

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION-COMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.93'1:004.932:004.021

DOI: 10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-291-301

Оценка вероятности выполнения целевых функций автомата видеоконтроля

Н.В. Степанов

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва,
Россия*

stepanov@olvs.miee.ru

Качество работы систем автоматического видеоконтроля определяется оптическими характеристиками видеокамеры и особенностями самого алгоритма видеобработки. Критерием эффективности применения автоматического видеоконтроля может служить вероятность выполнения заданной целевой функции. В работе предложен способ оценки эффективности работы автоматической аппаратуры видеоконтроля фоноцелевой обстановки – определение вероятности выполнения целевых функций (обнаружения, захвата и автосопровождения объекта). Теоретическая оценка вероятности выполнения целевых функций построена на базе критерия Джонсона и с использованием модели оптимального приемника. Результаты экспериментальной проверки предложенного способа показали, что обнаружение объекта происходит при уровне отношения сигнал/шум более 6. Данный уровень можно рассматривать как нижний уровень гарантированного обнаружения объекта с вероятностью 0,9.

Ключевые слова: обработка изображений; обнаружение объекта; захват объекта; автосопровождение объекта; вероятность обнаружения объекта; распознавание изображений

Для цитирования: Степанов Н.В. Оценка вероятности выполнения целевых функций автомата видеоконтроля // Изв. вузов. Электроника. 2021. Т. 26. № 3-4. С. 291–301. DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-291-301>

Estimation of the Automated Video Control Device's Target Functions Performance Probability

N.V. Stepanov

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

stepanov@olvs.miee.ru

Abstract: Operating quality of automated video control systems depends on optical specifications of video camera and peculiar features of video algorithm. Specified target function performance probability can serve as criterion of automated video control use efficiency. In this work, a new performance efficiency estimation method for automated equipment of target environment video control is suggested: to estimate the probability of target functions' (object detection, capture, and auto tracking) performance. Theoretical prediction of target functions performance probability was built upon Johnson's criterion and the use of optimal receiver model. The results of suggested method's experimental verification have shown that target detection occurred when signal/noise ratio level was above 6. This level can be regarded as low value to ensure that object is detected with probability 0.9.

Keywords: image processing; object detection; object capture; object auto tracking; target detection probability; image recognition

For citation: Stepanov N.V. Estimation of the automated video control device's target functions performance probability. *Proc. Univ. Electronics*, 2021, vol. 26, no. 3-4, pp. 291–301. DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-291-301>

Введение. Автоматическая обработка видеоданных от объектов широко применяется в системах видеонаблюдения и видеоконтроля [1, 2]. Развитию автоматизации таких систем способствуют рост числа различных алгоритмических методов распознавания изображений, прежде всего алгоритмов глубокого обучения (Deep Learning) [3], а также появление нового класса вычислительного оборудования – микросуперкомпьютеров, например NVidia Jetson [4]. Качество работы систем автоматического видеоконтроля во многом определяется как оптическими характеристиками видеокамеры, так и особенностями самого алгоритма видеообработки. Поэтому эффективность применения таких систем следует оценивать с учетом параметров видеосенсора для рационального выбора типа и оптической конструкции источника входных данных. При этом критерием эффективности может служить вероятность выполнения заданной целевой функции (ЦФ).

Рассматриваемой проблеме посвящен ряд работ [5–7], в которых подробно исследуются вопросы выбора рабочего диапазона систем видеонаблюдения, определения типа и требований к фотоприемнику, дается оценка качества и дальности обнаружения объектов. При этом основное внимание уделяется оптической части системы без учета специфики дальнейшей обработки видеоизображения. В настоящей работе предлагается упрощенный способ оценки эффективности применения систем автоматического видеоконтроля, в которых роль человека сведена к минимуму. Такой подход к оценке автоматических видеосистем представляется актуальным.

Способы решения проблемы получения качественного исходного видеоизображения. Выбор видеокамеры для автоматических систем видеонаблюдения и видеоконтроля, или автомата видеоконтроля (АВК), как правило, начинается с подбора параметров объектива и видеоматрицы [8–10]. Выбрать оптическую и электронную части АВК для конкретных условий применения помогают специальные калькуляторы [11]. Для определения требуемых характеристик видеокамеры используются следующие соотношения геометрической оптики [12]:

$$F = hL/H, \quad (1)$$

где F – фокусное расстояние объектива; h – размер изображения объекта на видеоматрице; L – дальность до объекта; H – размер (габарит) объекта;

$$\omega = 2\arctg(R/(L+R)), \quad (2)$$

где ω – угловое поле зрения видеокамеры; R – радиус поля зрения.

Размер изображения можно представить как

$$h = dn/N, \quad (3)$$

где d , n – минимальные габариты соответственно видеоматрицы и изображения в пикселях; N – число пикселей в столбце видеоматрицы.

Выражения (1) и (2) можно представить в виде

$$F = dnL/H, \quad (4)$$

$$\omega = 2\arctg(HN/(2Ln+HN)). \quad (5)$$

Таким образом, задавая требуемый размер изображения в пикселях и выбирая соответствующую видеоматрицу, можно оценить оптические характеристики АВК или по заданным оптическим и геометрическим параметрам выбрать параметры видеоматрицы. Отметим, что данный подход к оценке характеристик видеокамер достаточно широко распространен на практике. Однако для точного расчета требуются учет дополнительных условий съемки и специальное программное обеспечение, например Zemax [13].

Определив минимальный габарит изображения объекта на фокальной плоскости в пикселях видеоматрицы, можно оценить вероятность выполнения ЦФ АВК (функций обнаружения, захвата и автосопровождения). Такая оценка может проводиться как теоретически, так и экспериментально. Для теоретической оценки вероятности ЦФ предлагается применять способы, основанные на критерии Джонсона. Экспериментальная оценка опирается на результаты исследования качества работы созданного в МИЭТ автомата видеоконтроля, при этом используются специально разработанные тестовые видеопоследовательности.

Теоретическая оценка вероятности выполнения ЦФ. Исходя из того, что алгоритмы выполнения ЦФ (обнаружения, захвата и автосопровождения) основаны на общем принципе сравнения характеристик «эталоны» и объекта, можно сделать вывод о возможности применения единой теоретической оценки вероятности принятия правильного решения для всех ЦФ.

Оценка вероятности выполнения ЦФ по критерию Джонсона. Для оценки вероятности выполнения ЦФ используется критерий Джонсона [14], широко применяемый в телевизионной технике для расчета характеристик оптических систем наблюдения. Данный критерий предполагает участие оператора и основан на использовании возможностей зрения человека в части решения задачи распознавания образов. Приме-

нение критерия Джонсона для систем автоматического обнаружения и сопровождения дает возможность сравнивать качество выполнения ЦФ человеком и аппаратурой.

Оценим вероятность принятия правильного решения при выполнении ЦФ АВК. Предполагается, что искомый объект обязательно находится в поле зрения фотоприемника. Согласно критерию Джонсона общую задачу классификации объектов целесообразно разбить на три подзадачи (обнаружение, распознавание и идентификация цели) и проводить отдельную оценку вероятности верного решения этих подзадач. Под верным решением понимается правильное определение:

- координат некоторого похожего на «эталон» объекта (обнаружение);
- класса обнаруженного объекта в соответствии с «эталоном» (распознавание);
- типа обнаруженного объекта в соответствии с «эталоном» (идентификация).

Термин «верное решение» означает субъективную оценку результата действия человека-наблюдателя и не имеет четкого математического определения, хотя суммарный результат «верного решения» оценивается строго статистически по результатам практики. Под определением класса понимается отнесение объекта к определенному отличительному виду на видеоизображении, например это характерные видимые размеры, форма. Под определением типа понимается более детальная идентификация объекта, например выделение отдельных характерных признаков (наличие определенных элементов одежды, положение частей тела человека, наличие характерных элементов конструкции объекта), пестрота видимого профиля изображения. Решение задачи обнаружения сводится к определению местоположения объекта, задачи распознавания – к определению того, что найденный объект может представлять интерес, задачи идентификации – к распознаванию его типа для принятия эффективного решения.

При выполнении конкретных расчетов зададим типовые габариты целевого объекта, например составляющие 2×1 м. Будем считать, что данные параметры мало отличаются для разных целевых объектов. Тогда, учитывая определенное на основе соотношений (4) и (5) разрешение оптической системы АВК (матрица 1,27", фокусное расстояние объектива 7 мм, дальность до объекта 250 м, угол обзора 25°), составляющее 7 пикселей/м, типовые размеры целевого объекта будут составлять 14×7 пикселей.

Для применения критерия Джонсона необходимо задать критический (наименьший) видимый размер целевого объекта и выразить его в парах линий разрешения видеоизображения (разделить на 2). В рассматриваемом случае критический размер объекта составит 3,5 пар линий разрешения. С учетом $\pm 25\%$ разброса полученных экспериментально результатов применения критерия Джонсона минимальное разрешение принимается равным 2,5 пар линий для наихудшего случая. Далее, используя таблицу, в которой показана зависимость вероятности обнаружения объекта от неравномерности фона и разрешения изображения (в парах линий), дадим теоретическую оценку вероятности выполнения ЦФ. В данном случае применяется упрощенная модель фоноцелевой обстановки: фон разделен на три группы по показателю неравномерности.

Вероятность обнаружения объекта по критерию Джонсона
Probability of object detection by the Johnson criterion

Вероятность обнаружения	Неравномерность фона		
	низкая ($SCR > 10$)	средняя ($1 < SCR < 10$)	высокая ($SCR < 1$)
1,0	1,7	2,8	–
0,95	1,0	1,9	–
0,9	0,9	1,7	7,0
0,8	0,75	1,3	5,0
0,5	0,5	1,0	2,5

Неравномерность фона определяется по следующей формуле:

$$SCR = \frac{M - m_n}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 / N)}} \quad (6)$$

где SCR (Signal to Clutter Ratio) – отношение сигнала к фону; M – максимальная интенсивность излучения целевого объекта; m_n – математическое ожидание интенсивности фона; σ_i – среднеквадратическое отклонение интенсивности фона i квадрата; N – число квадратов разбиения фона.

При использовании формулы (6) предполагается, что весь фон разбивается на N смежных квадратов со стороной, равной удвоенному критическому размеру целевого объекта в пикселах. Полагая, что среднеквадратические отклонения интенсивности квадратов разбиения приблизительно равны, а также, что M больше среднеквадратического отклонения интенсивности целевого объекта σ_n , получаем $SCR > SNR$, где SNR (Signal to Noise Ratio) – отношение сигнал/шум (ОСШ), которое определяется как

$$SNR = \frac{m_o - m_n}{\sigma_n} \quad (7)$$

Заменив в таблице показатель SCR на SNR и задав типичное значение $SNR > 6$, определим вероятность выполнения ЦФ для заданной неравномерности фона и полученного разрешения целевого объекта. При наименьшем допустимом SNR оценочная вероятность обнаружения объекта составляет 0,95.

Отметим, что приведенная оценка относится только к одной из функций АВК – обнаружению. Согласно критерию Джонсона для надежного распознавания требуемое разрешение необходимо увеличить в 4 раза, что приведет к эквивалентному уменьшению оценки числа пар линий на критический размер. Значит, при использовании данного критерия для распознавания разрешение объекта необходимо принять равным 0,6 пар линий. Тогда наибольшая вероятность выполнения ЦФ составит только 0,5 для равномерного фона $SCR > 10$. Для идентификации требуется уже шестикратное уменьшение оценки числа пар линий на критический размер, что приводит к выводу о невозможности достоверного выполнения ЦФ. Таким образом, данная видеосистема может быть использована только для обнаружения и распознавания.

Оценка вероятности выполнения ЦФ с использованием модели эквивалентного оптимального приемника. В отличие от систем видеонаблюдения, где наблюдателем является человек, для АВК оценку вероятности выполнения ЦФ необходимо проводить на основе теоретической модели эквивалентного оптимального приемника, которая не предполагает участия человека [15]. Такая модель первоначально строится для фоноцелевой обстановки (ФЦО) с равномерным фоном, а затем учитывается неравномерность яркости окружения. При этом основное соотношение, определяющее искомую вероятность обнаружения объекта P_o , имеет вид

$$P_o = \Phi(q_s/2), \quad (8)$$

где Φ – интеграл вероятности Лапласа; q_s – суммарное ОСШ оптимального фотоприемника, которое вычисляется на основе учета уровней помехи пространственной дискретизации и случайного шума:

$$q_s = \frac{q_1 q_2}{\sqrt{q_1^2 + q_2^2}} \quad (9)$$

Здесь q_1 и q_2 – ОСШ соответственно пространственной дискретизации и остальных шумовых составляющих.

Согласно теоретическим оценкам и практической проверке, выполненных в АО «НИИ ОЭП» (г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.), составляющие ОСШ могут быть определены следующим образом [15]:

$$q_1 = 4A,$$

$$q_2 = \frac{\sqrt{A} \cdot |N_o - N_f|}{\sqrt{(N_o + N_f + 2N_m) / 2 + N_p^2 + N_c^2}}, \quad (10)$$

где A – площадь объекта, выраженная в элементах разрешения; N_o – абсолютная максимальная яркость (интенсивность) объекта; N_f – абсолютная яркость равномерного фона; N_m – средняя яркость свечения монитора; N_p – средняя оценка шума фотоприемника; N_c – оценка шума квантования фотоприемника.

В рассматриваемом случае использование средств отображения информации не предполагается, поэтому полагаем $N_m = 0$. Кроме того, шум квантования и собственный шум фотоприемника будут достаточно малы, так как видеодатчик реализует 12-разрядное преобразование, а в системе используются только восемь старших разрядов и выполняется калибровка. Следовательно, $N_p = 0$ и $N_c = 0$.

Используя принятую модель изображения, зададим площадь объекта $A = 14 \times 7$ элементов разрешения. Яркость равномерного фона можно считать равной $N_f = 128$ (середина 8-разрядной шкалы), что достигается при калибровке фотоприемника. Диапазон изменения яркости объекта принимаем как $N_o = 128 \dots 255$ (объект ярче, чем фон).

Итоговое значение интеграла вероятности по формуле (8) получим, проведя подстановку $x = (N_o - B) / B$, где $B = N_f$ и $y = P_o(N_o)$. Подстановка по оси x выполнена для сопоставления данных результатов с полученными ранее, так как соотношение $(N_o - B) / B$ эквивалентно ОСШ для равномерного фона без учета пространственной дискретизации и дополнительных шумов. На рис.1 показана зависимость вероятности выполнения ЦФ от ОСШ для обнаружения, распознавания и идентификации объекта на равномерном фоне, на фоне средней и высокой неравномерности.

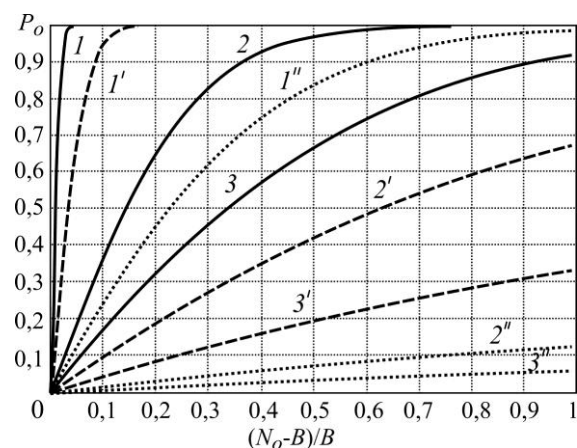


Рис.1. Оценка вероятности выполнения ЦФ: — равномерный фон; ---- средняя неравномерность фона; высокая неравномерность фона (1, 1', 1'' – обнаружение; 2, 2', 2'' – распознавание; 3, 3', 3'' – идентификация)

Fig.1. Estimation of the probability of performing target function: — uniform background; ---- average background unevenness; high background unevenness (1, 1', 1'' – detection; 2, 2', 2'' – recognition; 3, 3', 3'' – identification)

В случае распознавания объекта в соответствии с критерием Джонсона суммарное ОСШ оптимального фотоприемника q_s уменьшено в 4 раза. Аналогично, исходя из того же критерия для идентификации, q_s уменьшено в 6 раз. Таким образом, для рассматриваемой ФЦО можно достигнуть очень высокой вероятности распознавания ($P_o > 0,99$) при ОСШ более 6,0.

Дополнительно для учета неравномерности фона суммарное ОСШ уменьшено в 2 и 5 раз (см. рис.1). В результате при ОСШ, равном 0,6, задача обнаружения решается с вероятностью 0,9 для всех типов фона, а задачи распознавания и идентификации решаются с высокой вероятностью лишь для равномерного фона.

Полученный результат совпадает с ранее проведенной оценкой вероятности выполнения ЦФ по критерию Джонсона. При этом если для АВК необходимо выполнять автоматическую идентификацию объектов заданных размеров (2×1 м), то оптическая система должна иметь разрешение в 2,5 раза выше (см. рис.1).

Оценка вероятности выполнения ЦФ для малых углов наблюдения. Для определения качества работы АВК необходимо провести оценку вероятности выполнения ЦФ для углов наблюдения объектов менее 60° (малых углов) относительно плоскости размещения объекта. Очевидно, что влияние малых углов на вид изображения приводит к искажению наблюдаемой формы и полному или частичному его пропаданию. Во время пропадания видимого изображения объекта реализовать ЦФ невозможно и оценка вероятности обнаружения или автосопровождения теряет смысл. Поэтому в качестве мешающего фактора ФЦО будем рассматривать только искажение формы.

Искажение формы зависит от ориентации объекта. Фактор ориентации объекта непосредственно влияет на вероятность выполнения ЦФ, которая оценивается по критерию Джонсона. При этом целевой объект классифицируется как протяженный (отношение длины к ширине составляет более 2). Тогда, если текущая ориентация объекта при малых углах дает искажение, которое приближается к видимой боковой проекции, эквивалентное уменьшение оценки числа пар линий на критический размер составит 30 %. В результате для целевого объекта при малых углах оценочное видимое разрешение составит 1,7 пар линий. Согласно таблице вероятность обнаружения в данном случае равна 0,9 для средней неравномерности ($SNR > 6$), вероятность распознавания будет менее 0,5, и надежная идентификация вообще невозможна. В случае когда искажение формы объекта для малых углов будет приближаться к изображению, соответствующему передней проекции (наименьший габарит), эквивалентное уменьшение числа пар линий на критический размер составит приблизительно 55 %. Тогда оценочное видимое разрешение составит 1,1 пар линий. Из таблицы получаем вероятность выполнения ЦФ, равную 0,5 для средней неравномерности фона, и вероятность обнаружения, равную 0,95 для низкой неравномерности фона. В этом случае оценка вероятности распознавания и идентификации будет очень низкой и надежное выполнение этих функций не гарантируется.

Таким образом, при малых углах наблюдения и заданном наименьшем допустимом ОСШ оценка вероятности обнаружения объекта для наихудшего случая составляет 0,5, что является недопустимым для систем видеоконтроля.

Оценить вероятность выполнения ЦФ для малых углов наблюдения, используя модель эквивалентного оптимального приемника, можно, задав соответствующую видимую площадь объекта A . Если положить, что $A = 14 \times 5$ элементов разрешения (типовой объект виден в проекции по максимальной длине, 5 элементов составляет высота), и использовать для расчетов формулы (8)–(10), то получим оценки вероятности выполнения ЦФ в виде графиков для задач обнаружения, распознавания и идентификации объекта на равномерном фоне, на фоне средней и высокой неравномерности (рис.2,а).

Представленные графики позволяют сделать вывод о том, что в данном случае задача обнаружения (см. рис.2,а, кривые I, I', I'') может быть решена достаточно достоверно для фона с любой неравномерностью. Для задач распознавания и идентификации имеется достаточная вероятность выполнения ЦФ только в случае равномерного фона.

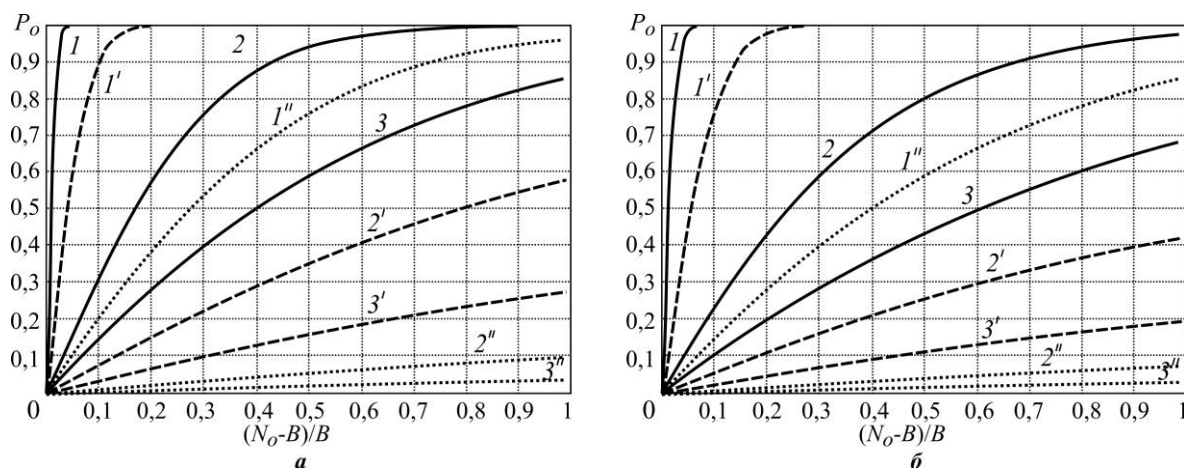


Рис.2. Оценка вероятности выполнения ЦФ для малых углов (а) и в наихудшем случае (б): — равномерный фон; ---- средняя неравномерность фона; высокая неравномерность фона (1, 1', 1'' – обнаружение; 2, 2', 2'' – распознавание; 3, 3', 3'' – идентификация)

Fig.2. Estimation of the probability of performing target function for small angles (a) and in the worst case (b): — uniform background; ---- average background unevenness; high background unevenness (1, 1', 1'' – detection; 2, 2', 2'' – recognition; 3, 3', 3'' – identification)

Значит, для реализации идентификации разрешение АВК должно быть повышено в 5 раз. Наихудшая ситуация возникает, если объект виден в проекции по меньшему геометрическому размеру при малом угле. Тогда $A = 7 \times 5$ элементов разрешения и результат расчета по (8)–(10) будет таким, как на рис.2,б. Анализ графиков показывает, что и в данном случае достаточная вероятности выполнения ЦФ имеется лишь для задачи обнаружения.

Таким образом, проведенная с использованием модели эквивалентного оптимального приемника теоретическая оценка вероятности выполнения ЦФ для малых углов наблюдения объекта в целом совпадает с аналогичной оценкой по критерию Джонсона. Для реализации идентификации в этом случае разрешение АВК должно быть повышено в 10 раз.

Экспериментальная оценка вероятности выполнения ЦФ с использованием аппаратуры АВК. Для экспериментальной оценки вероятности выполнения функций обнаружения, захвата и автосопровождения объектов, которые реализуются алгоритмом работы аппаратуры АВК, были разработаны 37 тестовых видеопоследовательностей на основе фотографий реальных объектов, их моделей и натурной видеосъемки. Тестирование выполнялось с использованием аппаратуры АВК, программного обеспечения и методик испытаний изделия, разработанных в рамках технического проекта системы видеоконтроля.

Оценка вероятности выполнения ЦФ проводилась по трем группам тестов:

- видеосъемка движущейся модели объекта с расстояния около 3 м (9 тестовых видеопоследовательностей);
- видеопоследовательности, созданные путем синтеза изображений на основе реальных фотографий различных объектов с расстояния примерно 250 м (8 тестовых видеопоследовательностей);
- набор тестов, полученных редактированием результатов видеосъемки объектов с расстояния примерно 250 м и редактированием фотоматериала с учетом изменения масштаба реальных изображений целей с расстояния менее 250 м (20 тестовых последовательностей).

Тестовые видеопоследовательности включают в себя целевые объекты (один или несколько, размер изображения объекта не менее 14×7 элементов) на ФЦО с различным заданным ОСШ (больше или меньше 6). При тестировании изделия на видеопоследовательностях с ОСШ больше 6 объект имеет достаточное видимое разрешение, поэтому при захвате выполняется надежное сопоставление с «эталоном», а при сопровождении полученное изображение позволяет достаточно точно определять положение объекта. Если ОСШ меньше 6, то из-за относительно низкого качества изображения объектов и наличия в кадре других артефактов схожей яркости, происходит захват ложного объекта. Можно сделать вывод, что обнаружение целевого объекта при таком ОСШ на изображении носит случайный характер и негарантированно.

После проведения серии экспериментов на различных тестовых наборах выявлена зависимость вероятности обнаружения объекта от уровня ОСШ (рис.3). На данном рисунке точками с числовыми значениями отмечены усредненные результаты проверок. В качестве примера одного из наборов тестов, использованных для экспериментов, можно привести видеоданные, опубликованные в [16].

Заключение. Результаты оценки качества обнаружения объекта, включающие в себя проверки при его масштабировании (изменении видимых размеров), имитация масштабирования на синтезированных видеопоследовательностях и натурная съемка, выполненные в соответствии с параметрами ФЦО, показали следующее. Обнаружение объекта достоверно происходит при уровне ОСШ более 6 (из более двух десятков проверок нет ни одного ложного захвата). Данный уровень ОСШ можно рассматривать как нижний уровень гарантированного обнаружения объекта с вероятностью 0,9.

В результате тестирования определено, что вероятность успешного нахождения на изображении целевого объекта превышает 0,9 при увеличении уровня ОСШ до 6.

Сопоставление теоретической оценки и экспериментальных проверок работы АВК показывает схожесть полученных результатов.

Литература

1. **Ворона В.А., Тихонов В.А.** Технические средства наблюдения в охране объектов. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 188 с.
2. **Смирнов В.М.** Технические средства телевизионных систем наблюдения: монография. СПб.: ГУАП, 2016. 329 с.
3. **Будума Н.** Основы глубокого обучения: создание алгоритмов для искусственного интеллекта следующего поколения / пер. с англ. А. Коробейникова. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. 298 с.
4. **NVIDIA Jetson:** ИИ-платформа для любых автономных устройств // NVIDIA Россия [Электронный ресурс] / NVIDIA Corporation. Cop. 2021. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/> (дата обращения: 10.02.2020).
5. **Кулакова Н.Н., Мишин С.В.** Анализ результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации тепловизионной системы по двум методикам // Контентант. 2015. № 3. С. 24–30.
6. **Новиков С.Н., Поликанин А.Н.** Методика расчета дальности действия тепловизора на основе объединенных параметров температурной чувствительности и разрешения // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 6–14. DOI: 10.31854/1813-324X-2019-5-4-6-14

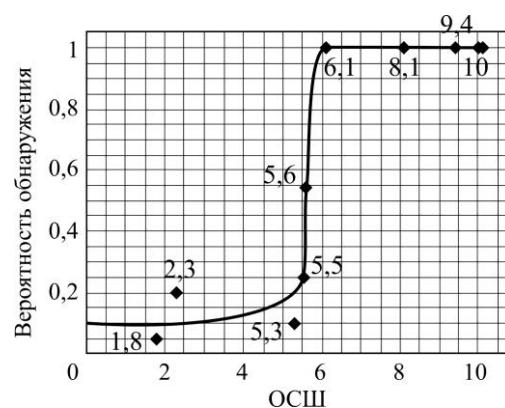


Рис.3. Результаты экспериментальной проверки работы АВК
 Fig.3. Results of the experimental verification of automatic video monitoring

7. Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденков А.В., Островский А.С. Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля // Труды МАИ. 2018. № 103. С. 21.
8. Тульева Н.Н. Киносъемочная оптика: учеб. пособие. СПб.: СПбГИКиТ, 2017. 141 с.
9. Khorokhorov A.M., Piskunov D.E., Shirankov A.F. First-order method of zoom lens design by means of generalized parameters // Journal of the Optical Society of America A. 2016. Vol. 33. No. 8. P. 1537–1545. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSAA.33.001537>
10. Как выбрать камеру видеонаблюдения – характеристики видеокамер // Video-Rec [Электронный ресурс]. Соп. 2010. URL: <http://video-rec.ru/helpful-information/cctv/characteristics-of-cctv-cameras/> (дата обращения: 12.02.2020).
11. IP video system design tool // JVSG: CCTV Design Software: [Web] / IPICA Software LLC. Соп. 2021. URL: <https://www.jvsg.com/> (дата обращения: 12.02.2020).
12. Слюсарев Г.Г. Геометрическая оптика. Изд. 2-е. М.: URSS: Ленанд, 2019. 331 с.
13. Zemax: Design for Manufacturability: [Web] / ZEMAX LLC. Соп. 2021. URL: <https://www.zemax.com/> (дата обращения 14.02.2020).
14. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 443 с.
15. Абакумова А.А., Малинова Т.П., Меденников П.А., Павлов Н.И. Программно-алгоритмический комплекс имитационного моделирования для исследования и разработки оптико-электронных систем наблюдения // Оптический журнал. 2019. Т. 86. № 8. С. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2019-86-08-56-64>
16. Laboratoire d'interprétation et de traitement d'images et vidéo (LITIV) codes and datasets // Polytechnique Montréal Technical University: [Web] / Polytechnique Montréal. Соп. 2021. URL: <https://www.polymtl.ca/litiv/en/codes-and-datasets> (дата обращения: 20.02.2020).

Поступила в редакцию 21.04.2020 г.; после доработки 01.02.2021 г.; принята к публикации 14.04.2021 г.

Степанов Николай Викторович – кандидат технических наук, системный инженер Научно-исследовательского института вычислительных систем и средств управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1), stepanov@olvs.miee.ru

References

1. Vorona V.A., Tikhonov V.A. *Technical Means of Surveillance in the Protection of Objects*. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2018. 188 p. (In Russian).
2. Smirnov V.M. *Technical Means of Television Surveillance Systems*, monograph. Saint Petersburg, State University of Aerospace Instrumentation, 2016. 329 p. (In Russian).
3. Buduma N., Locascio N. (contrib.) *Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms*. Beijing, O'Reilly Media, 2017. 298 p.
4. NVIDIA Jetson: AI-platform for any autonomous devices. (In Russian). *NVIDIA Embedded Systems for NEXT-GEN Autonomous Machines*. Available at: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/> (accessed 10.02.2020).
5. Kulakova N.N., Mishin S.V. Analysis of the results of the calculation ranges of detection, recognition and identification of thermal imaging system by two methods. *Kontenant*, 2015, no. 3, pp. 24–30. (In Russian).
6. Novikov S.N., Polikanin A.N. Calculation method of the thermal-imaging equipment operation range based on the united parameters: the temperature sensitivity and resolution. *Proceedings of Telecommunication Universities*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 6–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-4-6-14>
7. Selvesyuk N.I., Veselov Yu.G., Gaydenkov A.V., Ostrovsky A.S. Performance evaluation of objects detection and identification on an image from special optoelectronic systems for airfield observations. *Trudy MAI*, 2018, no. 103, p. 21. (In Russian).
8. Tulyeva N.N. *Camera Optics*. Saint Petersburg, St. Petersburg State Institute of Film and Television, 2017. 141 p. (In Russian).
9. Khorokhorov A.M., Piskunov D.E., Shirankov A.F. First-order method of zoom lens design by means of generalized parameters. *JOSA A*, 2016, vol. 33, no. 8, pp. 1537–1545. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSAA.33.001537>

10. How to choose a CCTV camera – Characteristics of cameras. (In Russian). *Video-Rec*. Available at: <http://video-rec.ru/helpful-information/cctv/characteristics-of-cctv-cameras/> (accessed 12.02.2020).
11. CCTV Design Software. *JVSG*. Available at: <https://www.jvsg.com/> (accessed 12.02.2020).
12. Slyusarev G.G. *Geometrical Optics*. 2nd ed. Moscow, URSS, Lenand, 2019. 331 p. (In Russian).
13. Design for Manufacturability. *Zemax*. Available at: <https://www.zemax.com/> (accessed 14.02.20).
14. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. *Watch-Type Infrared Systems*. Moscow, Logos Publ., 2004, 452 p. (In Russian).
15. Abakumova A.A., Malinova T.P., Medennikov P.A., Pavlov N.I. Algorithmic simulation-modeling software complex for the investigation and development of optoelectronic observation systems. *Journal of Optical Technology*, 2019, vol. 86, no. 8, pp. 503–509. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.86.000503>
16. Laboratoire d'Interprétation et de Traitement d'Images et Vidéo (LITIV). Codes and Datasets. *Polytechnique Montréal Technical University*. Available at: <https://www.polymtl.ca/litiv/en/codes-and-datasets> (accessed 20.02.2020).

Received 21.04.2020; Revised 01.02.2021; Accepted 14.04.2021.

Information about the author:

Nikolay V. Stepanov – Cand. Sci. (Eng.), System Engineer of the Research Institute of Computational Systems and Controls, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), stepanov@olvs.miee.ru

**Вниманию читателей журнала
«Известия высших учебных заведений. Электроника»**

**Подписку на электронную версию журнала
можно оформить на сайтах:**

- Научной электронной библиотеки: www.elibrary.ru
- ООО «Агентство «Книга-Сервис»»: www.rucont.ru; www.akc.ru;
www.pressa-rf.ru
- ООО «УП Урал-Пресс»: www.delpress.ru
- ООО «ИВИС»: www.ivis.ru