

## КЛАССИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

И. Г. ХАНЬКОВ

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,  
199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: igk@iiias.spb.su*

Рассматривается схема классификации алгоритмов сегментации изображений и формируются требования к новым алгоритмам. Для разработки новых алгоритмов предлагается трехэтапная структурная схема, в качестве версии реализации которой обсуждается алгоритм квазиоптимальной сегментации. Вводится признак, отражающий особенности группы иерархических алгоритмов, к которой принадлежит предложенный алгоритм. Введение нового признака позволяет уточнить схему классификации и требования к создаваемым алгоритмам.

**Ключевые слова:** *схема классификации, сегментация изображений, классификационные признаки, число разбиений*

**Введение.** Классификации алгоритмов сегментации изображений (АСИ) посвящен ряд исследований [1 — 13]. Множество схем классификации АСИ условно разделяется на следующие категории:

- смешанные классификации [2—5, 9];
- специализированные классификации [11—13];
- классификации по единственному признаку [7, 8];
- обобщенные классификации [6, 10].

Особый интерес представляют схемы обобщенной классификации, поскольку они, во-первых, позволяют однозначно классифицировать существующие АСИ, во-вторых, предсказывают появление новых АСИ, обнаруживаемых в схеме по „белым пятнам“, и, в-третьих, формируют требования к новым АСИ.

В качестве нового алгоритма, требования к которому изложены в работе [10], в настоящей статье рассматривается алгоритм иерархической сегментации изображений [14], на выходе которого формируется множество разбиений исходного изображения на кластеры пикселей с числом от 1 до  $N$ , где  $N$  — число пикселей в изображении. Каждое последующее разбиение получается из предыдущего последовательным разделением кластера (сегмента) либо объединением пары пикселей, сегментов или кластеров. Значения пикселей внутри каждого кластера (сегмента) усреднены по цвету или по яркости в случае изображений из оттенков серого. Поэтому каждое разбиение изображения кусочно-постоянно.

Генерация оптимальных приближений является вычислительно сложной задачей. Вычислительную сложность можно снизить за счет построения иерархической структуры данных и применения ряда вспомогательных алгоритмов улучшения качества. Поскольку иерархические разбиения обычно существенно отличаются от оптимальных, применяется процедура их оптимизации. На выходе АСИ формируются *квазиоптимальные* приближения, т.е. разбиения, близкие к оптимальным.

Настоящая статья посвящена:

- развитию схемы обобщенной классификации АСИ [10];
- определению нового классификационного признака на основе свойства, характерного для групп итерационных алгоритмов и алгоритмов с иерархической структурой данных;

- уточнению схемы классификации алгоритмов сегментации [10] за счет введения дополнительного классификационного признака;
- демонстрации достоинств алгоритма квазиоптимальной сегментации [14—16].

**Обобщенная классификация алгоритмов сегментации изображений.** Идея объединения нескольких классификаций с единственными признаками [7, 8] в одну схему выдвинута в работе [6]. На рис. 1 представлена схема обобщенной на основе признаков первого уровня классификации АСИ.

		Способ обработки	
		Выделение границ (разрывность)	Выделение областей (сходство)
Стратегия исполнения	Параллельные вычисления	G1: алгоритмы параллельной обработки на основе выделения границ	G3: алгоритмы параллельной обработки на основе выделения областей
	Последовательные вычисления	G2: алгоритмы последовательной обработки на основе выделения границ	G4: алгоритмы последовательной обработки на основе выделения областей

Рис. 1

В работе [6] также отмечена целесообразность декомпозиции предложенной схемы классификации. Ее дальнейшая детализация выполнена в работе [10], где представлен также обзор схем классификаций АСИ. Классификационные признаки второго уровня — тип изображения и наличие критерия — показаны на рис. 2.

		Наличие критерия качества	
		С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества
Тип изображения	Цветные изображения	W1: алгоритмы сегментации цветных изображений с использованием критерия качества	W3: алгоритмы сегментации цветных изображений без использования критерия качества критерия
	Полутоновые изображения	W2: алгоритмы сегментации полутоновых изображений с использованием критерия качества	W4: алгоритмы сегментации полутоновых изображений без использования критерия качества

Рис. 2

Двухуровневая обобщенная схема классификации АСИ, в соответствии с результатами обзора [10], приведена на рис. 3, где фоном выделены секторы, для которых существует хотя бы один алгоритм сегментации; для белых секторов („белые пятна“) не найден ни один из рассмотренных алгоритмов (рис. 3, а).

Согласно этой схеме (см. рис. 3, а) актуальна разработка алгоритмов:

- выделения границ с использованием критерия качества\* для любого типа изображений и любой стратегии вычислений (секторы G1\_W1, G1\_W2, G2\_W1, G2\_W2);
- выделения областей полутоновых изображений с использованием критерия качества и последовательным исполнением операций (сектор G4\_W2).

В данной работе обосновывается значимость алгоритма квазиоптимальной сегментации [14, 15], отвечающего классификационным признакам сектора G4\_W2 (которому соответствует „белое пятно“, рис. 3, а). Поскольку полутоновые изображения обрабатываются как частный случай цветных, то рассматриваемый АСИ отвечает также и классификационным признакам сектора G4\_W1 (см. рис. 3, б).

\* Под критерием качества понимается, например, минимум суммарной квадратичной ошибки.

a)

		Выделение границ		Выделение областей	
		С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества	С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества
Параллельное вычисление	Цветное изображение	W1	W3	W1	W3
	Полутоновое изображение	W2	W4	W2	W4
			G1	G3	
			G2	G4	
Последовательное вычисление	Цветное изображение	W1	W3	W1	W3
	Полутоновое изображение	W2	W4	W2	W4

б)

		Выделение границ		Выделение областей	
		С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества	С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества
Параллельное вычисление	Цветное изображение	W1	W3	W1	W3
	Полутоновое изображение	W2	W4	W2	W4
			G1	G3	
			G2	G4	
Последовательное вычисление	Цветное изображение	W1	W3	W1	W3
	Полутоновое изображение	W2	W4	W2	W4

Рис. 3

**Алгоритм квазиоптимальной сегментации.** В работах [14, 15, 17, 18] предложен алгоритм сегментации цифровых изображений, структурная схема которого представлена на рис. 4. Алгоритм сегментации генерирует иерархическую последовательность разбиений исходного изображения на кластеры от 1 до  $N$ . Каждое разбиение представляет собой совокупность кусочно-постоянных областей. Пример выходной последовательности разбиений показан на рис. 5.



Рис. 4

В основе рассматриваемого в данной статье алгоритма квазиоптимальной сегментации лежит метод Уорда [19]. Метод заключается в итеративном разделении пикселей на кластеры

или, наоборот, их слиянии в один кластер. Пикселы, разделенные на множества, усреднены по значению яркости внутри каждого множества.

Классический метод Уорда имеет ряд существенных недостатков:

— вычислительная сложность метода квадратично возрастает с линейным ростом числа элементов (пикселов изображения), что препятствует непосредственному применению метода при цифровой обработке изображений;

— метод неустойчив относительно выбора варианта в случае равнозначных решений; на первых шагах укрупнения групп элементов (пикселов, сегментов, кластеров) встречаются пары, операции над которыми соответствуют одинаковым значениям целевой показательной функции.

Рассматриваемый алгоритм квазиоптимальной сегментации обеспечивает снижение вычислительной сложности за счет разделения процесса построения иерархической последовательности разбиений на три этапа (см. рис. 4).

1-й этап — быстрое построение иерархической последовательности грубых разбиений. Быстрое построение осуществляется за счет уменьшения числа пар пикселов (сегментов, кластеров) на каждой итерации. Это приводит к неизбежному снижению качества. Редукция числа рассматриваемых пар до только смежных сводит метод Уорда к модели Мамфорда — Шаха. На этом этапе строится иерархия связных сегментов в упрощенной модели Мамфорда — Шаха (без учета длины границы сегмента). Для построения иерархии применяется операция Merge слияния двух кластеров [15].

2-й этап — промежуточное улучшение качества разбиения при фиксированном числе кластеров пикселов (цветов). Для этого выполняются следующие операции [15]:

— Divide — разделение кластера надвое (к разбиению на предыдущем шаге);

— Split — выделение части пикселов в отдельный кластер (часть пикселов образует отдельный самостоятельный кластер);

— Correct — реклассификация части пикселов кластера (часть пикселов переносится в другой существующий кластер).

На этом этапе реализуется специально разработанный SI-метод (Segmentation Improvement) улучшения качества сегментации, который описан в работе [17]. SI-метод состоит в циклическом разделении надвое сегмента в одном месте изображения и слиянии пары смежных сегментов в другом месте по критерию уменьшения значения функционала качества для данного разбиения. Результат выполнения второго этапа — формирование *суперпикселов* (укрупненных сегментов).

3-й этап — „достройка“ иерархической последовательности разбиений классическим методом Уорда [19].

На входе трехэтапного алгоритма квазиоптимальной сегментации, представленного на рис. 4, исходное изображение полутоновое или цветное. В программе предусмотрен параметр — число суперпикселов, который задает „точность“ вычислений и управляет процессом сегментации изображений. Этот параметр позволяет варьировать разбиение между чистой сегментацией — грубой, но быстрой по версии модели Мамфорда — Шаха, и точной, но медленной кластеризацией пикселов по методу Уорда.

На выходе алгоритм генерирует множество разбиений (см. рис. 5). Каждое разбиение из последовательности характеризуется значением функционала качества (суммарной квадратичной ошибки  $E$ ). Тестовое изображение, результат обработки которого представлен на рис. 5, взято из работы [20]. На его примере в работах [18, 21] выполнено сопоставление двух методов автоматической сегментации изображений: рассматриваемого в настоящей статье алгоритма квазиоптимальной сегментации [14—17] и метода сегментации по цвету и текстуре [20].

На рис. 5 представлены результаты разбиения изображений — первые шесть приближений и 20000-е из возможных 273056. Над каждой „картинкой“ разбиения указано число

кластеров (цветов), а под „картинками“ — соответствующее значение суммарной квадратичной ошибки.

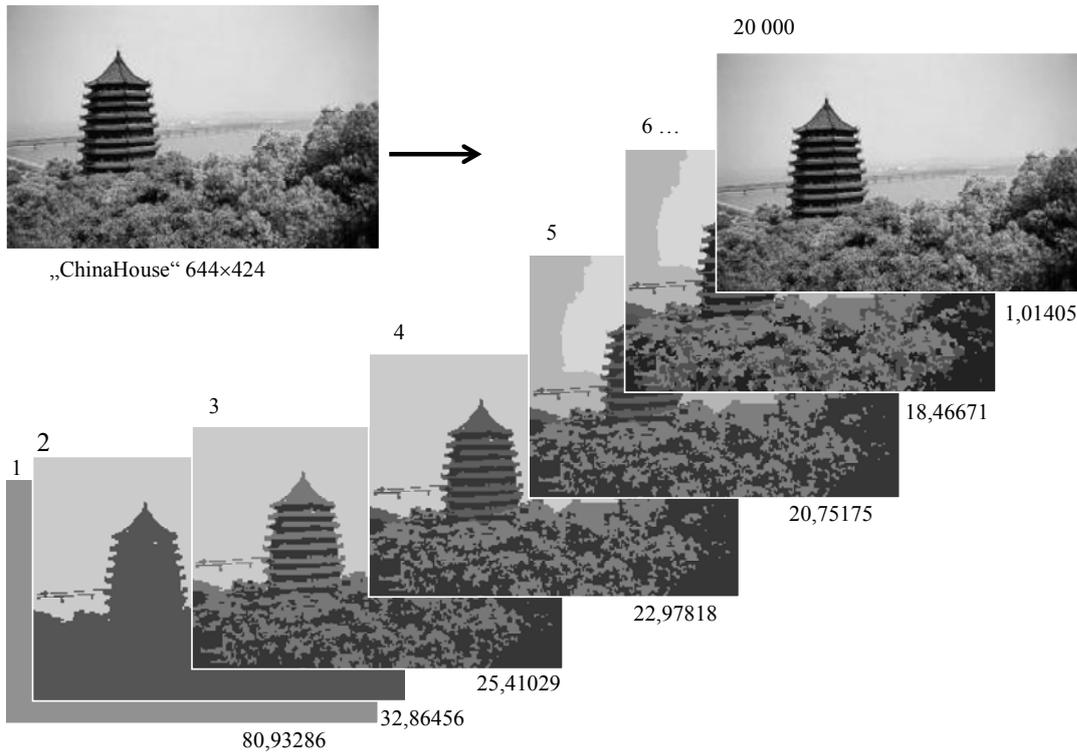


Рис. 5

Алгоритм квазиоптимальной сегментации предназначен для выделения областей полутоновых и цветных изображений и использует критерий качества при последовательном формировании иерархии приближений. В обобщенной схеме классификации АСИ, предложенной в работе [10], рассматриваемый алгоритм относится к секторам G4\_W1 и G4\_W2 (см. рис. 3, б). Таким образом, алгоритм обеспечивает „закрытие“ „белого пятна“ (см. рис. 3, а).

**Классификации по пяти признакам.** Схема классификации (см. рис. 3) не учитывает существенный классификационный признак группы, к которой относится рассматриваемый алгоритм квазиоптимальной сегментации, генерирующий множество разбиений аналогично методу пирамидальной сегментации. В этой связи набор четырех признаков [10] целесообразно расширить до пяти, введя признак числа разбиений на выходе АСИ: единственное разбиение / множество разбиений. Признак отражает как выходную характеристику АСИ, так и его внутреннюю особенность, указывая на фиксированное или изменяемое число рассматриваемых однородных множеств (кластеров, сегментов).

В табл. 1 приведены значения классификационных признаков, характеризующие рассматриваемый алгоритм иерархической сегментации, на выходе которого формируется множество квазиоптимальных разбиений исходного изображения на кластеры от 1 до  $N$ .

Таблица 1

Классификационный признак	Значение признака
Тип операции	Выделение областей изображения на основе свойств сходства
Стратегия вычислений	Последовательное вычисление приближений
Наличие критерия	Функционал качества — суммарная квадратичная ошибка; критерий качества — минимум приращения ошибки
Тип изображения	Цветное и полутоновое
Число разбиений исходного изображения на выходе алгоритма	Множество разбиений изображения по числу рассматриваемых кластеров, число кластеров изменяется от 1 до $N$

На рис. 6, а проиллюстрирована схема обобщенной классификации по пяти признакам, а на рис. 6, б светло-серым тоном отмечено место в схеме рассматриваемого алгоритма квазиоптимальной сегментации (G4\_W1\_M, G4\_W2\_M); на схеме М — множество разбиений, генерируемое на выходе АСИ, „1“ — единственное разбиение.

а)

		Выделение границ		Выделение областей	
		С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества	С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества
Параллельное вычисление	Цветное изображение	1 М	1 W1 W3 М	1 М	1 W1 W3 М
	Полутоновое изображение	1 М	1 W2 W4 М	1 М	1 W2 W4 М
Последовательное вычисление	Цветное изображение	1 М	1 W1 W3 М	1 М	1 W1 W3 М
	Полутоновое изображение	1 М	1 W2 W4 М	1 М	1 W2 W4 М

б)

		Выделение границ		Выделение областей	
		С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества	С установленным критерием качества	Без установленного критерия качества
Параллельное вычисление	Цветное изображение	1 М	1 W1 W3 М	1 М	1 W1 W3 М
	Полутоновое изображение	1 М	1 W2 W4 М	1 М	1 W2 W4 М
Последовательное вычисление	Цветное изображение	1 М	1 W1 W3 М	1 М	1 W1 W3 М
	Полутоновое изображение	1 М	1 W2 W4 М	1 М	1 W2 W4 М

Рис. 6

Алгоритмы, генерирующие множество разбиений, обладают преимуществом относительно алгоритмов, генерирующих единственное разбиение. Из множества разбиений выбирается одно наиболее подходящее. Выбор осуществляет либо пользователь — „специалист-предметник“, либо автоматизированная система обработки изображений. Выбор производится на этапе постобработки, следующем за этапом сегментации изображения. Подходящее разбиение выбирается в условиях конкретной задачи, при этом учитываются априорная информация о тематике сцены, особенности съемки, объекты интереса, их количество, особенности и характеристики.

**Обсуждение классификационных признаков.** В сводной табл. 2 приведены классификационные признаки и их краткие характеристики. Таблицу образуют четыре графы: „Автор“, „Классификационный признак“, „Значение признака“ и „Примечание“. Здесь следует пояснить, что в графе „Значение признака“ приведены оба значения соответствующего классификационного признака, однако признак принимает только одно значение; в графе „Примечание“ приводятся особенности реализации алгоритма при выбранном значении признака.

Два классификационных признака формируют уровень. Так, в работе [6] впервые сформирована одноуровневая схема классификации АСИ из первых двух классификационных признаков, ранее предложенных в [7, 8]. В работе [10] предложены третий и четвертый классификационные признаки, из которых сформирован второй уровень. Признаки обоих уровней объединены в одну двухуровневую схему классификации АСИ (см. рис. 3). Введенный в

настоящей работе еще один классификационный признак позволяет после декомпозиции двухуровневой схемы классификации АСИ выявить ранее скрытые „белые пятна“. Новый классификационный признак объединяет алгоритмы, генерирующие множество разбиений на выходе, в отдельную группу.

Таблица 2

Автор	Классификационный признак	Значение признака	Примечание
Гонзалес — Вудс [7]	1. Способ обработки	Нахождение области	Выделение объекта по свойствам схожести
		Нахождение границ	Выделение объекта по свойствам различия
Розенфельд [8]	2. Стратегия исполнения	Последовательные вычисления	Последовательное исполнение вычислительных операций
		Параллельные вычисления	Параллельное исполнение вычислительных операций
Поршнеv [10]	3. Тип изображения	Полутоновое изображение	Алгоритмы сегментации изображений с одной яркостной составляющей
		Цветное изображение	Алгоритмы сегментации, учитывающие все три цветовые составляющие изображения
	4. Наличие критерия качества	С критерием качества	Алгоритмы сегментации с использованием установленного критерия качества
		Без критерия качества	Алгоритмы сегментации без использования установленного критерия качества
Ханьков (настоящая статья)	5. Число разбиений исходного изображения на выходе алгоритма	Единственное разбиение	Алгоритм генерирует на выходе одно отсегментированное на однородные области разбиение исходного изображения. В ходе вычислительного процесса число однородных по некой характеристике множеств (сегментов, кластеров) фиксировано
		Множество разбиений	Алгоритм генерирует на выходе множество отсегментированных на однородные области разбиений исходного изображения. В ходе вычислительного процесса число однородных по некой характеристике множеств (сегментов, кластеров) варьируется в некотором диапазоне

Для дальнейшего исследования представляется перспективным:

— исключить классификационный признак „тип изображения“; считать изображения из оттенков серого частными случаями цветных;

— ввести шестой признак — „наличие иерархической структуры данных“.

Иерархическая структура данных позволяет вернуться к предыдущему состоянию (разбиению) либо найти новое разбиение, лучшее по значению критерия качества. Признак „наличие иерархической структуры данных“ взаимосвязан с пятым признаком — „число разбиений на выходе АСИ“. Наличие встроенной иерархической структуры данных однозначно влечет генерацию множества разбиений на выходе АСИ.

Представляется менее перспективным поиск и разработка алгоритмов выделения границ с использованием критерия качества (секторы G1\_W1, ..., G2\_W2 на рис. 6). Эта задача успешно решается с помощью последовательности алгоритмов выделения областей с использованием установленного критерия качества [14—17] и алгоритмов выделения границ без использования критерия качества (например, фильтр Лапласа, фильтр Робертса и пр. [1—5, 7, 12]). Первые формируют гомогенные области, на границах которых образуются резкие перепады по цвету (либо оттенкам серого), вторые алгоритмы выполняют фильтрацию, по результатам которой выделяется граница объекта.

Руководствуясь схемой, приведенной на рис. 6, в дальнейшем предполагается развивать алгоритмы выделения областей с использованием установленного критерия качества и иерархической структурой данных.

**Заключение.** В настоящей работе проанализирована классификация АСИ, предусматривающая направление перспективных исследований — разработку новых алгоритмов компьютерного зрения.

Предложена структурная схема алгоритмов, в качестве примера реализации которой представлен алгоритм квазиоптимальной сегментации, генерирующий множество разбиений исходного изображения по числу рассматриваемых кластеров.

Введен дополнительный классификационный признак (число разбиений на выходе АСИ) и выполнена декомпозиция обобщенной схемы классификации АСИ до пяти признаков.

Представляется перспективным исключение признака „тип изображения“ и введение нового признака „наличие иерархической структуры данных“ с последующей ревизией всех АСИ.

В дальнейшем предполагается разработка алгоритмов выделения областей с использованием установленного критерия качества и иерархической структурой данных, обеспечивающих быстрые операции над множествами пикселей.

Исследование выполнено при поддержке НИР № 0073-2018-0001 „Состояние и перспективы развития информационного общества в России“ с 2014-го по 2021 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Haralick R., Shapiro L.* Image segmentation techniques. Computer vision // Graphics and Image Processing (CVGIP). 1985. Vol. 29. P. 100—132.
2. *Fu K. Mui J.* A survey on image segmentation // Pattern Recognition. 1981. Vol. 13. P. 3—16.
3. *Pal N., Pal S.* A survey on image segmentation techniques // Pattern Recognition. 1993. Vol. 26. P. 1277—1229.
4. *Skarbek W., Koschan A.* Color image segmentation — A survey: Technischer Bericht / Technical Univ. of Berlin. 1994. P. 94—32.
5. *Lucchese L., Mitrav S. K.* Color image segmentation: A state-of-the-art survey // Proc. of the Indian National Science Academy (INSA-A). 2001. Vol. 67, N 2. P. 207—221.
6. Semantic-Based Visual Information Retrieval / Ed. *Y. J. Zhang*. IGI Global, 2006.
7. *Gonzalez R., Woods R.* Digital Image Processing. NJ: Prentice Hall, 2002.
8. *Rosenfeld A.* Image pattern recognition // Processing of IEEE. 1981. Vol. 69, N 5. P. 596—605.
9. *Денисов Д. А., Низовкин В. А.* Сегментация изображений на ЭВМ // Зарубежная радиоэлектроника. 1985. № 10. С. 5—31.
10. *Поршнев С. В., Левашкина А. О.* Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений // Журн. научных публикаций аспирантов и докторантов. 2008. № 3 (31). С. 163—172.
11. *Пестунов И. А., Сиявский Ю. Н.* Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений // Вестн. КемГУ. 2012. № 2. С. 110—125.
12. *Sahoo P. K., Soltani S., Wong A. K. C.* A survey of thresholding techniques // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1988. Vol. 41, N 2. P. 233—260.
13. *Spirkovska L.* A Summary of Image Segmentation Techniques: NASA Technical Memorandum 104022. June 1993 [Электронный ресурс]: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940006802.pdf>>.
14. *Khanykov I. G., Kharinov M. V., Patel C.* Image segmentation improvement by reversible segment merging // Intern. Conf. on Soft Computing and its Engineering Applications: IEEE Gujarat Section Proc. 2017.
15. *Харинов М. В., Ханьков И. Г.* Оптимизация кусочно-постоянного приближения сегментированного изображения // Тр. СПИИРАН. 2015. Т. 3, № 40. С. 183—202.

16. Харинов М. В., Ханьков И. Г. Применение метода Уорда для кластеризации пикселей цифрового изображения // Вестн. Бурятского гос. ун-та. 2016. № 4. С. 34—42.
17. Харинов М. В., Ханьков И. Г. Комбинированный метод улучшения сегментации изображения // Тр. Бурятского гос. ун-та. 2015. С. 118—124.
18. Ханьков И. Г. К вопросу о выделении объектов на изображении методами сегментации [Электронный ресурс]: < [http://conference.spiras.nw.ru/seminar\\_ICT/20160205Khanykov.pdf](http://conference.spiras.nw.ru/seminar_ICT/20160205Khanykov.pdf)>, 13.04.2017.
19. Ward J. H., Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. of the Amer. Statistical Association. 1963. Vol. 58. P. 236—244.
20. Chen J., Pappas T. N., Mojsilovic A., Rogowitz B. Adaptive image segmentation based on color and texture // Intern. Conf. on Image Processing: IEEE Proc. 2002. Vol. 3. P. 777—780.
21. Ханьков И. Г. Сопоставление двух методов автоматической сегментации // Материалы IX Санкт-Петербургской межрегион. конф. „Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2015)“, 28—30 окт. 2015 г. СПб, 2015. С. 88—89.

#### Сведения об авторе

**Игорь Георгиевич Ханьков** — СПИИРАН; лаборатория прикладной информатики и проблем информатизации общества; мл. научный сотрудник; E-mail: [igk@ias.spb.su](mailto:igk@ias.spb.su)

Поступила в редакцию  
27.08.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Ханьков И. Г. Классификация алгоритмов сегментации изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 11. С. 978—987.

## CLASSIFICATION OF IMAGE SEGMENTATION ALGORITHMS

I. G. Khanykov

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS,  
199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: [igk@ias.spb.su](mailto:igk@ias.spb.su)

A classification scheme for image segmentation algorithms is considered, requirements for new algorithms are formulated. A three-stage block scheme is proposed for designing new algorithms. An algorithm of quasi-optimal segmentation is discussed as a version of the block scheme implementation. An attribute reflecting the features of the group of hierarchical algorithms that the proposed algorithm belongs to is introduced. Application of the introduced attribute is shown to refine the classification scheme and the requirements for the algorithms being created.

**Keywords:** classification scheme, image segmentation, classification attributes, number of partitions

## REFERENCES

1. Haralick R., Shapiro L. *Graphics and Image Processing* (CVGIP), 1985, vol. 29, pp. 100—132.
2. Fu K. Mui J. *Pattern Recognition*, 1981, vol. 13, pp. 3—16.
3. Pal N., Pal S. *Pattern Recognition*, 1993, vol. 26, pp. 1277—1229.
4. Skarbek W., Koschan A. *Technischer Bericht*, Technical Univ. of Berlin, 1994, pp. 94—32.
5. Lucchese L., Mitrav S.K. *Proc. of the Indian National Science Academy* (INSA-A), 2001, no. 2(67), pp. 207—221.
6. Zhang Y.J., ed., *Semantic-based visual information retrieval*, IGI Global, 2006.
7. Gonzalez R., Woods R. *Digital Image Processing*, NJ, Prentice Hall, 2002.
8. Rosenfeld A. *Processing of IEEE*, 1981, no. 5(69), pp. 596—605.
9. Denisov D.A., Nizovkin V.A. *Zarubezhnaya radioelektronika*, 1985, no. 10, pp. 5—31. (in Russ.)
10. Porshnev S.V., Levashkina A.O. *Zhurnal nauchnykh publikatsiy aspirantov i doktorantov*, 2008, no. 3(31), pp. 163—172. (in Russ.)
11. Pestunov I.A., Sinyavskiy Yu.N. *Bulletin of Kemerovo State University*, 2012, no. 2, pp. 110—125. (in Russ.)
12. Sahoo P.K., Soltani S., Wong A.K.C. *Computer vision, graphics, and image processing*, 1988, no. 2(41), pp. 233—260.
13. Spirkovska L. *A Summary of Image Segmentation Techniques: NASA Technical Memorandum 104022*. June 1993, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940006802.pdf>.

14. Khanykov I.G., Kharinov M.V., Patel C. *Intern. Conf. on Soft Computing and its Engineering Applications: IEEE Gujarat Section Proc.*, 2017.
15. Kharinov M.V., Khanykov I.G. *Trudy SPIIRAN* (SPIIRAS Proceedings), 2015, no. 40(3), pp. 183–202. (in Russ.)
16. Kharinov M.V., Khanykov I.G. *Bulletin of the Buryat State University. Mathematics, Informatics*, 2016, no. 4, pp. 34–42. (in Russ.)
17. Kharinov M.V., Khanykov I.G. *Proc. of the Buryat State University*, 2015, pp. 118–124. (in Russ.)
18. [http://conference.spiiras.nw.ru/seminar\\_ICT/20160205Khanykov.pdf](http://conference.spiiras.nw.ru/seminar_ICT/20160205Khanykov.pdf). (in Russ.)
19. Ward J.H., jr. *J. of the Amer. Statistical Association*, 1963, vol. 58, pp. 236–244.
20. Chen J., Pappas T. N., Mojsilovic A., Rogowitz B. *Intern. Conf. on Image Processing*, IEEE Proceedings, 2002, vol. 3, pp. 777–780.
21. Khanykov I.G. *Informatsionnaya bezopasnost' regionov Rossii (IBRR-2015)* (Information security of Russian regions (IBRR-2015)), Proceedings of the IX St. Petersburg Interregional Conference, 28–30 October, 2015, pp. 88–89. (in Russ.)

**Data on author****Igor G. Khanykov**— St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Applied Informatics and Problems of Society Informatization; Junior Scientist; E-mail: [igk@ias.spb.su](mailto:igk@ias.spb.su)**For citation:** Khanykov I. G. Classification of image segmentation algorithms. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 11. P. 978–987 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-978-987