

## МАРКИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ ЧАСТИЧНО МАСКИРОВАННЫХ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ЛОКАЛЬНЫМ ОПИСАНИЯМ АССОЦИИРОВАННОГО СПЛОШНОГО ОБРАЗА

А.В. Кревецкий<sup>1</sup>, С.Е. Чесноков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

### Аннотация

Исследуются вопросы распознавания изображений множеств объектов, чьи размеры соизмеримы с элементом разрешения регистрирующей аппаратуры – групп точечных объектов. Образы в виде группы точечных объектов встречаются в локационных изображениях, к ним могут быть сведены изображения крупноразмерных объектов, представленных характерными точками, кластеры данных в признаковом пространстве, события в системах массового обслуживания и автоматизированных системах управления. Осложняет распознавание групп точечных объектов несвязность их элементов, узость автокорреляционной функции их изображений по параметрам геометрических преобразований, пространственные флуктуации элементов, ложные отметки и пропуски сигнальных. Наиболее перспективные подходы к распознаванию изображений данного типа основаны на преобразовании групп точечных объектов в связный объект – ассоциированный сплошной образ – и анализе его вторичных признаков. Однако для групп точечных объектов с нестационарной конфигурацией и/или частично маскированных вопросы распознавания еще слабо исследованы. В работе предлагается подход к распознаванию групп точечных объектов на основе маркировки их элементов – идентификации точечных объектов с точностью до метакласса (семейства, типа), устойчивого к вариациям нестационарных и частично маскированных групп точечных объектов. Предложены четыре метакласса: крайние и внутренние точки групп точечных объектов с цепочечной структурой, внешние и внутренние точки скоплений. Суть подхода к маркировке точечных отметок состоит в распознавании комплекснозначных кодов контуров, составленных из отсчетов цилиндрических сечений ассоциированного сплошного образа вокруг элементов групп точечных объектов. Для формирования ассоциированного сплошного образа используется модель векторного поля с парциальными источниками в элементах групп точечных объектов. Получены оценки достоверности маркировки в различных условиях наблюдения. Результаты маркировки имеют самостоятельное значение для различных прикладных задач, а также могут использоваться для последующего распознавания групп точечных объектов. Предложены подходы к распознаванию групп точечных объектов по результатам маркировки их элементов.

**Ключевые слова:** групповой точечный объект, ассоциированный сплошной образ, точечная сцена, нестационарная конфигурация, частично маскированный объект, распознавание групповых объектов, анализ точечных сцен, пространственная компактность, векторное поле, цилиндрические сечения поля, кумулятивное поле, инвариантность к повороту, комплекснозначное кодирование.

**Цитирование:** Кревецкий, А.В. Маркировка элементов частично маскированных групповых объектов по локальным описаниям ассоциированного сплошного образа / А.В. Кревецкий, С.Е. Чесноков // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 6. – С. 1015-1021. – DOI:10.18287/2412-6179-2018-42-6-1015-1021.

### Введение

Образы в виде группы точечных объектов (ГТО) представляют собой множества изолированных в пространстве точечных отметок, объединенных групповыми признаками, например, пространственной близостью, контрастом по отношению к фону, устойчивым взаимным расположением и др. [1]. С ними ассоциируют локационные изображения скоплений антропогенных объектов или группы блестящих элементов протяженных объектов [2], астрономические ориентиры [3], множества характерных точек изображений крупноразмерных объектов [4], кластеры данных в признаковом пространстве.

Распознавание групп точечных объектов (ГТО) как человеком, так и техническими системами осложняет несвязность их элементов, узкая автокорреляционная функция их изображений по параметрам геометрических преобразований. Мешающими факторами

также служат координатные шумы или флуктуации положений элементов ГТО, фон из ложных отметок, образованный ошибками обнаружения отдельных малоразмерных объектов [5, 6].

Наиболее перспективные подходы к распознаванию изображений данного типа основаны на преобразовании ГТО в связный объект (ассоциированный сплошной образ (АСО)) и анализе его вторичных признаков [1, 5, 6, 7]. Высокой избирательностью обладает признак формы АСО, отображающего конфигурацию взаимного положения элементов ГТО.

Ранее авторами были получены методы формирования АСО и распознавания ГТО, высоко устойчивые к перечисленным мешающим факторам за счет кумулятивного вклада всех элементов ГТО в каждый отсчет описания признака формы [5, 6, 8]. Однако преимуществ данных методов оборачиваются их ограничением в предположении, что в поле зрения нахо-

дятся все элементы ГТО и он обладает стационарной конфигурацией (существуют постоянные во времени эталонные положения его элементов).

В данной работе проверяется гипотеза о наличии устойчивых признаков формы и у нестационарных, а также частично маскированных ГТО (когда в поле зрения попадают не все его элементы). В качестве таких признаков исследуется ближайшее окружение крайних и внутренних элементов ГТО с цепочечной структурой, а также внешних и внутренних элементов ГТО со структурой скоплений, которые так или иначе составляют ГТО других более сложных конфигураций. В рамках данной работы отнесение элемента ГТО к одному из четырех указанных метаклассов будем называть «маркировкой».

В работе также рассматриваются вопросы использования результатов маркировки для последующего распознавания ГТО.

**Постановка задачи**

Для целей настоящей статьи примем, что задачи обнаружения отдельных точечных и малоразмерных объектов на фоне крупноразмерных объектов решены [6], решены задачи обнаружения и пространственной локализации групп этих объектов по критерию пространственной компактности [1, 6]. Результаты обнаружения ГТО представлены в виде множества

$$V = \{v_n\} = \{\mathbf{x}_n, s_n\}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N, \tag{1}$$

из  $N$  точечных отметок с координатами  $\mathbf{x}_n$  и яркостями  $s_n$ . Предполагается, что в качестве координат обнаруженных малоразмерных объектов приняты координаты их центров тяжести. Результат обнаружения можно также представить в виде точечной сцены

$$s(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N s_n \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n), \quad \mathbf{x} \in \mathbf{X}, \tag{2}$$

где  $\mathbf{X}$  – множество допустимых значений координат изображения,  $\delta(x)$  – символ Кронекера или дельта-функция, в зависимости от дискретного или непрерывного случая соответственно.

На рис. 1 приведен пример точечной сцены с несколькими выделенными пунктиром областями пространственной локализации обнаруженных ГТО. Область № 1 соответствует ГТО с четко выраженной цепочечной структурой, № 3 – типичное скопление, остальные области соответствуют составным (№ 2, 4) и другим более сложным (№ 5) структурам.

Необходимо для каждого элемента  $v_n$  ГТО найти представление конфигурации его ближайшего окружения (признака формы)  $\mathbf{z}_n$ , а также множество из  $M$  эталонных описаний  $\mathbf{u}_m, m = 1, 2, 3, \dots, M$ , которые бы обеспечили достаточно устойчивую в условиях действующих мешающих факторов кластеризацию наблюдаемых реализаций  $\mathbf{z}_n$  в соответствующем признаковом пространстве вокруг  $M$  эталонов. Под мешающими факторами подразумеваются: ошибки первого и второго рода при обнаружении точечных и малоразмерных объектов, частичное маскирование ГТО,

а также флуктуации координат элементов ГТО, вызванные как координатными шумами, так и нестационарностью их природы.

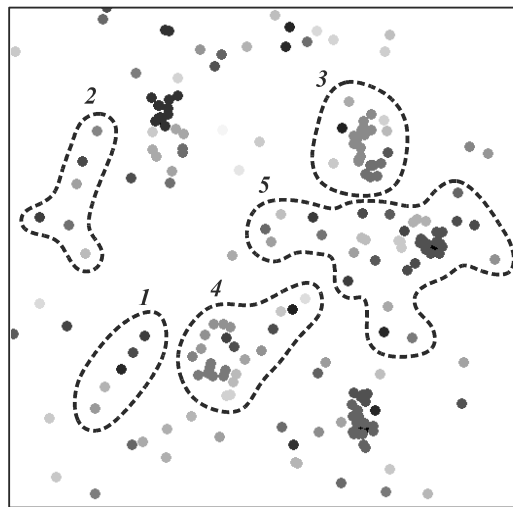


Рис. 1. Примеры ГТО с различной структурой

В случае стационарных ГТО, примером которых могут служить созвездия небесной сферы, каждый эталон соответствовал бы конкретной звезде из астрономического атласа. В случае нестационарных и частично маскированных ГТО эталон должен быть абстрактным и соответствовать большему разнообразию конфигураций.

По предварительным исследованиям и как можно судить по примерам ГТО на рис. 1, существенно отличаются по своему окружению четыре типа элементов ГТО: 1) концевые элементы цепочки, 2) внутренние элементы цепочки, 3) внешние точки скоплений, 4) внутренние точки скоплений. Их идеализированные описания  $\mathbf{u}_m, m = 1, 2, 3, 4$ , и предполагается использовать в дальнейшем для решения задачи маркировки элементов ГТО.

**Формирование локальных описаний конфигурации ближайшего окружения элементов ГТО**

Для формирования локальных описаний формы ГТО используем доказавшее свою помехоустойчивость [8] для стационарных ГТО отображение точечной сцены в кумулятивное векторное поле (ассоциированный сплошной образ), но с исключением парциального поля  $j$ -го элемента ГТО, для которого формируется это отображение.

$$z_j(\mathbf{x}) = \sum_{n=1, n \neq j}^N s_n h(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n) \exp(i\phi_n(\mathbf{x})), \quad i = \sqrt{-1},$$

$$h(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{|\mathbf{x}|^2}{2r^2}\right), \tag{3}$$

$$\phi_n(\mathbf{x}) = \arg(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n)}{\text{Re}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_n)}\right),$$

где  $h(\mathbf{x})$  – функция силы действия парциального абстрактного поля источника,  $\phi(\mathbf{x})$  – направление действия поля,  $r$  – параметр, характеризующий радиус действия парциального поля. Очевидно, распределе-

ние потенциала и направления действия такого поля однозначно связаны с конфигурацией расположения точечных отметок.

Для снижения избыточности и инвариантности к смещению и вращениям поставим в соответствие каждому точечному объекту  $v_n$  локальное описание конфигурации ГТО в виде множества из  $K$  отсчетов векторного поля (3), расположенных по окружности радиусом  $r$ :

$$v_n \rightarrow \mathbf{z}_n = \{z_{n0}, z_{n1}, \dots, z_{nK-1}\}, n = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Отсчеты целесообразно брать с равным угловым шагом  $\alpha$  с учетом теоремы отсчетов Котельникова.

На рис. 2 приведены примеры локальных описаний для двух элементов ГТО:  $a$  – совмещает точечную сцену и векторную диаграмму поля в точках взятия отсчетов;  $b$  и  $в$  – те же отсчеты векторного поля при цепном кодировании на комплексной плоскости.

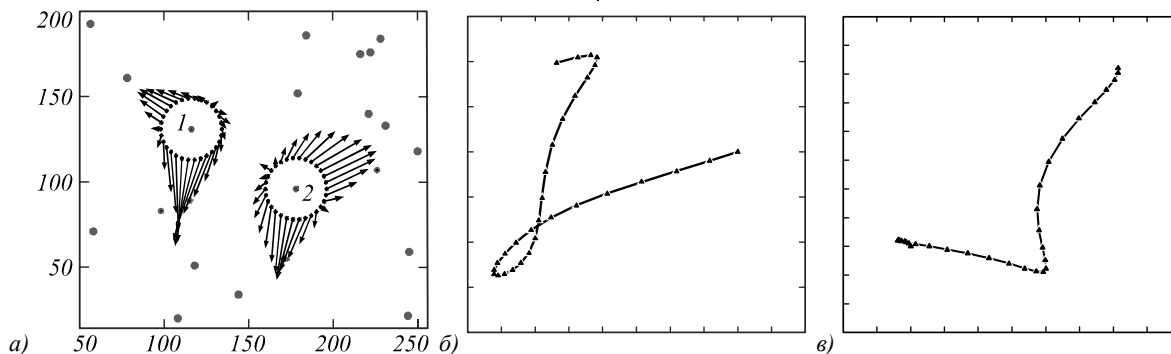


Рис. 2. К принципу формирования локальных описаний формы ГТО

Множество таких комплекснозначных отсчетов представляет собой дискретный сигнал или вектор-контур [6] унитарного пространства, к которому применимы известные типовые преобразования и методы обработки [1, 6].

**Синтез алгоритма маркировки элементов ГТО**

Примем в качестве эталонных идеализированных описаний четырех заявленных метаклассов элементов ГТО соответствующие вектор-контуров точек прямолинейной регулярной цепочки с фиксированным шагом  $d$  и регулярного скопления с матричной структурой с таким же расстоянием  $d$  между элементами. На рис. 3 показано, что векторная картина поля вокруг заданных типов элементов цепочки сохраняется даже при высокой кривизне траектории цепочки. Эталонные описания типовых элементов скопления даны на рис. 4.

Локальные описания формы ГТО  $\mathbf{z}_n$  можно рассматривать как векторы или точки в  $K$ -мерном признаковом унитарном пространстве  $C^K$ . Предполагается, что искаженные указанными ранее мешающими факторами вектор-контуров образуют в этом пространстве кластеры вокруг эталонных центров. При таком допущении в качестве меры схожести вектор-контуров используется расстояние между точками этого пространства, а в качестве критерия распознавания может использоваться минимум расстояния в признаковом пространстве.

Итак, примем, что на этапе обучения для четырех типов элементов ГТО сформированы эталонные вектор-контуров

$$\{\mathbf{u}_m\}, m = 1, 2, 3, 4, \mathbf{u}_m = \{u_{mk}\}, k = 0, 1, 2, \dots, K - 1, \quad (4)$$

а для элементов обнаруженного ГТО множество

$$\{\mathbf{z}_n\}, n = 1, 2, 3, \dots, N, \mathbf{z}_n = \{z_{n0}, z_{n2}, \dots, z_{nK-1}\} \quad (5)$$

наблюдаемых описаний.

Для удобства дальнейших рассуждений представим все искажения вектор-контуров, вызванные мешающими факторами, аддитивной моделью

$$\mathbf{z}_n = \mathbf{u}_m(a, \phi_0) + \mathbf{g}_n, \quad (6)$$

$$\mathbf{u}_m(a, \phi_0) = \{u_{m(k+a) \bmod K} \exp(i\phi_0)\}, \quad (7)$$

где  $\mathbf{g}_n$  – шумовой вектор-контур,  $\phi_0$  – угловое рассогласование эталонного и наблюдаемого изображений ГТО,  $a$  – циклический сдвиг начальной точки контура,  $\mathbf{u}_m(a, \phi_0)$  – повернутый и циклически сдвинутый код эталонного вектор-контура.

Тогда оптимальный по критерию минимального расстояния алгоритм маркировки элемента  $v_n$  ГТО заключается в нахождении в пространстве  $C^K$  ближайшего к  $\mathbf{z}_n$  эталонного вектора  $\mathbf{u}_m$ :

$$H = \arg \min_m R(\mathbf{u}_m, \mathbf{z}_n), \quad (8)$$

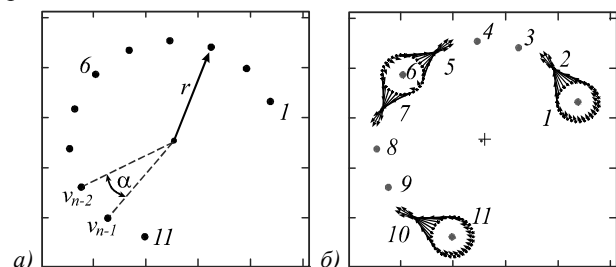


Рис. 3. Характерные описания элементов цепочки

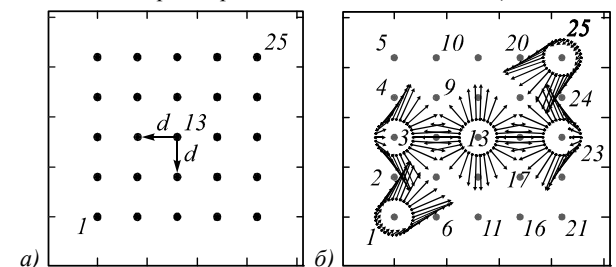


Рис. 4. Эталонные описания типовых элементов скопления

где  $R(\mathbf{u}_m, z_n)$  – расстояние между вектор-контурами в признаковом пространстве,  $H$  – результат маркировки, равный номеру самого близкого эталонного вектор-контура.

В работе [6] показано, что благодаря свойствам скалярного произведения  $(\mathbf{u}, \mathbf{u}(0, \phi_0))$  вектор-контуров в унитарном пространстве  $C^K$  перераспределять энергию между своей действительной и мнимой частями

$$(\mathbf{u}, \mathbf{u}(0, \phi_0)) = \cos \phi_0 \|\mathbf{u}\|^2 + i \sin \phi_0 \|\mathbf{u}\|^2$$

и при произвольных масштабах вектор-контуров, участвующих в скалярном произведении, минимальной достаточной статистикой распознавания может служить максимальный (в отношении смещения отсчетов) модуль нормированного скалярного произведения

$$H = \arg \max_{m,a} \frac{|(\mathbf{u}_m(a), \mathbf{z}_n)|}{\|\mathbf{u}_m\| \|\mathbf{z}_n\|}. \tag{9}$$

Данный алгоритм оказывается инвариантным к угловому рассогласованию и смещению эталонных и наблюдаемых ГТО, а также к энергиям (нормам) вектор-контуров.

Важно отметить, что если обнаружение ГТО осуществлялось путем разрушения ребер минимального остовного дерева точечной сцены, в статистическом смысле слишком длинных, чтобы принадлежать ГТО [6], то можно провести для каждого эталона селекцию элементов наблюдаемого ГТО. Так, например, если в минимальном дереве ГТО вершина имеет степень 3, то она может быть отнесена к 4-му метаклассу без вычисления (9) и формирования вектор-контура для данного элемента ГТО. Если степень вершины равна двум, то она не может относиться к 1-му метаклассу, т.е. можно на четверть сократить число проверяемых гипотез в алгоритме (9).

**Оценка достоверности маркировки элементов ГТО**

Исследование достоверности маркировки элементов ГТО по алгоритму (9) проводилось методом статистических испытаний на компьютерных моделях изображений цепочек и скоплений. В каждом эксперименте генерировался ГТО типа цепочка с заданным относительным (к средней дистанции  $d$  между соседними элементами ГТО) радиусом кривизны траектории цепочки  $R=r/d$  (рис. 3) или скопление (рис. 4). Флуктуации координат элементов ГТО формировались независимо по центрированному нормальному закону со среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ .

В ходе экспериментов заполнялась квадратная матрица частот принимаемых решений  $P=[P_{nm}]$ , где номер строки соответствует номеру метакласса, искаженного эталона на входе алгоритма маркировки, а номер столбца – номеру метакласса, в пользу которого было принято решение.

На рис. 5 приведены характеристики маркировки элементов ГТО в виде зависимостей вероятностей безошибочной маркировки от уровня искажений ГТО

мешающими факторами. В качестве такой меры искажений для относительности полученных зависимостей использовалась величина – эквивалент отношения сигнал/координатный шум  $q=d/\sigma$ . Эти зависимости соответствуют диагональным элементам матрицы относительных частот принимаемых решений  $[P_{nm}]$ .

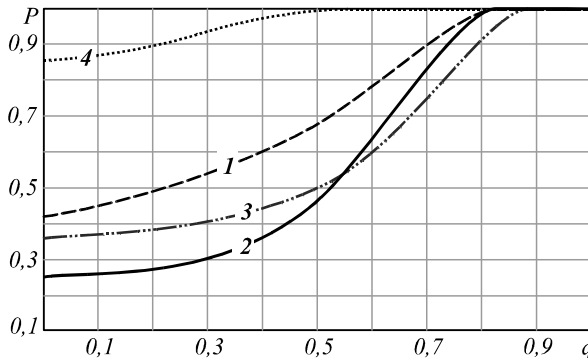


Рис. 5. Зависимости вероятностей правильной маркировки от уровня искажений ГТО мешающими факторами:

- 1 – крайняя точка цепочки, 2 – центральная точка цепочки,
- 3 – крайняя точка скопления, 4 – центральная точка скопления

Приведем значения других, скрытых в алгоритме (9) параметров экспериментов: относительный радиус парциального поля  $r_1=1,179$ , размерность вектор-контуров  $K=60$ , относительный радиус кривизны траектории цепочки  $R=5/3$ .

Из полученных характеристик следует высокая надежность принимаемых решений вплоть до уровня искажений, когда даже экспертами цепочка воспринимается таковой уже с разбросом мнений. Следует отметить, что мешающие факторы существенно меньше влияют на достоверность правильной маркировки элементов скопления по сравнению со случаем скопления. По мнению авторов, это обусловлено большим кумулятивным вкладом соседних точек из-за большего их числа у любого элемента ГТО типа «скопление».

**Заключение**

При распознавании групп точечных и малоразмерных объектов и идентификации их элементов в большинстве приложений наиболее информативным признаком выступает форма взаимного расположения точечных объектов группы. Применение известных методов распознавания формы ГТО становится проблематичным, когда в поле зрения наблюдателя попадает лишь часть ГТО одного из известных классов. Существенные флуктуации точечных объектов от своих эталонных положений или отсутствие таких положений у нестационарных групповых объектов дополнительно усложняют решение перечисленных задач.

Использование признаков формы для распознавания частично маскированных и нестационарных ГТО возможно, если использовать не полное, а локальные описания конфигурации соседних элементов ГТО. В качестве локальных описаний предлага-

гается использовать дискретизированные цилиндрические сечения абстрактного кумулятивного векторного поля с источниками в элементах ГТО и ограниченным радиусом действия. В качестве устойчивых третичных признаков формы, устойчивых (подобно точкам бифуркаций) в условиях вариативности и избытия классов ГТО, предлагается использовать принадлежность каждого элемента ГТО к одному из четырех метаклассов: крайние и внутренние элементы цепочек и скоплений, т.е. результатов четырехвариантной маркировки элементов ГТО.

Инвариантный к смещению, ракурсу наблюдения и норме вектор-контуров из отсчетов указанных цилиндрических сечений векторного поля алгоритм маркировки сводится к определению максимального модуля нормированного скалярного произведения вектор-контура элемента ГТО с четырьмя вектор-контуром метаклассов в унитарном пространстве.

Малое число эталонов в сочетании с невысокой размерностью вектор-контуров, а также инвариантностью к ракурсу наблюдения определяют высокую вычислительную эффективность данного метода маркировки. Дополнительно эффективность может быть повышена предварительной селекцией элементов ГТО и сокращением числа метаклассов по результатам обнаружения ГТО.

Полученные на данном этапе исследований характеристики маркировки подтверждают эффективность рассмотренного метода для нестационарных и частично маскированных ГТО в практически значимом диапазоне уровней вариативности ГТО.

Результаты маркировки элементов ГТО имеют и самостоятельное значение (подобно идентификации элементов ГТО), но могут также служить основой для дальнейшего распознавания ГТО. В перспективе целесообразно исследовать эти задачи. Например, на поверхности лежит логическая процедура различения ГТО по наличию или отсутствию хотя бы одного из символов алфавита маркировки или использование четырехкомпонентного дискриминационного признака, где каждая из компонент равна числу повторений соответствующего символа маркировки в наблюдаемом ГТО.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-01-00451 и Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6.

### **Литература**

1. Точечные поля и групповые объекты / Я.А. Фурман, А.А. Роженов, Р.Г. Хафизов, Д.Г. Хафизов, А.В. Кревецкий, Р.В. Ерусланов; под ред. Я.А. Фурмана. – М.: Физматлит, 2014. – 440 с. – ISBN: 978-5-9221-1604-6.
2. Обнаружение наземных объектов. Радиолокационные системы обнаружения и наведения воздушного базирования / В.С. Верба. – М.: Радиотехника, 2007. – 360 с. – ISBN: 978-5-88070-156-8.
3. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
4. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Сойфер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичева, В.А. Фурсов; под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с. – ISBN: 5-9221-0270-2.
5. **Кревецкий, А.В.** Обработка изображений в системах ориентации летательных аппаратов / А.В. Кревецкий. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1998. – 149 с. – ISBN: 5-230-00474-6.
6. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егшина, А.Н. Леухин; под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2003. – 592 с.
7. **Кревецкий, А.В.** Особенности формирования ассоциированного сплошного образа в задачах распознавания групповых точечных объектов / А.В. Кревецкий // Программные системы и вычислительные методы. – 2016. – № 4. – С. 392-402. – DOI: 10.7256/2305-6061.2016.4.21165.
8. **Кревецкий, А.В.** Кодирование и распознавание изображений множеств точечных объектов на основе моделей физических полей / А.В. Кревецкий, С.Е. Чесноков // Автометрия. – 2002. – № 3. – С. 80-89.
9. **Чесноков, С.Е.** Архитектура системы комплексного дешифрирования изображений аэрокосмических изображений подстилающей поверхности земли в реальном масштабе времени / С.Е. Чесноков, А.В. Кревецкий, Д.В. Уржумов, Ю.А. Ипатов // Вестник МарГТУ. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2012. – № 1(14). – С. 47-59.

### **Сведения об авторах**

**Кревецкий Александр Владимирович**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой информатики, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов: анализ изображений и распознавание образов, математические методы представления, обработки и распознавания многомерных сигналов. E-mail: [KrevetskyAV@volgatech.net](mailto:KrevetskyAV@volgatech.net).

**Чесноков Сергей Евгеньевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры информатики, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов: технологии программирования, обработка изображений и анализ данных, криптографические методы в информационных системах. E-mail: [shesnokov@gmail.com](mailto:shesnokov@gmail.com).

ГРНТИ: 28.23.15, 28.23.29

Поступила в редакцию 10 января 2018 г. Окончательный вариант – 31 октября 2018 г.

## ELEMENTS MARKING OF PARTIALLY MASKED GROUP OBJECTS USING LOCAL DESCRIPTIONS OF AN ASSOCIATED CONTINUOUS IMAGE

A.V. Krevetsky<sup>1</sup>, S.E. Chesnokov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

### Abstract

Questions of recognizing images of multiple objects whose dimensions are close to the resolution limit of recording equipment - groups of point objects (GPO) - are investigated. Images in the form of GPOs are found in radar images, whereas images of large-scale objects represented by characteristic points, clusters of data in a feature space, and events in mass service systems and automated control systems can be reduced to them. GPO recognition is complicated by disconnectedness of constituent elements, the narrowness of the image autocorrelation function in terms of the geometric transform parameters, spatial fluctuations of elements, false markings and omissions of signal markings. The most promising approaches to the image recognition of this type are based on the transformation of the GPO into a connected object - an associated continuous image (ACI) - and the analysis of its secondary features. However, for GPO with a non-stationary configuration and / or partially masked GPO, the recognition issues are still poorly investigated. The paper proposes an approach to the recognition of GPO based on the marking of their elements - the identification of point objects to within a metaclass (family, type) that is stable for nonstationary and partially masked GPOs. Four metaclasses are proposed: the extreme and inner points of the GPO with a chain structure, the outer and inner points of clusters. The essence of the approach to marking point marks is the recognition of complex-valued contour codes composed of samples of the cylindrical sections of an associated continuous image (ASI) around the GPO elements. To form the ASI, a vector field with partial sources in the elements of the GPO is used. Evaluations of the reliability of marking under various observation conditions are obtained. The results of marking are both of independent significance for various applied problems and suited for the subsequent recognition of GPO. Approaches to GPO recognition based on the results of marking of their elements are suggested.

**Keywords:** group point object, associated continuous image, point fields, recognition of group objects, analysis of point scenes, spatial compactness, vector field, cylindrical field cross-sections, cumulative field, rotational invariance, complex-valued coding.

**Citation:** Krevetsky AV, Chesnokov SE. Elements marking of partially masked group objects using local descriptions of an associated continuous image. *Computer Optics* 2018; 42(6): 1015-1021. DOI:10.18287/2412-6179-2018-42-6-1015-1021.

**Acknowledgements:** The work was partially funded by the Russian Foundation for Basic Research through RFBR grants No. 16-01-00451 \* and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under grant No. 2,3135.2017 / 4.6 \*\*.

\* *Problems of synthesis and analysis of obtained algorithms.*

\*\* *Questions of application of mathematical models obtained in queuing systems and automated control systems.*

### References

- [1] Furman YaA, ed. Point fields and group objects [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher; 2014. ISBN: 978-5-9221-1604-6.
- [2] Verba VS. Detection of ground objects. Radar detection and guidance systems air-based [In Russian]. Moscow: "Radio-technika" Publisher; 2007. ISBN: 978-5-9221-1604-6.
- [3] Anisimov BV, Kurganov VD, Zlobin VK. Recognition and digital image processing [In Russian]. Moscow: "Vysshaya Shkola" Publisher; 1983.
- [4] Soifer VA, ed. Methods of computer image processing [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2001.
- [5] Krevetsky AV. Image processing in aircraft orientation systems [In Russian]. Yoshkar-Ola: Publishing House of the Volga State University of Technology, 1998. ISBN: 5-230-00474-6.
- [6] Furman YaA, ed, Krevetsky AV, Peredreyev AK, Rozhentsov AA, Khafizov RG, Egoshina IL, Leukhin AN. Introduction to contour analysis. Applications to the processing of images and signals [In Russian]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2003.
- [7] Krevetsky AV. Features of the formation of an associated continuous image in problems of recognition of group point objects [In Russian]. *Software Systems and Computational Methods* 2016; 4: 392-402. DOI: 10.7256/2305-6061.2016.4.21165.
- [8] Krevetskij AV, Chesnokov S.E. Coding and recognition of point objects sets images on the basis of physical fields models [In Russian]. *Avtometriya* 2002; 3: 80-89.
- [9] Chesnokov SE, Krevetsky AV, Urzhumov DV, Ipatov YuA. Architecture of the system of the complex deciphering of aerospace images of the underlying earth surface in real time [In Russian]. *Vestnik of the Mari State University. Series "Radio Engineering and Infocommunication Systems"* 2012; 1: 47-59.

---

*Authors' information*

**Alexander Vladimirovich Krevetsky**, Ph.D., Head of Informatics department, Volga State University of Technology. Research interests: image analysis and pattern recognition, mathematical methods for representation, processing and recognition of multidimensional signals. E-mail: [KrevetskyAV@volgatech.net](mailto:KrevetskyAV@volgatech.net) .

**Sergey Evgenievich Chesnokov**, Ph.D., Associate Professor of Informatics department, Volga State University of Technology. Research interests: programming technologies, image processing and data analysis, cryptographic methods in information systems. E-mail: [shesnokov@gmail.com](mailto:shesnokov@gmail.com) .

---

*Received January 10, 2018. The final version – October 31, 2018.*

---