, а шум занимает более широкую полосу частот и имеет дифференциальный характер с нулевым математическим ожиданием. Тогда при накоплении сигнала его амплитуда увеличивается за счет сложения однополярных составляющих, а амплитуда шума практически не увеличивается за счет взаимного подавления разнополярных составляющих со случайной фазой. Это приводит к линейному росту уровня сигнала и замедленному росту уровня шума.

С учетом изложенного предложен метод повышения чувствительности видеокамер на основе аппаратного биннинга с восстановлением пространственного разрешения [6]. Согласно методу, биннинг в соседних видеокадрах осуществляют со сдвигом по диагонали, хотя бы на один пиксель фоточувствительной матрицы видеокамеры. Образуется пространственно-временная решетка пикселей, перемежаемых нулевыми строками и столбцами, в виде шахматного поля. Затем сетка подвергается трехмерной интерполяционной фильтрации. Трехмерный пространственно-временной фильтр нижних частот (ФНЧ) имеет область пропускания пространственно-частотной характеристики (ПЧХ), близкую к октаэдру, которая хорошо согласуется с формой спектра реальных видеоизображений. За счет указанных особенностей с выхода ФНЧ снимается видеопоследовательность кадров, полученных с повышенной чувствительностью, исходного пиксельного размера с восстановленным пространственным разрешением.

В зависимости от направления смещения метод подразумевает четыре варианта диагонального сдвига. В качестве примера на рис. 3 приведена

одна из четырех возможных версий диагонального сдвига для биннинга  $4 \times 4$ . Белыми прямоугольниками на сером фоне показаны сформированные при биннинге пиксели. Подвергаемые биннингу области соседних пикселей выделены серым цветом.

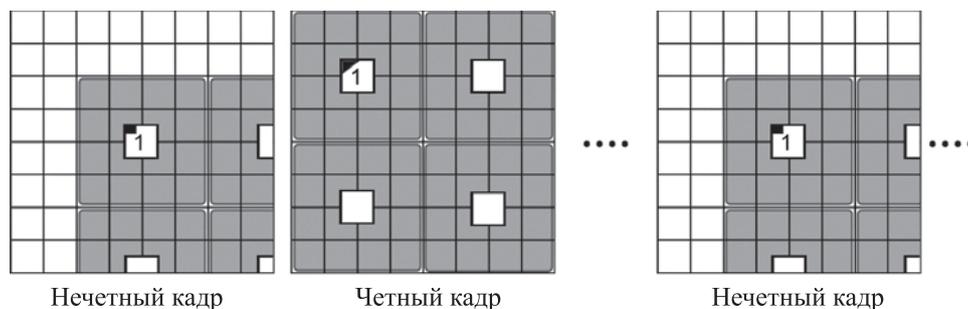


Рис. 3. Вариант диагонального сдвига для биннинга  $4 \times 4$

Перед выполнением процедуры восстановления разрешения пиксельный размер сформированных при биннинге видеокадров увеличивают, дополняя их нулевыми строками и столбцами в соответствии с примененной при биннинге версией сдвига. Пример дополнения пиксельного размера видеокадров нулевыми строками и столбцами для биннинга  $4 \times 4$  (см. рис. 3) приведен на рис. 4.

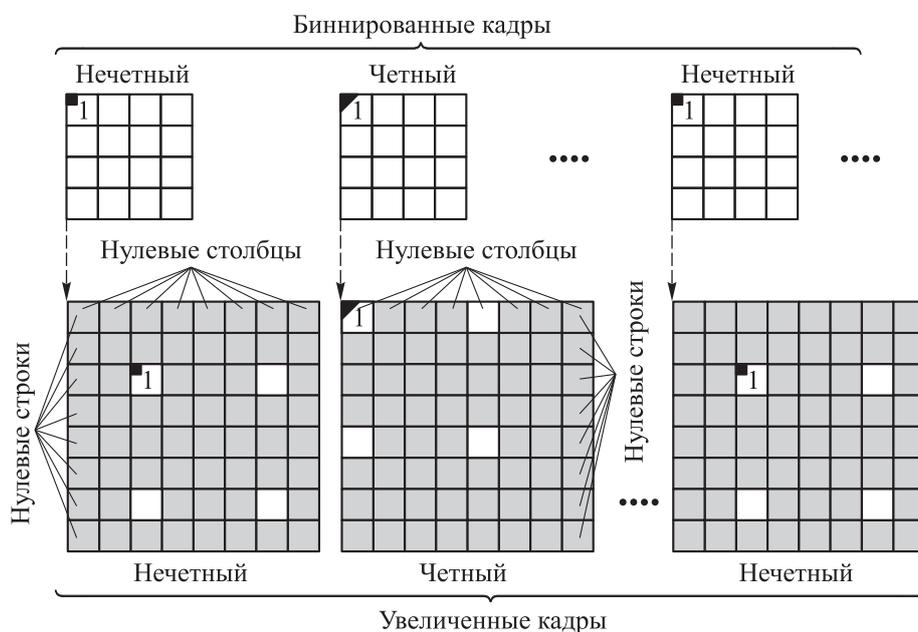


Рис. 4. Дополнение видеокадров нулевыми строками и столбцами для биннинга  $4 \times 4$

В результате увеличения пиксельного размера образуется пространственно-временная решетка видеокадров с шахматным расположением отсчетов, которые формируют разреженные выборки пикселей на неортогональном растре дискретизации. Такие данные в принципе не соответствуют основным требованиям теоремы отсчетов и для их восстановления необходима разработка многомерных интерполяционных ФНЧ с большими протяженностями апертуры ПЧХ [19].

Для реализации такого интерполяционного пространственно-временного ФНЧ применена комбинированная рекурсивная структура с нерекурсивными цепями обратной связи (ЦОС), состоящая из последовательно подключенных друг к другу трех-, дву- и одномерного звеньев. Указанная структура при сравнительно небольшой вычислительной сложности, что важно при аппаратной реализации, позволяет сформировать близкую к октаэдру область пропускания ПЧХ, которая хорошо согласуется со спектрами реальных изображений и тем самым позволяет восстанавливать видеоизображения с небольшими потерями [20].

Согласно методу синтеза комбинированных рекурсивно-нерекурсивных фильтров, ПЧХ предлагаемого восстанавливающего трехмерного ФНЧ записывается в виде [21]:

$$K(v_1, v_2, v_3) = \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_3})}{1 - \hat{\beta}(v_1, v_2)e^{-j\pi v_3}} [1 - \hat{\beta}(v_1, v_2)] \times \\ \times \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_2})}{1 - \hat{\beta}(v_1)e^{-j\pi v_2}} [1 - \hat{\beta}(v_1)] \frac{0,5(1 + e^{-j\pi v_1})}{1 - \beta e^{-j\pi v_1}} [1 - \beta], \quad (4)$$

где ПЧХ двумерной нерекурсивной ЦОС трехмерного звена имеет вид

$$\hat{\beta}(v_1, v_2) = 0,532 + 2[-0,154(\cos(\pi v_1) + \cos(\pi v_2)) - \\ - 0,06(\cos(2\pi v_1) + \cos(2\pi v_2))] + 4[-0,104 \cos(\pi v_1) \cos(\pi v_2) - \\ - 0,017(\cos(2\pi v_1) \cos(\pi v_2) + \cos(\pi v_1) \cos(2\pi v_2)) + \\ + 0,027 \cos(2\pi v_1) \cos(2\pi v_2)],$$

ПЧХ одномерной нерекурсивной ЦОС двумерного звена —

$$\hat{\beta}(v_1) = 0,114 + 2(-0,389) \cos(\pi v_1) + 2(0,026) \cos(2\pi v_1) + \\ + 2(0,001) \cos(3\pi v_1) + 2(-0,040) \cos(4\pi v_1),$$

$\beta = 0,716$ ;  $1 \cdot e^{-j\pi v_3}$ ,  $1 \cdot e^{-j\pi v_2}$  и  $1 \cdot e^{-j\pi v_1}$  — комплексные коэффициенты передачи линий задержки (памяти) на кадр, строку и элемент видеокадра.

Результирующая ПЧХ (4) восстанавливающего трехмерного ФНЧ показана на рис. 5 в виде поверхности уровня  $K(v_1, v_2, v_3) = 0,8$ , где  $v_1, v_2, v_3$  — нормированные вертикальные, горизонтальные и временные частоты трехмерного пространства  $\{v_1, v_2, v_3\}$ ,  $v_3 = \frac{\Omega_t}{2\pi/(2T)}$ ,  $\Omega_t$  — частота кадров,  $T$  — межкадровый интервал.

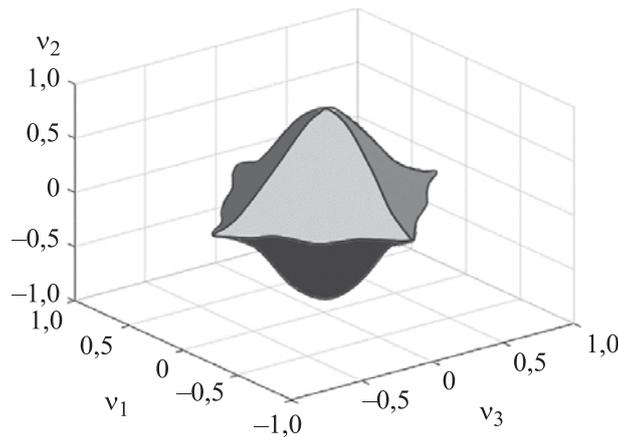
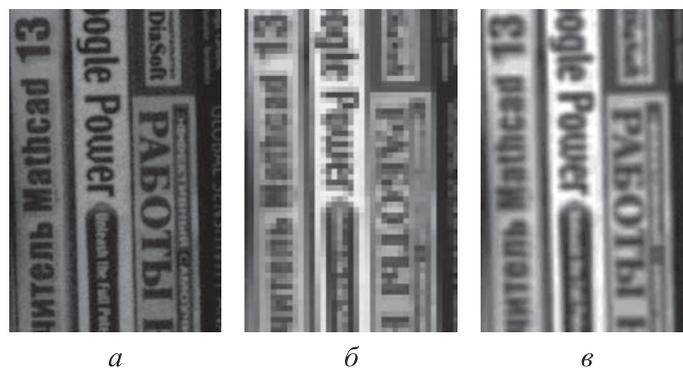


Рис. 5. Результирующая ПЧХ (4) восстанавливающего ФНЧ

Основная особенность предложенного трехмерного ФНЧ — область пропускания ПЧХ, близкая к октаэдру, которая хорошо согласуется со спектрами реальных видеоизображений и с ПЧХ зрения человека. Это позволяет наилучшим образом выделять при восстановлении видеоизображений по дискретным отсчетам основной спектр видеоизображения исходного разрешения, подавляя побочные составляющие дискретного спектра и высокочастотные шумы, что в свою очередь может дополнительно повысить ОСШ и, следовательно, чувствительность видеокамеры.

Для демонстрации возможности восстановления пространственного разрешения изображений видеокамер проведено имитационно-математическое полунатурное моделирование с использованием реальных видеоизображений, полученных видеокамерой с биннингом [6]. Пример восстановления пространственного разрешения изображения для биннинга  $4 \times 4$  показан на рис. 6. Оценку пространственного разрешения проводили по штриховым мирам Фуко [6].

**Выводы.** Результаты анализа изображений, полученных в разное время года и в разное время суток, показали следующее: ОСШ  $SNR_{ТВ}$  уменьшается на 3...15 дБ при снижении освещенности в темное время суток (см. рис. 2).



**Рис. 6.** Пример восстановления пространственного разрешения изображения для биннинга  $4 \times 4$ :

*a* — увеличенный фрагмент изображения без биннинга;  
*б* — то же с биннингом  $4 \times 4$ , *в* — восстановленный фрагмент

Эксперименты по повышению чувствительности камер видеонаблюдения показали, что биннинг  $2 \times 2$  ухудшает разрешение в 2 раза (т. е. на 100 %), при этом в каждом кадре остается 25 % информации. Как показали результаты исследования, в восстановленных кадрах потери разрешения составляют 10...20 %, а ОСШ (следовательно, чувствительность) повышается на 9...10 дБ, т. е. примерно в 10 раз. При биннинге  $4 \times 4$  в каждом кадре остается 6,25 % информации, поскольку разрешение снижается в 4 раза (т. е. на 300 %). В восстановленных кадрах потери разрешения не превышают 60 %, а ОСШ повышается примерно на 15 дБ, т. е. более чем в 30 раз. Это позволяет сделать важный вывод, что применение предложенного метода повышения чувствительности с использованием биннинга  $2 \times 2$ , а при необходимости и  $4 \times 4$ , позволит полностью скомпенсировать нехватку чувствительности видеокамеры перед наступлением темноты, что расширит диапазон ее применения в темное время суток.

В то же время аппаратная реализация алгоритма вычисления ОСШ (3) непосредственно в видеокамере позволит автоматически включать режим биннинга требуемой кратности с восстановлением пространственного разрешения для повышения чувствительности видеокамеры при снижении ОСШ ниже экспериментально определенного порога.

Полученные результаты являются предварительными и требуют дальнейших исследований, особенно в части аппаратной реализации метода повышения чувствительности видеокамер на основе биннинга с восстановлением пространственного разрешения [22] и алгоритма вычисления ОСШ  $SNR_{ТВ}$  в реальном времени непосредственно в видеокамере. Однако можно утверждать, что разработанные предложения могут

стать основой для создания камер видеонаблюдения нового поколения для различных условий применения, что будет содействовать развитию отечественного приборостроения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дрынкин В.Н., Царева Т.И. Оценка чувствительности видеокамер. *Цифровая обработка сигналов*, 2024, № 3, с. 50–54. EDN: GYAJLS
- [2] Тимофеев В. Как выбрать видеокамеру? Альтернативный метод. *Алгоритм безопасности*, 2007, № 6, с. 54–55. EDN: NXVNAT
- [3] Govenko A., Kozhemyakin A., Tyschuk Yu. The laboratory bench for the research webcams. *Достижения и перспективы инноваций и технологий. Матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*. Керчь, КГМТУ, 2019, с. 103–106. EDN: XVEEST
- [4] Сергунова К.А. Исследование и разработка методов и средств контроля характеристик магнитно-резонансных и рентгеновских компьютерных томографов. Дис. ... канд. техн. наук. СПб., ЛЭТИ, 2019.
- [5] Старченко А.Н., Филиппов В.Г., Югай Ю.А. Исследование температурной зависимости чувствительности телевизионных камер на КМОП-матрицах. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2017, т. 17, № 4, с. 628–634. DOI: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-4-628-634>
- [6] Дрынкин В.Н., Царева Т.И., Павлов Ю.В. и др. Метод повышения чувствительности видеокамер на основе биннинга с восстановлением пространственного решения. *Цифровая обработка сигналов*, 2020, № 4, с. 58–63. EDN: DOIHSL
- [7] Минь Д.Б., Коротаев В.В., Тимофеев А.Н. и др. Влияние характеристик модулей стенда на погрешности определения параметров видеокамер с матричными КМОП-фотоприемниками. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2020, т. 63, № 1, с. 46–54.  
DOI: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-1-46-54>
- [8] Свиридов В.П. Влияние параметров телевизионных камер на распознавание изображений в системах безопасности. *Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки*, 2005, № 33, с. 191–194. EDN: JXKNOZ
- [9] Боярчук М.А., Некрасов В.В. Обзор алгоритмов оценки отношения сигнал/шум по космическим снимкам. *Матер. пятой междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»*, 2017, с. 131–141.
- [10] Лапшенков Е.М. Неэталонная оценка уровня шума цифрового изображения на основе гармонического анализа. *Компьютерная оптика*, 2012, № 3, т. 36, с. 439–447. EDN: PDCDGP
- [11] Fan L., Zhang F., Fanet H., et al. Brief review of image denoising techniques. *Vis. Comput. Ind. Biomed. Art*, 2019, vol. 2, art. 7.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0016-7>

- [12] Катулев А.Н., Храмичев А.А., Ягольников С.В. Цифровая обработка 2D слабо-контрастных изображений, формируемых оптико-электронным прибором в сложных фоновых условиях. М., Радиотехника, 2018.
- [13] Мальцев Г.Н. Выбор режима регистрации изображений в оптических информационных системах с матричными фотоприемниками. *Информационно-управляющие системы*, 2004, № 2, с. 2–5. EDN: KYOKDX
- [14] Цуккерман И.И., ред. Цифровое кодирование телевизионных изображений. М., Радио и связь, 1981.
- [15] Бородянский А.А., Дрынкин В.Н. Вертикально-временная фильтрация в системах телевидения повышенной четкости. Рязань, Рязан. радиотехн. ин-т, 1986.
- [16] Дрынкин В.Н. Многомерная цифровая фильтрация в оптико-электронных системах видеонаблюдения. М., ГосНИИАС, 2024.
- [17] Горбачев В.А., Гродзицкий Л.В., Данилов С.Ю. и др. База данных регистрации объектов, полученных с использованием программных имитаторов распределенного мониторинга на основе группы беспилотных летательных аппаратов с целевыми полезными нагрузками в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах. БД 2023621349. Заявл. 11.04.2023, опублик. 27.04.2023.
- [18] Титухин Н.А., Кустикова М.А. Исследование способов регулировки чувствительности и расширения динамического диапазона видеокамер для обеспечения работы в сложных условиях. *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО*, 2016, т. 5, с. 93–95. EDN: ZOPGNB
- [19] Drynkin V.N., Nabokov S.A., Tsareva T.I. Non-orthogonal sampling as the basis for video data compression and reconstruction. *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2019, vol. 58, no. 3, pp. 454–466. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230719030080>
- [20] Бородянский А.А., Дрынкин В.Н. Синтез многомерных рекурсивно-нерекурсивных фильтров. *Радиотехника*, 1986, № 4, с. 47–51. EDN: VAKXTB
- [21] Drynkin V.N., Nabokov S.A., Tsareva T.I. Video images compression and restoration methods based on optimal sampling. *Comput. Opt.*, 2019, vol. 43, no. 1, pp. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2019-43-1-115-122>
- [22] Дрынкин В.Н., Царева Т.И., Павлов Ю.В. Способ повышения чувствительности и частоты кадров видеокамер. Патент РФ 2757667. Заявл. 02.12.2020, опублик. 20.10.2021.

**Дрынкин Владимир Николаевич** — начальник сектора ФАУ «ГосНИИАС» (Российская Федерация, 125319, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

**Павлов Юрий Васильевич** — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФАУ «ГосНИИАС» (Российская Федерация, 125319, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

**Царева Татьяна Игоревна** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФАУ «ГосНИИАС» (Российская Федерация, 125319, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Дрынкин В.Н., Павлов Ю.В., Царева Т.И. Предложения по разработке камер видеонаблюдения повышенной чувствительности. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2025, № 1 (150), с. 18–33. EDN: XWVLF D

**PROPOSALS FOR THE DEVELOPMENT OF HIGH-SENSITIVITY SURVEILLANCE CAMERAS**

**V.N. Drynkin**  
**Yu.V. Pavlov**  
**T.I. Tsareva**

[drynkinv@gosniias.ru](mailto:drynkinv@gosniias.ru)  
[pavlov@gosniias.ru](mailto:pavlov@gosniias.ru)  
[tsareva@gosniias.ru](mailto:tsareva@gosniias.ru)

**State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

The article proposes an algorithm for estimating the sensitivity of video cameras to the signal-to-noise ratio based on the analysis of the spectral density distribution of signal power and noise in real video images. The algorithm is being tested on a large number of real visible range images obtained at different times of the year and at different times of the day. A good correspondence of the obtained signal-to-noise values to the illumination level of the scene is shown in comparison with other algorithms. The hardware implementation of the algorithm directly in the video camera will allow you to automatically turn on the sensitivity mode when the signal-to-noise level drops below a certain threshold when the illumination of the scene decreases. As a mode of increased sensitivity, a method based on hardware binning with restoration of spatial resolution is proposed. To ensure the restoration of spatial resolution, binning in neighboring video frames is carried out with a diagonal shift of at least one pixel of the photosensitive matrix of the video camera. In this case, a space-time grid of pixels is formed, interspersed with zero rows and columns, in the form of a checkerboard, which is then subjected to three-dimensional interpolation filtering. According to the experimental results, depending on the frequency of binning, the signal-to-noise ratio increases by 10–15 dB. The pixel size of the video frames is fully restored, and the spatial resolution is restored to 80% of the original with  $2 \times 2$  binning and at least 40 % with  $4 \times 4$  binning

**Keywords**

*Hardware binning, increased sensitivity of video cameras, increased spatial resolution, three-dimensional spatiotemporal filtering, signal-to-noise ratio*

Received 08.05.2024

Accepted 06.12.2024

© Author(s), 2025

## REFERENCES

- [1] Drynkin V.N., Tsareva T.I. Evaluation of video cameras sensitivity. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing], 2024, no. 3, pp. 50–54 (in Russ.). EDN: GYAJLS
- [2] Timofeev V. How to choose a video camera? Alternative method. *Algoritm bezopasnosti*, 2007, no. 6, pp. 54–55 (in Russ.). EDN: NXVNAT
- [3] Govenko A., Kozhemyakin A., Tyschuk Yu. [The laboratory bench for the research webcams]. *Dostizheniya i perspektivy innovatsiy i tekhnologiy. Mater. VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Recent Achievements and Prospects of Innovations and Technologies. Proc. VIII Russ. Sci.-Pract. Conf. of Students, Post-Graduates and Young Scientists]. Kerch, KGMTU Publ., 2019, pp. 103–106 (in Russ.). EDN: XVEECT
- [4] Sergunova K.A. Issledovanie i razrabotka metodov i sredstv kontrolya kharakteristik magnitno-rezonansnykh i rentgenovskikh kompyuternykh tomografov. Dis. kand. tekh. nauk [Research and development of methods and means of monitoring the characteristics of magnetic resonance and X-ray computed tomographs. Cand. Sc. (Eng.) Diss.]. St. Petersburg, LETI Publ., 2019 (in Russ.).
- [5] Starchenko A.N., Filippov V.G., Yugay Yu.A. Sensitivity temperature dependence research of tv-cameras based on silicon matrixes. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2017, vol. 17, no. 4, pp. 628–634 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-4-628-634>
- [6] Drynkin V.N., Tsareva T.I., Pavlov Yu.V., et al. Method for increasing the sensitivity of video cameras based on binning with restoration of spatial resolution. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing], 2020, no. 4, pp. 58–63 (in Russ.). EDN: DOIHSL
- [7] Min D.B., Korotaev V.V., Timofeev A.N., et al. Influence of stand module characteristics on the error in determining parameters of video cameras with matrix CMOS photodetectors. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2020, vol. 63, no. 1, pp. 46–54 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-1-46-54>
- [8] Sviridov V.P. The influence of television camera parameters on image recognition in security systems. *Vestnik SamGTU. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series], 2005, no. 33, pp. 191–194 (in Russ.). EDN: JXKNOZ
- [9] Boyarchuk M.A., Nekrasov V.V. [Review of algorithms for estimating the signal-to-noise ratio from satellite images]. *Mater. pyatoy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktualnye problemy sozdaniya kosmicheskikh sistem distantsionnogo zondirovaniya Zemli"* [Proc 5th Int. Sci.-Tech. Conf. Actual Problems of Space Systems Design for Remote Sensing of the Earth], 2017, pp. 131–141 (in Russ.).

- [10] Lapshenkov E.M. No reference estimation of noise level of digital image is based on harmonic analysis. *Kompyuternaya optika* [Computer Optics], 2012, no. 3, vol. 36, pp. 439–447 (in Russ.). EDN: PDCDGP
- [11] Fan L., Zhang F., Fanet H., et al. Brief review of image denoising techniques. *Vis. Comput. Ind. Biomed. Art*, 2019, vol. 2, art. 7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0016-7>
- [12] Katulev A.N., Khramichev A.A., Yagolnikov S.V. Tsifrovaya obrabotka 2D slabokontrastnykh izobrazheniy, formiruemykh optiko-elektronnym priborom v slozhnykh fonovykh usloviyakh [Digital processing of 2D low-contrast images generated by an optical-electronic device in difficult background conditions]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2018.
- [13] Maltsev G.N. The choice of images registration mode in optical information systems with matrix photodetectors. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2004, no. 2, pp. 2–5 (in Russ.). EDN: KYOKDX
- [14] Tsukkerman I.I., ed. Tsifrovoe kodirovanie televizionnykh izobrazheniy [Digital coding of television images]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981.
- [15] Borodyanskiy A.A., Drynkin V.N. Vertikalno-vremennaya filtratsiya v sistemakh televideniya povyshennoy chetkosti [Vertical-time filtering in high-definition television systems]. Ryazan, Ryazan Radio Engineering Inst. Publ., 1986.
- [16] Drynkin V.N. Mnogomernaya tsifrovaya filtratsiya v optiko-elektronnykh sistemakh videonablyudeniya [Multidimensional digital filtering in optical-electronic video surveillance systems]. Moscow, GosNIIAS Publ., 2024.
- [17] Gorbachev V.A., Grodzitskiy L.V., Danilov S.Yu., et al. Baza dannykh registratsii obektov, poluchennykh s ispolzovaniem programmnykh imitatorov raspredelennogo monitoringa na osnove gruppy bespilotnykh letatelnykh apparatov s tselevymi poleznymi nagruzkami v vidimom, infrakrasnom i radiolokatsionnom diapazonakh [Registration database of objects obtained using software simulators of distributed monitoring based on a group of unmanned aerial vehicles with target payloads in the visible, infrared and radar ranges]. BD 2023621349. Appl. 11.04.2023, publ. 27.04.2023 (in Russ.).
- [18] Titukhin N.A., Kustikova M.A. Research on ways to adjust sensitivity and expand the dynamic range of video cameras to ensure operation in difficult conditions. *Almanakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh Universiteta ITMO*, 2016, vol. 5, pp. 93–95 (in Russ.). EDN: ZOPGNB
- [19] Drynkin V.N., Nabokov S.A., Tsareva T.I. Non-orthogonal sampling as the basis for video data compression and reconstruction. *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2019, vol. 58, no. 3, pp. 454–466. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230719030080>
- [20] Borodyanskiy A.A., Drynkin V.N. Synthesis of multidimensional recursive-non-recursive filters. *Radiotekhnika*, 1986, no. 4, pp. 47–51 (in Russ.). EDN: VAKXTB
- [21] Drynkin V.N., Nabokov S.A., Tsareva T.I. Video images compression and restoration methods based on optimal sampling. *Comput. Opt.*, 2019, vol. 43, no. 1, pp. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2019-43-1-115-122>

[22] Drynkin V.N., Tsareva T.I., Pavlov Yu.V. Sposob povysheniya chuvstvitelnosti i chastoty kadrov videokamer [Method for increasing sensitivity and frame rate of video cameras]. Patent RU 2757667. Appl. 02.12.2020, publ. 20.10.2021 (in Russ.).

**Drynkin V.N.** — Sector Head, State Research Institute of Aviation Systems (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125167 Russian Federation).

**Pavlov Yu.V.** — Cand. Sc. (Eng.), Leading Researcher, State Research Institute of Aviation Systems (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125167 Russian Federation).

**Tsareva T.I.** — Cand. Sc. (Biol.), Senior Researcher, State Research Institute of Aviation Systems (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125167 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Drynkin V.N., Pavlov Yu.V., Tsareva T.I. Proposals for the development of high-sensitivity surveillance cameras. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2025, no. 1 (150), pp. 18–33 (in Russ.).

EDN: XWVLFD