

С. М. БОРЗОВ, О. И. ПОТАТУРКИН

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПОИСКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ АНОМАЛИЙ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

Рассматривается допускающий аппаратную реализацию алгоритм обработки данных для обнаружения тепловых объектов, основанный на поиске пространственных аномалий яркости и градиента яркости тепловизионных изображений. Приведены результаты анализа эффективности реализованного метода с использованием данных, полученных в условиях реальной фоноцелевой обстановки.

Ключевые слова: обработка тепловизионных изображений, обнаружение объектов, пространственные аномалии.

Введение. Для эффективного решения задачи обнаружения и распознавания целей в реальных условиях необходимо, чтобы приборы наблюдения имели встроенные функции обработки регистрируемых изображений для выделения фрагментов, потенциально содержащих объекты исследования. Такие фрагменты при выводе информации на монитор оператора отмечаются маркерами, что способствует принятию окончательного решения об обнаружении цели. Выполняемая в автоматическом режиме обработка основана на анализе пространственного распределения яркости изображения методом скользящего окна и оценке вероятности наличия объектов в различных точках наблюдаемой сцены. При этом данная оценка традиционно производится путем определения соответствия между анализируемыми фрагментами и априорным описанием объектов [1]. Однако, как показала практика, в условиях реальной фоноцелевой обстановки такой подход оказывается недостаточно эффективным вследствие возможных изменений освещенности, значительной удаленности и неизвестных ракурсов наблюдаемых объектов, наличия существенных искажений атмосферы и разнообразного динамичного фона. Поэтому для обнаружения малоразмерных объектов в поле наблюдения предлагается использовать метод, основанный на описании фона для каждой сцены с последующим поиском фрагментов, параметры которых не соответствуют полученному описанию. Такой подход в литературе называется поиском аномалий [2], не требует выполнения предварительных процедур обучения и позволяет обнаруживать в поле зрения системы наблюдения нетипичные по определенным параметрам фрагменты на неоднородном фоне.

В настоящей статье представлены результаты разработки программно-алгоритмических средств для выделения малоразмерных объектов по данным тепловизионных систем наблюдения на основе поиска пространственных аномалий, а также результаты исследования эффективности данных средств в условиях естественного фона.

Алгоритм обработки данных. Предлагаемый подход основан на определении некоторых признаков, характеризующих каждый фрагмент изображения, и оценке статистических параметров распределений признаков для всего кадра. Так как аномалии являются редким явлением, предполагается, что даже наличие информации о них во входных данных не окажет существенного влияния на описание нормальных классов фрагментов. Поэтому оценка статистических параметров распределений каждого признака производится по всей совокупности данных.

Выбор системы признаков осуществляется с учетом специфики объектов исследования. Поскольку тепловые объекты на тепловизионных изображениях характеризуются яркими отсчетами и примерные размеры объектов, как правило, известны, практический интерес пред-

ставляет использование в качестве признака разности между средней яркостью центральной зоны ω анализируемого фрагмента и средней яркостью его периферии Ω :

$$F_1(x, y) = \frac{1}{N_\omega} \sum_{\omega(x, y)} I(x, y) - \frac{1}{N_\Omega} \sum_{\Omega(x, y)} I(x, y),$$

где x, y — пространственные координаты, I — яркость исходного изображения, N_ω и N_Ω — количество отсчетов яркости в центральной и периферийной зонах.

Кроме того, для изображений таких объектов характерно наличие значительных перепадов яркости, по этой причине полезным признаком следует считать разность между средними значениями модуля пространственного градиента яркости в центральной зоне фрагмента и в периферийной зоне:

$$F_2(x, y) = \frac{1}{N_\omega} \sum_{\omega(x, y)} |\nabla I(x, y)| - \frac{1}{N_\Omega} \sum_{\Omega(x, y)} |\nabla I(x, y)|.$$

При этом размер центральной зоны должен соответствовать размеру изображений обнаруживаемых объектов, а для вычисления значений модуля пространственного градиента используется преобразование Собела с окном размером 3×3 элемента [3].

В полученных двумерных массивах данных, описывающих пространственное распределение используемых признаков, осуществляется поиск локальных максимумов. С этой целью выполняется обработка изображения методом скользящего окна. Если значение центрального отсчета оказывается больше значений остальных отсчетов в окне, то это значение сохраняется, в противном случае — обнуляется. В результате такой обработки сохраняются только отсчеты локальных максимумов, остальные точки обнуляются:

$$M_i(x, y) = \begin{cases} F_i(x, y) & \text{при } F_i(x, y) > \max(F_i(x+k, y+l)), k, l \in \Omega; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Далее рассчитывается среднее μ_i и среднеквадратическое отклонение σ_i ненулевых значений для каждого из сформированных цифровых массивов $M_i(x, y)$ и выполняется пороговая обработка с использованием метода „сигм“:

$$R_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } M_i(x, y) > \mu_i + n\sigma_i; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где n — уровень порога обнаружения.

В результате для каждого из признаков вычисляется бинарный массив. Положения ненулевых элементов в этом массиве соответствуют координатам фрагментов на исходном изображении, аномальных по данному признаку. Множитель n выбирается экспериментально.

На заключительном этапе выполняется совмещение результатов обнаружения по различным признакам путем пересечения:

$$P(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } R_1(x, y) \cap [R_2(x, y)]_\Omega; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где $[\cdot]$ — логическое суммирование по окрестности Ω .

При этом если расстояние между центрами аномальных по различным признакам фрагментов меньше половины размера окна зоны Ω , их относят к одному объекту, и положение объекта определяют по полю, сформированному с использованием признака F_1 .

Выделение объектов по тепловизионным изображениям. Возможность реализации рассматриваемых алгоритмов подтверждается примером обработки изображений земной поверхности, полученных сканирующим радиометром „Агрос“ в диапазоне 8,0—11,8 мкм. Раз-

мер изображения 1000×1000 отсчетов, поиск аномалий осуществляется при размере центральной зоны 7×7 элементов.

Исходное изображение приведено на рис. 1, а, а на рис. 1, б, в представлен результат расчета методом скользящего окна признаков, характеризующих организацию полутонов фрагментов изображения, и результат поиска локальных максимумов в полученных полях признаков. Далее выполнялся расчет среднего и среднеквадратического отклонения (СКО) значений обнаруженных максимумов, пороговая обработка (критерий трех СКО) и совмещение результатов поиска по отдельным признакам путем пересечения. Результаты комбинированного поиска пространственных аномалий яркости и градиента яркости представлены на рис. 1, г.

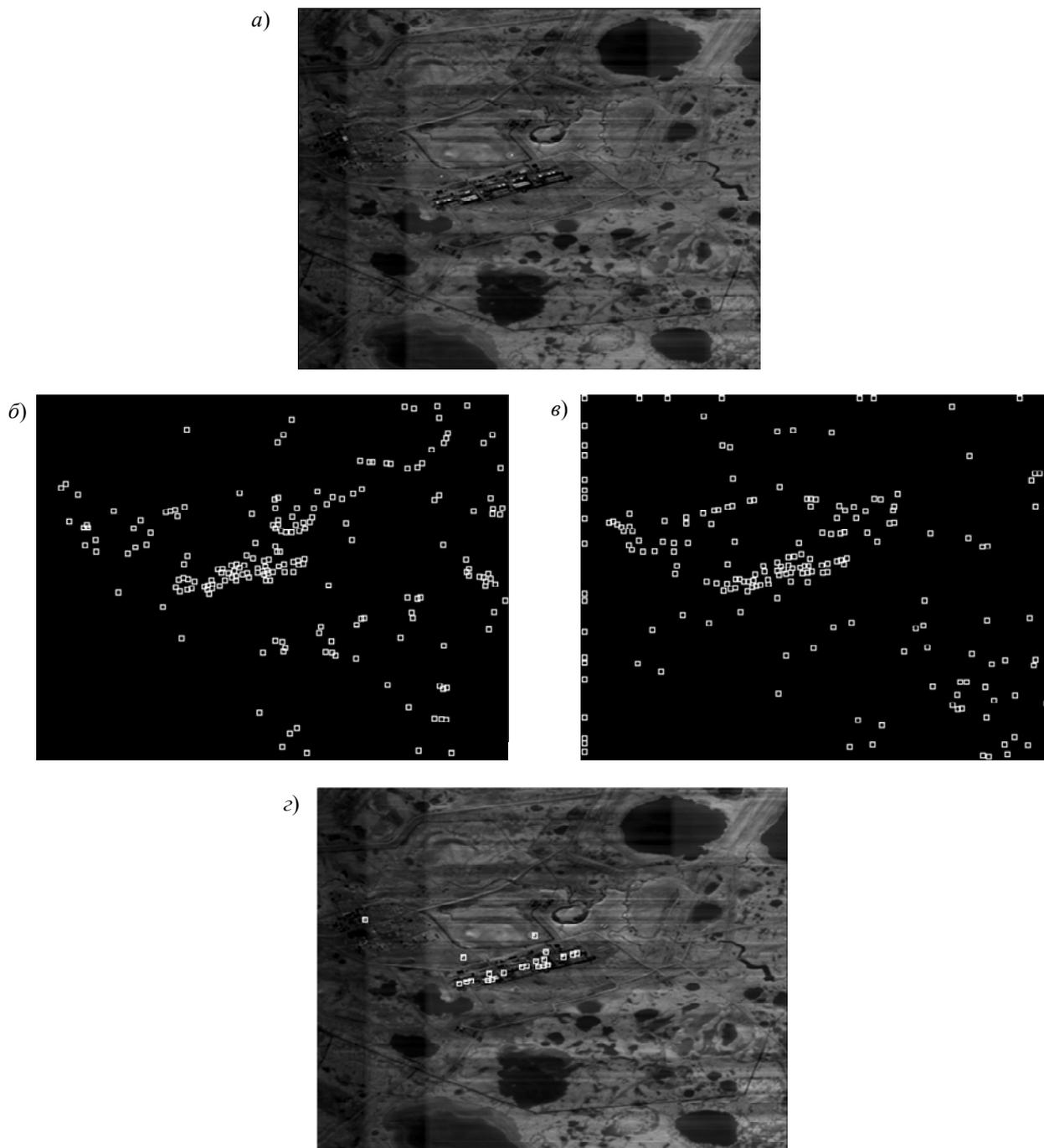


Рис. 1

Анализ эффективности метода был выполнен путем сравнения результатов обнаружения с экспертной оценкой (изображение предварительно было просмотрено оператором и

выбраны зоны, содержащие, по его мнению, объекты). В табл. 1 приведено количество ложных тревог и пропусков целей при различных уровнях используемого порога (n).

Таблица 1

n	F_1		F_2		$F_1 \& F_2$	
	Ложная тревога	Пропуск цели	Ложная тревога	Пропуск цели	Ложная тревога	Пропуск цели
2	48	1	37	0	10	0
3	15	3	5	3	0	3
4	1	4	0	4	0	6

Другим примером реализации алгоритмов является обработка видеопоследовательности, полученной с болометрического тепловизора ТБ-4 [4] (разработчик — Новосибирский филиал Института физики полупроводников (НФ ИФП) СО РАН „КТИ ПМ“). Съемка проводилась в условиях полигона. Объект наблюдения — фигура человека в полный рост на реальном фоне при дальности 700 м. Поиск аномалий выполнялся по разности средних значений яркости и градиента яркости центральной и периферийной зон фрагментов (критерий трех СКО). Рис. 2 демонстрирует результаты поиска объекта на одном из кадров последовательности по отдельным признакам: a — по яркости, b — по градиенту яркости; результат совмещения показан на рис. 2, $в$.

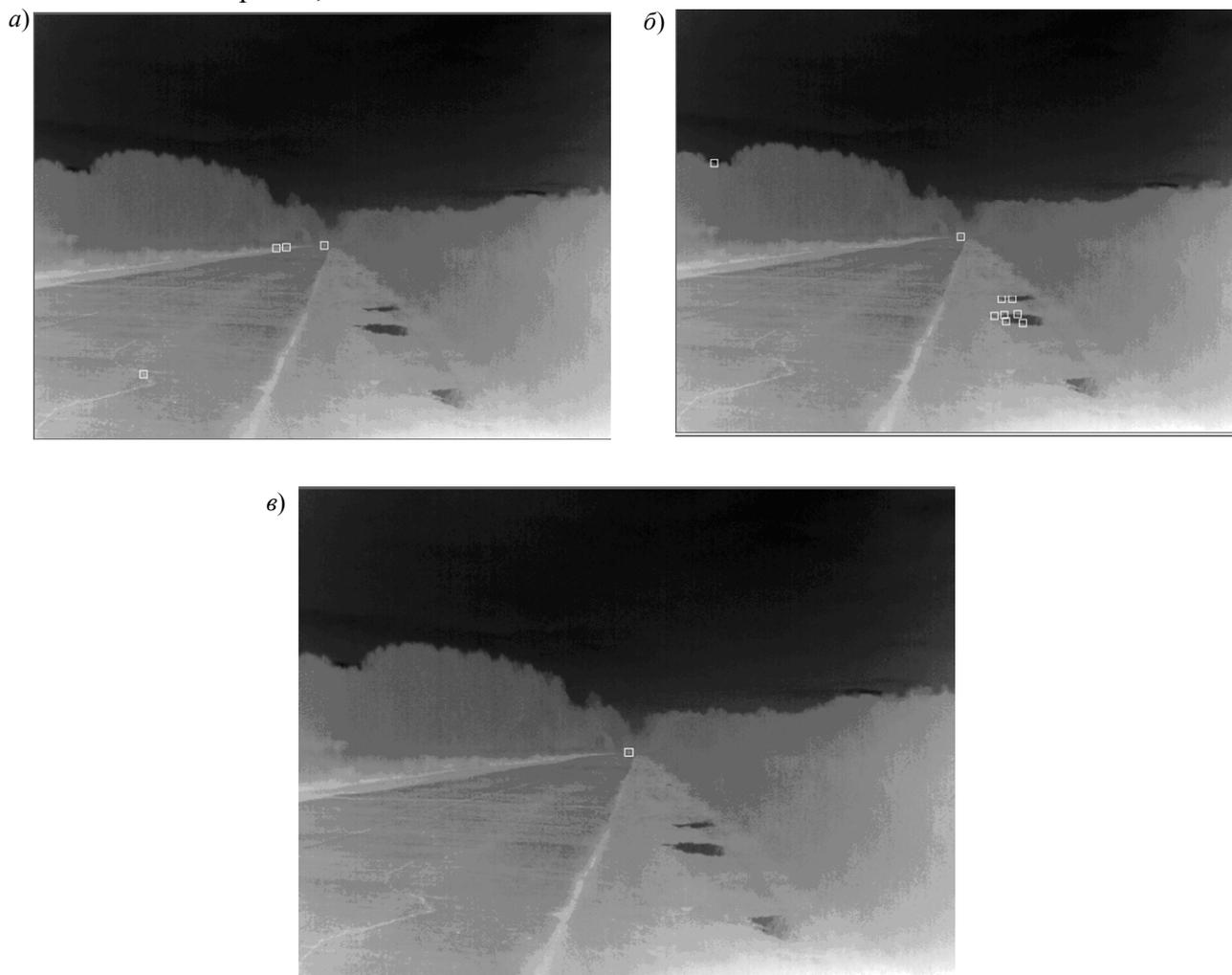


Рис. 2

Количество ложных тревог и пропусков цели, рассчитанное для последовательности 50 кадров, при различных значениях n приведено в табл. 2.

Таблица 2

n	F_1		F_2		$F_1 \& F_2$	
	Ложная тревога	Пропуск цели	Ложная тревога	Пропуск цели	Ложная тревога	Пропуск цели
2	3109	0	3761	0	103	0
3	2016	3	978	0	12	3
4	1610	19	411	0	0	19
5	748	30	247	9	0	33

Анализ представленных данных показывает, что наибольшая эффективность поиска достигается при реализации комбинированного метода обработки (по яркости и по пространственному градиенту яркости). Количество ложных тревог при его использовании уменьшается в десятки раз при незначительном росте пропусков цели. Результаты, полученные для видеопоследовательности с учетом размеров кадров (640×480 пкс), соответствуют вероятности ошибки обнаружения на уровне 10^{-6} . Достигнутая вероятность может быть в дальнейшем существенно уменьшена путем выполнения дополнительной процедуры совмещения результатов поиска по нескольким последующим кадрам. Количество кадров для совмещения определяется динамичностью наблюдаемой сцены, а также требованием к времени принятия решения системой наблюдения при обнаружении.

Заключение. Для решения задачи автоматического обнаружения тепловых объектов по изображениям в ИК-диапазоне в условиях реальной фоноцелевой обстановки предложено использовать метод поиска пространственных аномалий, основанный на определении степени несоответствия признаков отдельных фрагментов распределению значений признаков, полученному по всему изображению. Вычисление признаков при этом предложено осуществлять на основе сравнения яркости и пространственного градиента яркости центральной и периферийной зон фрагментов. Приведены примеры обработки изображений, полученных с помощью тепловизионной аппаратуры наблюдения в реальных условиях с применением созданных программно-алгоритмических средств. Показано, что разработанный метод позволяет обнаруживать на тепловизионных изображениях объекты (техника, человеческие фигуры), основываясь на их специфике. При этом наибольшая эффективность достигается в случае реализации комбинированного адаптивного поиска пространственных аномалий яркости и градиента яркости.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НФ ИФП СО РАН „КТИ ПМ“ А. В. Голицыну и М. Ю. Цивинскому, предоставившим для проведения исследований видеопоследовательности, зарегистрированные в реальных условиях.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-07-00202), Программы Президиума РАН (проект № 15.3) и программы СО РАН (интеграционный проект № 74).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roth P. M., Winter M. Survey of appearance-based methods for object recognition // Techn. Report ICG-TR-01/08, Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology (Austria). 2008. Jan. 68 p.
2. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey // ACM Computing Surveys. 2009. Vol. 41(3), Art. 15. 58 p.
3. Прэт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир. 1982. Т. 2. 480 с.
4. Голицын А. В., Журов Г. Е., Цивинский М. Ю., Голицын А. А., Яшина Т. В., Навражских В. А., Мишанин С. С. Тепловизионный прицел для стрелкового оружия // Тез. докл. Рос. конф. и школы по актуальным проблемам полупроводниковой нанофотозлектроники „Фотоника—2011“. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2011. С. 148.

*Сведения об авторах***Сергей Михайлович Борзов**

— канд. техн. наук; Институт автоматизации и электротехники СО РАН, лаборатория информационной оптики, Новосибирск; заведующий лабораторией; E-mail: borzov@iae.nsk.su

Олег Иосифович Потатуркин

— д-р техн. наук, профессор; Институт автоматизации и электротехники СО РАН, Новосибирск; заместитель директора по научной работе; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; E-mail: potaturkin@iae.nsk.su

Рекомендована ученым советом
ИнститутаПоступила в редакцию
22.03.13 г.

УДК 535.317.2

М. Е. ЗАЦЕПИНА, В. К. КИРИЛЛОВСКИЙ

**РЕАЛИЗАЦИЯ
СОВРЕМЕННОГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ТЕНЕВОГО МЕТОДА**

Представлен оригинальный количественный теневой метод, основанный на преобразовании теневой картины ножа Фуко в геометрическую модель тенеграммы линейной решетки. Результатами количественной оцифровки и компьютерной обработки геометрической модели являются карта ошибок волнового фронта и характеристики качества изображения, формируемого исследуемой оптической системой.

Ключевые слова: теневой метод, нож Фуко, геометрическая модель тенеграммы линейной решетки, изофотометрия, деформации волнового фронта.

Введение. Существующий визуальный теневой метод ножа Фуко, разработанный в 1856 г. и широко применяемый в наши дни в оптической практике, позволяет по полутоновой картине наблюдать деформации волнового фронта и по ним оценивать характер преобладающих аберраций данной оптической системы. Метод ножа Фуко используется преимущественно для технологического контроля в виде качественных оценок состояния оптических элементов и систем. Метод позволяет лишь в ограниченном объеме производить количественные оптические измерения поперечных аберраций и не позволяет получать полную топограмму (контурную карту) волнового фронта для последующей обработки в целях расчета характеристик качества оптического изображения [1].

Посредством компьютерного наложения на исходную теневую картину (тенеграмму) линейного фотометрического клина можно программно сформировать изображение системы параллельных полос с отдельными искривлениями. Это изображение можно рассматривать как геометрическую модель тенеграммы линейной решетки. Расшифровка полученной модели тенеграммы линейной решетки позволяет измерять волновые аберрации и рассчитывать характеристики качества изображения, формируемого исследуемой оптической системой.

Экспериментальные исследования. Схема установки, разработанной для реализации предлагаемого изофотометрического теневого метода, представлена на рис. 1 [2], где 1 — лампа, 2 — конденсор, 3 — матовое стекло, 4 — тест-объект „полубесконечная щель“, 5 — объектив коллиматора, 6 — исследуемый объектив (фотообъектив Индустар-50), 7 — выходной зрачок исследуемого объектива, 8 — нож Фуко, перекрывающий изображение тест-объекта, 9 — объектив регистрирующей фотокамеры, 10 — матричная камера, 11 — приемник изображения, 12 — компьютер.