

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 621.396.969.3

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях

¹⁾ Петров Д.В., ²⁾ Жилияков Е.Г., ²⁾ Черноморец Д.А., ²⁾ Болгова Е.В., ²⁾ Черноморец А.А.

¹⁾ Общество с ограниченной ответственностью «Манатекс»,
Россия, 308000, г. Белгород, пр-т Славы 35а, оф. 301

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

Аннотация. В работе рассмотрена возникающая при разработке систем видеонаблюдения задача выбора размеров прецедента при обнаружении объектов на изображениях с учетом характеристик оптико-электронной системы. На примере показано, что для решения задачи обнаружения на цифровых изображениях объектов, находящихся на различном расстоянии от наблюдателя, на основе сравнения с прецедентами существенным является соответствующий выбор размера прецедента, который зависит от характеристик применяемой цифровой видеокамеры. Рассмотрены примеры областей применения в задачах наблюдения видеокамер с различным эквивалентным фокусным расстоянием. Приведены соотношения для определения эквивалентного фокусного расстояния объектива (эквивалент 35 мм) на основании значения фактического фокусного расстояния объектива видеокамеры, определяемого его конструктивными особенностями. Приведены соотношения для вычисления размеров прецедента, соответствующего наблюдаемому объекту заданного размера и расположенного на известном расстоянии от наблюдателя, с учетом характеристик оптико-электронной системы. Приведены примеры значений размеров объекта (пиксели) на изображении в зависимости от расстояния до объекта заданных размеров (м) на наблюдаемой сцене при различных значениях характеристик цифровой видеокамеры. Разработан алгоритм решения задачи обнаружения объектов на изображении на основе анализа прецедентов, размеры которых зависят от характеристик применяемой видеокамеры, а также от размеров искомого объекта и расстояния от него до наблюдателя. Приведены примеры обнаружения объектов на изображениях с учетом характеристик цифровой видеокамеры.

Ключевые слова: обнаружение объектов, изображение, видеокамера, эквивалентное фокусное расстояние, размерность фотоматрицы, размер прецедента, размер объекта, расстояние до объекта

Для цитирования: Петров Д.В., Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. 2022. О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях. Экономика. Информатика, 49(2): 339–348. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

On Choosing the Precedent Size in the Problem of Objects Detecting in Digital Images

¹⁾ Denis V. Petrov, ²⁾ Evgeny G. Zhilyakov, ²⁾ Daria A. Chernomorets, ²⁾ Evgeniya V. Bolgova,
²⁾ Andrey A. Chernomorets

¹⁾ Limited Liability Company "Manatechs", of. 301, 35a Slavi Ave, Belgorod, 308000, Russia

²⁾ Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

Abstract. In the paper we consider the problem arising in the video surveillance systems development of choosing the precedent size when detecting objects in images, taking into account the optoelectronic system

characteristics. The example shows that in order to solve the objects detection problem at different distances from the observer on digital images, based on comparison with precedents, it is essential to choose the appropriate precedent size, which depends on the digital video camera characteristics. Examples of applications in surveillance tasks of video cameras with different equivalent focal lengths are considered. The relations for determining the equivalent focal length of the lens (equivalent to 35 mm) are given based on the value of the actual focal length of the camera lens determined by its design features. Relations are given for calculating the precedent size corresponding to an observed object of a given size and located at a known distance from the observer, taking into account the characteristics of the optoelectronic system. Examples of object size values (pixels) in the image are given depending on the distance to the object of specified dimensions (m) on the observed scene at different values of the digital video camera characteristics. An algorithm has been developed for solving the problem of detecting objects in an image based on the analysis of precedents, which dimensions depend on the video camera characteristics, as well as on the desired object size and the distance from it to the observer. Examples of object detection in images are given, taking into account the digital video camera characteristics.

Keywords: object detection, image, video camera, equivalent focal length, photo matrix dimension, precedent size, object size, distance to the object

For citation: Petrov D.V., Zhilyakov E.G., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., 2022. On Choosing the Precedent Size in the Problem of Objects Detecting in Digital Images. Economics. Information technologies, 49(2): 339–348 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

Цифровая обработка изображений широко применяется в системах видеонаблюдения, что позволяет решать разнообразные задачи контроля окружающей среды, обнаружения посторонних для контролируемых территорий и помещений объектов, задачи распознавания объектов на изображениях и др. [Бакулев, Степин, 1986; Гонсалес, Вудс, 2012; Вагнер, Вагнер, 2016; Черноморец и др. 2020;].

Решение указанных задач на основе применения оптико-электронных систем предполагает выполнение различных этапов обработки изображений: удаление шумов, повышение визуального качества, предварительная обработка изображений на основе математической морфологии Ж.-П. Серра, сравнение фрагментов изображений с образцами искомым объектов (прецедентами) и др. [Алпатов и др., 2008; Шитова, Пухляк, Дроб, 2014; Schindler, Förstner, 2021; Voronin, 2022]. Во многих случаях на данных этапах обработки изображений применяются различные фильтры, скользящие окна анализа, структурообразующие элементы и др., одной из характеристик которых является их размер. Выбор размера анализируемой области на изображении, соответствующей размерам наблюдаемых объектов, расположенных на различном расстоянии, во многом определяет эффективность решения задач видеонаблюдения, что демонстрирует решение, например, следующей задачи.

Рассмотрим задачу обнаружения на изображении объекта, находящегося на заданном расстоянии от наблюдателя, при условии, что известны образец изображения объекта (прецедент) и его фактические размеры на наблюдаемой сцене.

На рисунке 1 приведены результаты обнаружения объекта на изображении путем сравнения фрагментов изображения (скользящее окно) с прецедентами, имеющими различные размеры (пиксели), на основании вычисления взаимной корреляции прецедента и изображения. Прецеденты различного размера (пиксели) получены в результате применения операции масштабирования к исходному прецеденту (рисунок 1а).

Для прецедента шириной 50 пикселей в результате решения задачи обнаружения объекта, заключающейся в поиске максимального значения взаимной корреляции данного прецедента и анализируемого изображения, на рисунке 1б прямоугольником выделена соответствующая область.

При выборе прецедента, например, шириной 75 пикселей, полученного при масштабировании исходного прецедента, приведенного на рисунке 1а, результатом решения задачи обнаружения объекта является область, выделенная прямоугольником на рисунке 1в.

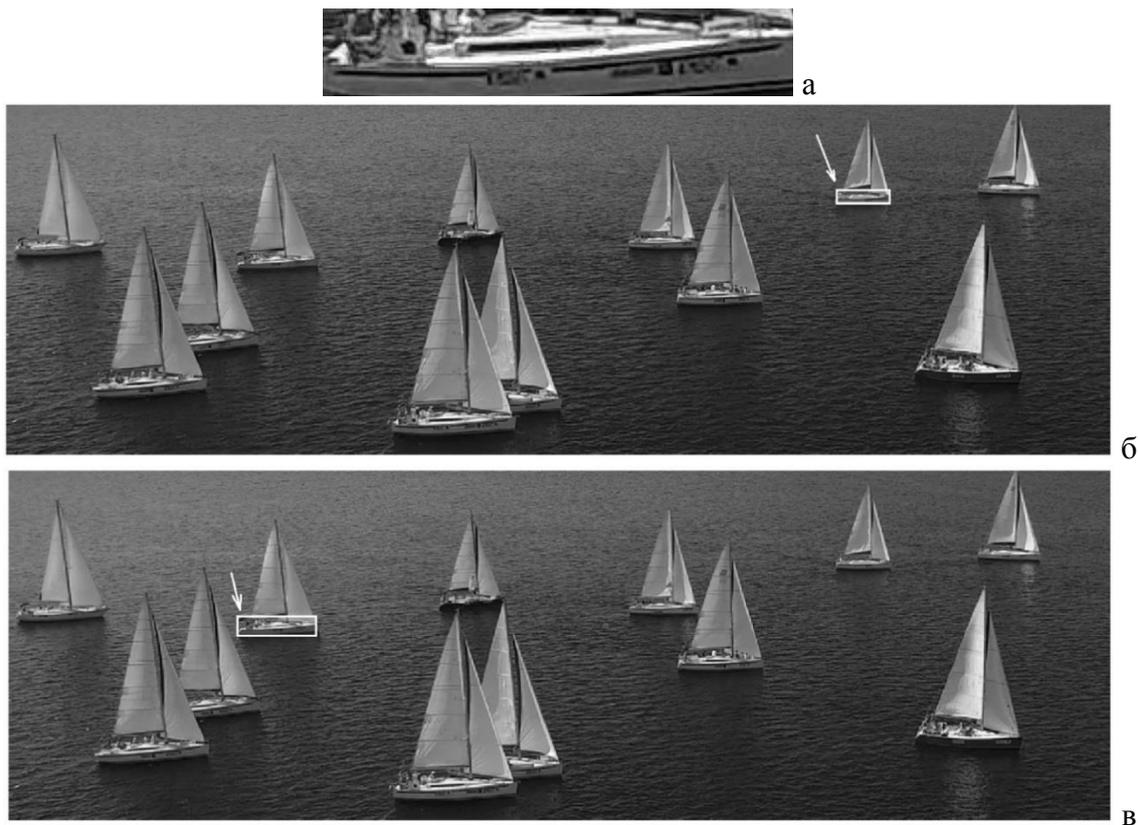


Рис. 1. Выделение на изображении прецедентов различной ширины:
а – исходный прецедент, б – выделение области, соответствующей прецеденту шириной 50 пикселей,
в – выделение области, соответствующей прецеденту шириной 75 пикселей
Fig. 1. The different widths precedents selection in the image:
a – the original precedent, b – selection of the area corresponding to the precedent with a width of 50 pixels,
c – selection of the area corresponding to the precedent with a width of 75 pixels

Анализ наблюдаемой сцены (рисунок 1б и рисунок 1в) показывает, что области, выделенные на данных рисунках, соответствуют изображениям объектов, расположенных на различных расстояниях от наблюдателя.

Таким образом, при рассмотренном выше подходе для решения задачи обнаружения на цифровых изображениях объектов, находящихся на различном расстоянии от наблюдателя, существенным является соответствующий выбор размера прецедента (в пикселях).

Оценим зависимость значений размера объекта на изображении (пиксели) в зависимости от расстояния (м) до объекта на наблюдаемой сцене и отдельных характеристик цифровой видеокамеры, применяемой для регистрации изображения в оптико-электронных системах.

Один из подходов сравнения характеристик различных видеокамер основан на вычислении эквивалентного фокусного расстояния (эквивалент 35 мм) [Черноморец и др. 2019; Понин и др., 2020]. Эквивалентное фокусное расстояние (ЭФР) соответствует фокусному расстоянию объектива видеокамеры при использовании светочувствительного элемента размером 24×36 мм (малоформатный кадр пленки шириной 35 мм, «полнокадровая» цифровая фотоматрица). ЭФР позволяет сравнивать характеристики современных цифровых видеокамер, в которых применяются фотоматрицы (фотосенсор) с размерами, отличающимися от 24×36 мм.

В работе рассматриваются характеристики оптико-электронной системы без учета размеров объектива, а также предполагается, что значения эквивалентного фокусного расстояния и расстояния от объектива до плоскости изображения приблизительно равны, что на практике применяется в большинстве вычислений характеристик видеокамеры.

В таблице 1 приведены примеры областей применения в задачах наблюдения видеокамер с различным эквивалентным фокусным расстоянием.

Таблица 1
 Table 1

Примеры применения в задачах наблюдения видеокамер
 с различным эквивалентным фокусным расстоянием
 Examples of the different equivalent focal lengths video cameras application in surveillance tasks

Эквивалентное фокусное расстояние, мм	Тип объектива	Пример области применения
4-16	рыбий глаз	наблюдение за прилегающей территорией, а также в небольших помещениях
10-24	сверх-широкоугольный	наблюдение за прилегающей территорией
24-35	широкоугольный	наблюдение за прилегающей территорией
50 (35-65)	стандартный	наблюдение за прилегающей территорией, а также в помещениях средней площади
65-300 и более	длиннофокусный	Наблюдение вдоль ограждений, в узких помещениях, на больших расстояниях

Для пересчета фактического фокусного расстояния объектива видеокамеры, определяемого его конструктивными особенностями, с фотоматрицей меньших размеров, чем малоформатный кадр, применяется множитель, называемый кроп-фактором [Васин, Баранов, Дворянинов, 2007; Зубец, 2008]. Кроп-фактор K_f вычисляют как отношение величины диагонали d_{35} малоформатного кадра 24×36 мм ($d_{35} \approx 43,27$ мм) к величине диагонали d_m (мм) применяемой фотоматрицы:

$$K_f = d_{35} / d_m. \quad (1)$$

Используя значение кроп-фактора (1), эквивалентное фокусное расстояние f вычисляется на основании следующего соотношения [Васин, Баранов, Дворянинов, 2007]:

$$f = f_r K_f,$$

где f_r – фактическое фокусное расстояние объектива.

Обычно для характеристики размера фотоматрицы указывают так называемый типоразмер в виде дробных частей дюйма (величина диагонали d_m фотоматрицы приблизительно составляет две трети типоразмера), например, 1/2" или 1/2,5" [Иванкин, 2008].

В таблице 2 для некоторых типоразмеров фотоматрицы приведены соответствующие значения ее диагонали, размеров по ширине и высоте, а также кроп-фактор.

Размерность фотоматрицы (количество пикселей по ширине и высоте) определяется количеством и размером применяемых светочувствительных элементов (фотодиодов), размеры которых у различных фотоматриц изменяются от 0,0025 мм до 0,008 мм [Иванкин, 2008].

В работе предлагается анализировать (без потери общности результатов) горизонтальные размеры (ширина) прецедента (пиксели) в соответствии с горизонтальными размерами наблюдаемого объекта (м). Поэтому в работе рассматривается размерность фотоматрицы (количество пикселей) вдоль ее горизонтальной стороны.

На рисунке 2 отображено соответствие между значениями угла обзора α (рад.) видеокамеры при выбранном эквивалентном фокусном расстоянии f (мм) видеокамеры, расстоянием D (мм) от объектива до плоскости изображения, шириной m ($m=36$ мм) кадра и шириной l_{\max} (м) зоны наблюдения, расположенной на расстоянии d (м) от наблюдателя.

Некоторые характеристики фотоматрицы
 Some photo matrix characteristics

Типоразмер	Диагональ d_m , мм	Размер $l_1 \times l_2$, мм	Кроп-фактор K_f
13/8" (плёнка 35 мм)	43,27	36 × 24	1
APS-H Canon	33,75	28,1 × 18,7	1,28
APS-C Canon	26,82	22,3 × 14,9	1,61
1,5"	23,4	18,7 × 14,0	1,85
4/3"	21,64	17,3 × 13,0	2
1"	16	12,8 × 9,6	2,7
2/3"	11,85	8,8 × 6,6	3,93
1/2"	8,0	6,4 × 4,8	5,41
1/2,33"	7,63	6,08 × 4,56	5,92
1/2,5"	6,77	5,8 × 4,3	6,2
1/3"	5,64	4,8 × 3,6	7,5
1/4"	4,45	3,6 × 2,7	10

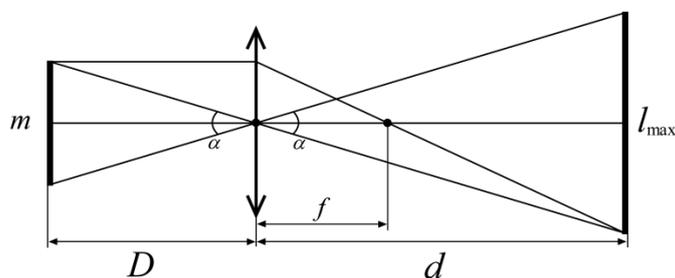


Рис. 2. Соответствие между значениями угла обзора видеокамеры и шириной зоны наблюдения
 Fig. 2. Correspondence between the video camera viewing angle values and the observation area width

Формула тонкой линзы определяет зависимость между указанными величинами d , D и f :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f}.$$

Следовательно, справедливо следующее соотношение:

$$D = f \frac{d}{d - f},$$

из которого следует следующее приближенное равенство при условии, что расстояние d от наблюдаемого объекта до линзы намного больше фокусного расстояния f :

$$D \approx f \text{ при } d \gg f. \quad (2)$$

На основании соотношения (2) и изображения, приведенного на рисунке 2, имеем:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{2D} = \frac{l_{\max}}{2d} \approx \frac{m}{2f}, \quad (3)$$

$$m = 36 \text{ мм},$$

где $\alpha/2$ (рад.) – угол между оптической осью объектива и лучом, соединяющим его оптический центр с краем пленки, m – ширина кадра (плёнка 35 мм).

Из соотношения (3) следует, что ширина l_{\max} зоны наблюдения, расположенной на расстоянии d от наблюдателя, на практике определяется на основании следующего соотношения:

$$l_{\max} = \frac{m}{f} d. \quad (4)$$

Обозначим, N – количество пикселей по ширине фотоматрицы применяемой видеокамеры. Тогда разрешение r_d (м/пиксель) объектов на регистрируемом изображении, находящихся на расстоянии d (м) от наблюдателя, можно вычислить на основании следующего соотношения:

$$r_d = \frac{l_{\max}}{N} = \frac{m}{fN} d. \quad (5)$$

При этом размер N_l фрагмента (пиксели), содержащего изображение объекта размером l (м) на расстоянии d (м), определяется на основании следующего соотношения:

$$N_l = \frac{1}{r_d} l = \frac{fN}{md} l. \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет при заданных характеристиках видеокамеры определить размер прецедента (пиксели), который может быть использован для обнаружения на изображении объекта размером l (м) на расстоянии d (м) от наблюдателя (таблица 3).

В таблице 3 приведены значения размеров N_l изображения объекта (пиксели) от расстояния d (м) до объекта на наблюдаемой сцене при размерности фотоматрицы $N=1920$ пикселей (FullHD) и заданном эквивалентном фокусном расстоянии $f = \{24, 35\}$ мм для объектов различных размеров $l = \{5, 10, 15\}$ м.

Таблица 3
Table 3

Размеры изображения объекта (пиксели) при ширине фотоматрицы 1920 пикселей
 The object image dimensions (pixels) with a photo matrix width of 1920 pixels

Расстояние, м	ЭФР 24 мм			ЭФР 35 мм		
	Размер объекта, м			Размер объекта, м		
	5	10	15	5	10	15
50	128	256	384	187	373	560
100	64	128	192	93	187	280
150	43	85	128	62	124	187
200	32	64	96	47	93	140
250	26	51	77	37	75	112
300	21	43	64	31	62	93
350	18	37	55	27	53	80
400	16	32	48	23	47	70
450	14	28	43	21	41	62
500	13	26	38	19	37	56

Данные, приведенные в таблице 3, могут служить основой для выбора размеров прецедента в задаче обнаружения объектов.

На рисунке 3 в соответствии с соотношением (6), а также данными, приведенными в таблице 3, показана зависимость размеров N_l изображения объекта (пиксели) от расстояния d (м) до объекта на наблюдаемой сцене для объектов различных размеров $l = \{5, 10, 15\}$ м

при размерности фотоматрицы $N=1920$ пикселей и заданном эквивалентном фокусном расстоянии $f=24$ мм (рисунок 3а), а также при $f=35$ мм (рисунок 3б).

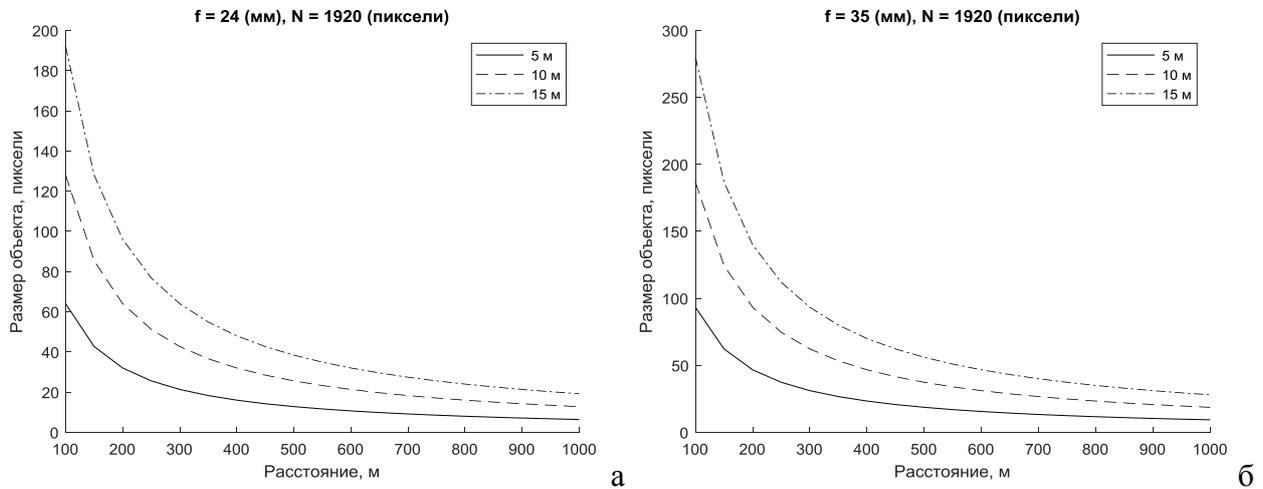


Рис. 3. Размеры объекта (пиксели) на изображении в зависимости от расстояния до объекта
Fig. 3. The object size (pixels) in the image depending on the distance to the object

Графики, приведенные на рисунке 3, показывают, что с увеличением величины фокусного расстояния (рисунки 3а и 3б) увеличивается соответствующий размер объекта (пиксели) на изображении, а также что с увеличением расстояния до наблюдаемого объекта размер объекта (пиксели) уменьшается нелинейно.

На рисунке 4 приведены графики зависимости размеров N_i изображения объекта (пиксели) от различных значений эквивалентного фокусного расстояния f видеокамеры при заданных расстоянии $d=500$ м до объекта на наблюдаемой сцене и размерности фотоматрицы $N=1920$ пикселей для объектов различных размеров $l = \{5, 10, 15\}$ м.

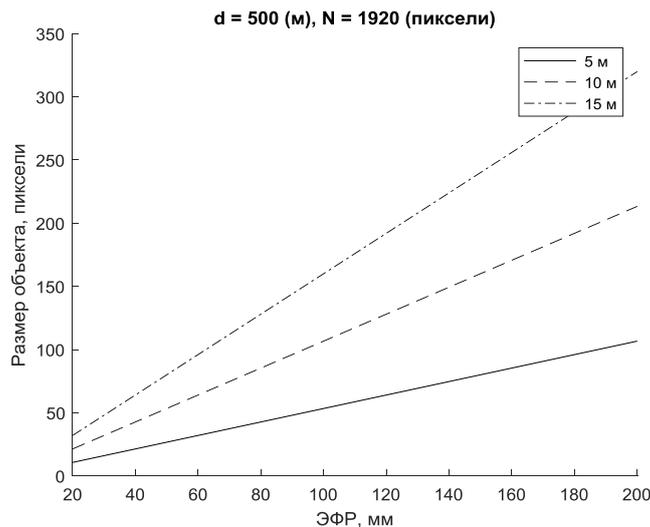


Рис. 4. Размеры объекта (пиксели) на изображении в зависимости от эквивалентного фокусного расстояния
Fig. 4. The object size (pixels) in the image depending on the equivalent focal length

Использование соотношения (6), а также данных, приведенных в таблице 3, позволяет сформулировать алгоритм решения поставленной выше задачи обнаружения.

Алгоритм обнаружения фрагмента изображения, соответствующего объекту, известного размера и расположенному на заданном расстоянии от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры состоит в следующем.

1. Исходные данные: исходный прецедент искомого объекта, изображение.

2. Вычислить размеры N_i (пиксели) прецедента, соответствующего объекту размером l (м) и расположенному на расстоянии d (м) от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры: эквивалентное фокусное расстояние f (мм), размерность фотоматрицы N (пиксели).

Например (рисунок 5), для объекта, размером приблизительно 12 м и расположенному на расстоянии 195 м от наблюдателя, при эквивалентном фокусном расстоянии видеокамеры 35 (мм) и ширине фотоматрицы 1920 пикселей ширина соответствующего прецедента должна равняться 115 пикселей.

3. Выполнить масштабирование исходного прецедента (размер модифицированного прецедента должен совпадать с полученными на шаге 2 значениями).

Для рассматриваемого примера ширина прецедента после масштабирования исходного прецедента, приведенного на рисунке 1а, равняется 115 пикселей.

4. Решить задачу обнаружения на изображении фрагмента, соответствующего полученному прецеденту, на основе вычисления взаимной корреляции данного прецедента и анализируемого изображения.

Пример решения поставленной задачи обнаружения при приведенных в примере на шаге 2 значениях показан на рисунке 5 (выделенный фрагмент). На рисунке отображена область, размерностью 1080×345 пикселей, кадра видеозаписи, размерностью 1920×1080 пикселей, в которой находится изображение искомого объекта.



Рис. 5. Фрагмент изображения, соответствующего объекту, размером приблизительно 12 м и расположенному на расстоянии 195 м от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры
Fig. 5. The image fragment corresponding to an object of approximately 12 m size and located at a distance of 195 m from the observer, with the known video camera characteristics

Таким образом, в работе показана значимость соответствующего выбора размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на изображениях на основе вычисления взаимной корреляции изображения и прецедента. Предложена процедура определения размеров прецедента в пикселях, соответствующего наблюдаемому объекту заданных размеров на заданном расстоянии при известных характеристиках видеокамеры. Приведены графики зависимости размера прецедента (пиксели) от расстояния до объекта, фокусного расстояния видеокамеры при заданных размерах объекта и значений характеристик видеокамеры. Приведено описание алгоритма обнаружения на изображении объекта заданного размера, расположенного на заданном расстоянии от наблюдателя, при указанных характеристиках видеокамеры.

Список литературы

- Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. 2008. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М.: Радиотехника, 176.
- Бакулев П.А., Степин В.М. 1986. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 286.
- Вагнер В., Вагнер А. 2016. Способы параметризации движения в системах видеонаблюдения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 52.
- Васин Н.Н., Баранов А.М., Дворянинов П.Ю. 2007. Метод межкадровой разности для измерительных систем. Радиотехника и связь: материалы четвертой междунар. науч.-техн. конф., Саратов, 27–28 июня 2007 г. М-во образования и науки Рос. Федерации, Сарат. гос. техн. ун-т; отв. ред. В.А. Коломейцев. Саратов, 67–71.
- Гонсалес Р., Вудс Р. 2012. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. Москва: Техносфера, 1104 с.
- Зубец А.М. 2008. Патент на изобретение RU 2319188 С2, Способ и устройство для панорамной фотосъемки. 10.03.2008. Заявка № 2005138891/28 от 14.12.2005.
- Иванкин Е.Ф. 2008. Информационные системы с апостериорной обработкой результатов наблюдений. М., Горячая Линия – Телеком, 168.
- Понин О.В., Галявов И.Р., Симонов М.А., Симонов П.В. 2020. Патент на изобретение 2731526 С1, Способ измерения фокусного расстояния объектива. 03.09.2020. Заявка № 2020100024 от 09.01.2020.
- Черноморец А.А., Болгова Е.В., Заливин А.Н., Олейник И.И. 2019. О комплексной обработке оптических сигналов в задаче обнаружения объектов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 764–773. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773
- Черноморец А.А., Кунгурцев С.А., Болгова Е.В. 2020. О геометрии области поиска объектов на основе радиолокационных измерений. Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП – 2020). Белгород. 130–136.
- Шитова О.В., Пухляк А.Н., Дроб Е.М. 2014. Анализ методов сегментации текстурных областей изображений в системах обработки изображений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 8(179). 182–188.
- Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139
- Voronin, E.G. 2022. Numerical differentiation in photogrammetry equalization tasks. Geodesy and Cartography. 981. 44–55. 10.22389/0016-7126-2022-981-3-44-55.

References

- Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. 2008. Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'yektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye [Methods of automatic detection and tracking of objects. Image processing and management]. M.: Radiotekhnika, 176.
- Bakulev P.A., Stepin V.M. 1986. Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikhsya tseley [Methods and devices for the selection of moving targets]. M.: Radio i svyaz', 286.
- Vagner V., Vagner A. 2016. Sposoby parametrizatsii dvizheniya v sistemakh videonablyudeniya [Methods of parameterization of motion in video surveillance systems]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 52. Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139
- Vasin N.N., Baranov A.M., Dvoryaninov P.YU. 2007. Metod mezhkadrovoy raznosti dlya izmeritel'nykh system [Interframe difference method for measuring systems]. Radiotekhnika i svyaz': materialy chetvertoy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Radio engineering and communications: materials of the fourth int. scientific and technical Conf.], Saratov, 27–28 iyunya 2007 g. M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Sarat. gos. tekhn. un-t; отв. red. V. A. Kolomeytsev [Saratov, June 27–28, 2007. Moscow University of Education and Science. Federation, Sarat. state tech. un-t; open ed. V.A. Kolomeitsev], 67–71.
- Gonzalez R., Woods R. 2012. Digital image processing. 3rd edition, revised and supplemented. Moscow: Technosphere, 1104 p.



- Zubets A.M. 2008. Patent for an invention RU 2319188 C2, Method and device for panoramic photography. 10.03.2008. Application № 2005138891/28 from 14.12.2005.
- Ivankin Ye.F. 2008. Informatsionnyye sistemy s aposteriornoй obrabotkoy rezul'tatov nablyudeniya [Information systems with a posteriori processing of observation results]. M., Goryachaya Liniya – Telekom, 168.
- Ponin O.V., Galyavov I.R., Simonov M.A., Simonov P.V. 2020. Patent for an invention 2731526 C1, Method of measuring the focal length of the lens. 03.09.2020. Application № 2020100024 from 09.01.2020.
- Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Zalivin A.N., Oleynik I.I. 2019. A optical signals combined processing in the object detection task. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (4): 764–773 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773
- Chernomorets A.A., Kungurtsev S.A., Bolgova E.V. 2020. On the geometry of the object search area based on radar measurements. Information Technologies in Science, Education and Production (ITSEP-2020): collection of works of the VIII International Conference on Science and Technology (Belgorod, 24–25 September, 2020) Belgorod. 130-136.
- Shytova O.V., Pukhlyak A.N., Drob E.M. 2014. Analysis of methods of segmentation texture regions in the systems of image processing. Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: History. Political science. Economics. Information technologies. 8(179). 182–188.
- Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139
- Voronin, E.G. 2022. Numerical differentiation in photogrammetry equalization tasks. Geodesy and Cartography. 981. 44–55. 10.22389/0016-7126-2022-981-3-44-55.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Петров Денис Васильевич, кандидат технических наук, технический директор, общество с ограниченной ответственностью «Манатекс», Белгород, Россия

Denis V. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Chief Technical Officer, Limited Liability Company "Manateks", Belgorod, Russia

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeny G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Daria A. Chernomorets, Postgraduate student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia