

**В.М. Курейчик, А.М. Штучный**

**СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ АЛГОРИТМОМ ПАУКООБРАЗНЫХ  
ОБЕЗЬЯН ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ РАЗРАБОТКИ  
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ\***

*Проведен анализ текущего состояния проблемы обратной разработки печатных плат, в контексте развития современного общества, науки техники. Связь технологий обратной разработки и мировой тенденцией развития рассматривается в контексте Индустрии 4.0 или четвертой научно-технической революции. Проведен обзор существующих современных алгоритмов сегментации, основанных на алгоритмах кластеризации. Выявлены их достоинства и недостатки. Целью статьи является автоматизация процесса обратной разработки печатных плат. Задачей статьи разработка нового алгоритма сегментации изображений, для его применения в автоматизированной системе обратной разработки печатных плат. В статье представлена теоретическая разработка нечеткого алгоритма паукообразных обезьян сегментации изображений на основе нечеткого алгоритма *s*-средних. Принцип работы заключается в использовании алгоритма паукообразных обезьян используется для поиска максимума распределения вероятности нахождения аналогичного пикселя на сегментируемом изображении, далее максимумы назначаются центрами сегментов и используется алгоритм нечеткой сегментации *s*-средних. Достоинством этого разработанного алгоритма является автоматическое определение количества кластеров и их центров. Теоретическое преимущество такого подхода в использовании универсального алгоритма оптимизации, который превосходит аналоги во многих тестовых задачах оптимизации. Приведен алгоритм действий, автоматизированной системы обратной разработки печатных плат. В статье приводятся выводы о перспективах исследований в этом направлении и предлагаются возможности использования результатов работы. Новизной является автоматизация процесса обратной разработки печатных плат. Принципиальным отличием является использование нового метода сегментации, основанного на алгоритмах нечеткой *s*-средних сегментации и паукообразных обезьян.*

*Обратная разработка; реверс-инжиниринг печатных плат; сегментация изображений; алгоритм паукообразных обезьян.*

**V.M. Kureychik, A.M. Shtuchnyy**

**IMAGE SEGMENTATION BY SPIDER MONKEY ALGORITHM FOR  
AUTOMATED REVERSE DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS**

*This article analyzes the current state of the problem of printed circuit boards reverse development in the context of the development of modern society, science and technology. The relationship between reverse engineering and the global development trend is seen in the context of Industry 4.0 or the fourth scientific and technological revolution. A review of existing modern segmentation algorithms based on clustering algorithms is carried out. Their advantages and disadvantages are revealed. The aim of the article is to automate the process of reverse development of printed circuit boards. The objective of the article is the development of a new image segmentation algorithm for its use in an automated system for reverse development of printed circuit boards. The article presents the theoretical development of the fuzzy algorithm of spider monkey image segmentation based on the fuzzy *c*-means algorithm. The principle of operation is to use the algorithm of arachnid monkeys used to find the maximum distribution of the probability of finding a similar pixel in the segmented image, then the maxima are assigned by the centers of the segments and the fuzzy *s*-means segmentation algorithm is used. The advantage of this developed algorithm is the automatic determination of the number of clusters and their centers. The theoretical advantage of this approach is the use of a universal optimization algorithm, which surpasses analogues in many optimization optimization problems. The algorithm of actions, an automated*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-0050.

*system for reverse development of printed circuit boards. The article provides conclusions about the prospects of research in this direction and suggests the possibility of using the results of the work. The novelty is the automation of the process of reverse development of printed circuit boards. The fundamental difference is the use of a new method of segmentation, based on algorithms of fuzzy c-medium segmentation and spider monkey algorithm.*

*Problem of reverse; PCB reverse engineering; image segmentation; spider monkey algorithm.*

**Введение.** Текущее развитие науки и техники привело к появлению в современности таких тенденций, которые в совокупности образуют технологию Индустрия 4.0. Понятие «Индустрия 4.0» отождествлено с «четвертой промышленной революцией». Основными технологиями Индустрии 4.0 являются [1, 2]:

- ◆ аддитивные технологии;
- ◆ облачные технологии;
- ◆ технологии безопасности киберфизических систем;
- ◆ промышленная сенсорика;
- ◆ технологии «дополненной реальности»;
- ◆ технологии интернета вещей (IoT — Internet of Things);
- ◆ технологии BigData обработки больших массивов производственных данных и др.

Таким образом можно сделать вывод, что одной из главных тенденций Индустрии 4.0 является автоматизация всех этапов производства.

Существует проблема, заключающаяся в отсутствии технической документации на разработанные ранее радиоэлектронные изделия и макеты. Данная проблема связана с развитием отрасли электроники и микроэлектроники 80-х годов. Это повлекло за собой огромное количество разрабатываемых образцов аппаратуры, однако дальнейший упадок этой отрасли в 90-х годах и отсутствие в большей мере технической документации на электронных носителях привело к тому, что на многих предприятиях имеется аппаратура на складах не имеющая к себе в целом и на отдельные узлы этой аппаратуры в частности какой либо документации, а необходимости ее использования остается. Решением задачи восстановления документации по имеющимся образцам занимается такое направление разработки названное обратной разработкой или реверс-инжиниринг.

Под обратной разработкой (обратное проектирование, реверс-инжиниринг) понимают процесс – исследование некоторого готового устройства или программы, а также документации на него с целью понять принцип его работы; например, чтобы обнаружить недокументированные возможности (в том числе программные закладки), сделать изменение или воспроизвести устройство, программу или иной объект с аналогичными функциями, но без прямого копирования [3].

Исходя из определения обратная разработка печатных плат (ПП) – это процесс разработки конструкторской документации (К.Д.), а именно схем, фотошаблонов проводящих рисунков, спецификаций, перечней, сборочных чертежей и т.д., на основе уже готовой ПП.

Основной проблемой в данном направлении можно назвать отсутствие как таковой системы, программного или программно-аппаратного продукта, который бы полностью автоматизировал процесс обратной разработки печатных плат.

В отечественной и зарубежной литературе [4–7] предлагается использовать «ручной» труд инженера разработчика и программные продукты прямой разработки печатных плат. Инженер должен самостоятельно определять какие элементы входят в состав ПП, ее проводящий рисунок, связи между элементами и т.д. В дополнение к этим недостаткам следует добавить, что в указанной литературе так же предлагается удалить все элементы с ПП, т. е. дальнейшее использование данной печатной платы сводится к нулю.

Для решения описанной проблемы создания автоматизированной системы реверс-инжиниринга авторы данной работы предлагают применить средства обработки и распознавания изображений. Последовательность действий автоматизированной системы реверс инжиниринга печатных плат используя методики автоматизации контроля ПП и монтажа элементов на них:

1. Получение информации о ПП.
2. Предварительная обработка изображения
3. Разделение изображения на слои (Слой компонентов, слой проводящего рисунка, слой диэлектрика)
4. Распознавание объектов слоя компонентов, создание перечня компонентов
5. Распознавание слоя проводящего рисунка, создание карты соединений
6. Преобразование
7. Создание схемы электрической принципиальной

В данной последовательности интересом авторов является пункт разделения изображения на слои. В нем необходимо разделить на логические слои изображения для анализа, т. е. разделить изображение на участки содержащие радиоэлектронные компоненты, участки проводящего рисунка и диэлектрика. Для таких целей наиболее подходящими являются алгоритмы и методы сегментации. В статье авторами предложен новый алгоритм сегментации. Новизной является автоматизация процесса реверс-инжиниринга ПП, применением методов и средств неразрушающего автоматизированного визуального и измерительного контроля ПП. Принципиальным отличием использование для нового метода сегментации основанного на стохастическая метаэвристике – алгоритме паукообразных обезьян.

**Обзор текущего состояния проблемы.** Предварительная обработка изображения заключается в подготовке изображения к распознаванию. Её назначение – это создание условий, повышающих эффективность и качество выделения и распознавания искомым или изучаемых объектов. Методы предварительной обработки зависят от задач исследований, довольно разнообразны. Они могут включать, выделение наиболее информативных фрагментов, их увеличение, получение 3-мерных изображений, цвет картирование, реализация высокого пространственного разрешения, повышение контрастного разрешения, улучшение качества изображений и т.п.

Сегментация изображения является одним из часто используемых методов, позволяющих упростить или изменить качество изображения и сделать его более простым для анализа. В основном сегментация изображения может быть выполнена на основе алгоритмов кластеризации. Кластеризация является важной задачей в процессе интеллектуального анализа данных, который используется для создания групп на основе сходства между ними. В сегментации изображений на основе алгоритмов кластеризации используют два подхода: один – жесткая сегментация, а другая – мягкая или нечеткая сегментация. В жесткой сегментации изображения делятся на несколько различных сегменты, где каждый сегмент изображения принадлежит только одному сегменту. В мягкой или нечеткой сегментации элементы могут принадлежать более чем одному сегменту со степенью принадлежности.

В классическом случае центры сегментов для алгоритмов, основанных на алгоритмах кластеризации, могут быть либо инициализированы случайным образом, либо методом аппроксимации. Недостатком такого метода для задачи сегментации изображений в системе реверс-инжиниринга печатных плат, можно назвать: необходимость точно знать количество кластеров, которое необходимо получить. Это сложно выполнимо в решении такого рода задачи. Точность сегментации зависима от начального выбора множества центров сегментов.

Для преодоления такого рода проблем авторами предлагается использование алгоритмов оптимизации для поиска максимума распределения вероятности аналогичных пикселей в соседних позициях [20].

В работе [8] предлагаются два алгоритма сегментации основанных алгоритмах оптимизации: гибридный муравьиный алгоритм сегментации изображений и гиперэвристический роевой алгоритм сегментации изображений.

Достоинством гибридного муравьиного алгоритма сегментации изображения является точность сегментации а гиперэвристического роевого алгоритма сегментации скорость выполнения процедур. Однако стоит отметить, что разработанные алгоритмы больше подходят для интерактивного использования и в большей степени проблема о необходимости точно знать конечное количество кластеров на изображении остается не решенной. Так же эти алгоритмы используют жесткую или четкую сегментацию, что снижает точность дальнейшего анализа изображений.

В работе [9] предложен алгоритм сегментации на основе нечеткого С-среднего алгоритма сегментации (FCM-S). Представлены преимущества локального FCM-S по сравнению с глобальным, и его характеристик сегментации, на основе которых предлагается накопленный локальный значений для сегментации каждого пикселя в изображении с использованием информации из разных локальных окон. Размер локального окна вычисляется автоматически, и результаты сегментации всех пикселей сохраняются вместе в накопленном результате. Уровни фона и пиксели объекта в накопленном изображении, которое преобразуется из накопленного результата, распределены вокруг 0 и максимального уровня. Таким образом, он может быть сегментирован по уровню, где скорость изменения количества пикселей объекта достигает минимума. Метод может хорошо сегментировать изображения с неоднородностью и может получить лучшую меру перекрытия по сравнению с некоторыми новыми методами сегментации.

В работе [16] на основе метода сегментации Кринидис и Чатцис, называемый нечетким локальным информационным алгоритмом с-средних (fuzzy local information algorithm c-means или FLICM), была предложена другая версия этого алгоритма с именем региональный нечеткий локальный информационный алгоритм с-средних (regional fuzzy local information algorithm c-means или RFLICM). В RFLICM был определен нечеткий фактор, определяемый базисом, и включен в объективную функцию нечеткого среднего алгоритма сегментации с-средних. Нечеткий фактор может одновременно включать пространственную, структурную и спектральную информацию уровня области и нечетким образом, и помогает гарантировать, что структура неоднородности хорошо сохраняется с сохранением региональных границ. Все эти характеристики делают RFLICM более общим и пригодным для сегментации цветных изображений. Предлагаемый способ позволяет обнаруживать кластеры цветных текстур изображений. Он преодолевает недостатки алгоритма FLICM за счет включения спектральной, пространственной и структурной формации на уровне региона. Нечеткий коэффициент на уровне региона, используемый в RFLICM, предназначен для нечеткого моделирования крупномасштабных взаимодействий между областями изображения вместо пикселей. Экспериментальные результаты как искусственного, так и реального наборов данных показали, что предложенный алгоритм имеет лучшую производительность

В работе [17] представлен адаптивный алгоритм сегментации, основанный на алгоритме К-средних. Достоинство этого подхода, заключается в том, что изображения, преобразованные в определенное цветовое пространство LAB, недоступны в традиционных алгоритмах сегментации на основе К-средних. Алгоритм сегментации изображения, представленный в этой статье, обладает высокой точностью, но недостатком является скорость выполнения.

В качестве возможного решения этих проблем предлагается использовать алгоритм паукообразных обезьян (АПО), примеры использования данного алгоритма уже существуют. В [19] авторы предложили использовать данный алгоритм для отбора признаков нечеткого классификатора.

**Описание алгоритма паукообразных обезьян.** АПО – это алгоритм на основе роевого интеллекта, который мотивирован необыкновенным поведением паукообразных обезьян. АПО – это стохастическая метаэвристика, основанная на популяции. Алгоритм сбалансирован для поиска и эксплуатации в большинстве случаев. Социальное поведение паукообразных обезьян легло в основу метода стохастической оптимизации, который имитирует поведение паукообразных обезьян в поисках пищи [12–14]. Повседневное поведение паукообразных обезьян показывает, что эти обезьяны попадают, в категории животных, чье поведение основано на разделении социальной структуры FFSS. В данной стратегии поведение животных на основе FFSS (например, пауков-обезьян) делится на четыре этапа. Во-первых, группа начинает фуражировать пищу и оценивает дистанцию от пищи. На втором этапе, исходя из расстояния от пищи, члены группы обновляют свои позиции и снова оценивают расстояние от источников пищи. Кроме того, на третьем этапе местный лидер обновляет свою лучшую позицию внутри группы, и если позиция не обновляется в течение определенного количества раз, все участники этой группы начинают поиск продуктов в разных направлениях. Затем, на четвертом этапе, глобальный лидер обновляет свою лучшую позицию, а в случае стагнации он разбивает группу на подгруппы меньшего размера. Все четыре этапа, упомянутые выше, выполняются непрерывно до тех пор, пока не будет достигнут желаемый выход. В предлагаемой стратегии необходимо ввести два важных контрольных параметра: «Ограничение глобального лидера», а другой - «Ограничение локального лидера», который помогает локальным и глобальным лидерам принимать соответствующие решения. Контрольный параметр Ограничение глобального лидера используется для предотвращения стагнации, т.е. если лидер локальной группы не обновляет себя в определенное количество раз, тогда эта группа перенаправляется в другое направление для поиска. Другой контрольный параметр «Ограничение локального лидера» используется для той же цели для глобального лидера. Глобальный лидер разбивает группу на более мелкие подгруппы, если она не обновляется в определенное количество раз.

Таким образом, переходя от поведения животных, к их моделям, агентам, АПО определяется следующими этапами, описанными в [13]:

1. Инициализация популяции агентов.
2. Фаза агента – локального лидера.
3. Фаза агента – глобального лидера.
4. Фаза обучения агента – глобального лидера.
5. Фаза обучения агента – локального лидера.
6. Фаза определения агента – локального лидера.
7. Фаза определения агента – глобального лидера.

Для решения задачи сегментации в фазе определения глобального лидера вместо контроля положения глобального лидера применим алгоритм сегментации, используя положение агентов – локальных лидеров как центры сегментов алгоритма сегментации.

**Алгоритм нечеткой сегментации паукообразных обезьян.** Первоначально алгоритм паукообразных обезьян был разработан как алгоритм многокритериальной оптимизации. Рассматривая его применение как алгоритм сегментации, представим, что первоначальный набор альтернативных решений (АР), это первичное положение центров сегментов, а квазиоптимальный набор АР будет соответство-

вать конечному положению центров сегментов для сегментации. Многокритериальность алгоритма использована для задания цветовой модели сегментируемого изображения.

**1. Инициализация популяции агентов.** На этом этапе алгоритм генерирует равномерно распределенную начальную популяцию  $N$  агентов, начальных центров сегментов, где каждый агент  $SM_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) является  $D$ -мерным вектором. Здесь  $D$  – число переменных цветности, которым определяется черно-белое или цветное изображение будет сегментировано.  $SM_i$  представляют:

$$SM_{ij} = SM_{minj} + U(0,1) \times (SM_{maxj} - SM_{minj}), \quad (1)$$

где  $SM_{minj}$  – нижняя и  $SM_{maxj}$  – верхняя границы  $SM_i$  в  $j$ -м направлении, а  $U(0, 1)$  – равномерно распределенное случайное число в диапазоне  $[0, 1]$

**2. Фаза агента – локального лидера.** В этой фазе агенты обновляют свою текущую позицию на основе информации опыта агента – локального лидера, а также опыта агентов членов локальной группы. Рассчитывается значение пригодности нового положения. Если значение пригодности новой позиции выше, чем значение старой позиции, тогда  $SM$  обновляет свою позицию с новой. Уравнение обновления положения для  $i$ -ой  $SM$  (которое является членом  $k$ -й локальной группы) на этой фазе

$$SM_{newij} = SM_{ij} + U(0,1) \times (LL_{kj} - SM_{ij}) + U(-1,1) \times (SM_{rj} - SM_{ij}), \quad (2)$$

где  $SM_{ij}$  –  $j$ -я размерность  $i$ -го  $SM$ ,  $LL_{kj}$  представляет  $j$ -ю размерность позиции  $k$ -й локальной группы.  $SM_{rj}$  –  $j$ -я размерность  $k$ -го  $SM$ , которая выбирается случайным образом в  $k$ -й группе, так что  $r \neq i$ ,  $U(0,1)$  является универсально распределенным случайным числом между 0 и 1. В работе [11], предложена модификация этого этапа.

**3. Фаза агента – глобального лидера.** После завершения фазы локального лидера начинается фаза глобального лидера. На этой фазе все  $SM$  обновляют свою позицию с использованием опыта глобального и локального участника группы. Уравнение обновления позиции для этой фазы выглядит следующим образом:

$$SM_{newij} = SM_{ij} + U(0,1) \times (GL_j - SM_{ij}) + U(-1,1) \times (SM_{rj} - SM_{ij}), \quad (3)$$

где  $GL_j$  представляет  $j$ -ю измерение позиции агента – глобального лидера, а  $j \in \{1, 2, \dots, D\}$  – случайно выбранный индекс. На этом этапе позиция  $SM_i$  обновляется на основе вероятности  $probi$ , которая рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$probi = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^N fitness_i}, \quad (4)$$

где  $fitness_i$  – значение пригодности  $i$ -го  $SM$ .

Кроме того, вычисляется пригодность вновь созданной позиции  $SM$ , а другая – более лучшая.

**4. Фаза обучения агента – глобального лидера.** Здесь, позиция глобального лидера обновляется путем применения жадного выбора в популяции, то есть позиция  $SM$ , имеющая наилучшую пригодность для населения, выбирается как обновленная позиция мирового лидера. Кроме того, проверяется, обновится ли позиция глобального лидера или нет, а если нет, то «Ограничение глобального лидера» увеличивается на 1.

**5. Фаза обучения агента – локального лидера.** В этой фазе положение локального лидера обновляется путем применения жадного выбора в этой группе, то есть положение  $SM$ , имеющего лучшую пригодность в этой группе, выбирается как обновленная позиция местного лидера. Затем обновленная позиция местного лидера сравнивается со старой, и если положение не обновляется, значение «Ограничение локального лидера» увеличивается на 1.

**6. Фаза определения агента – локального лидера.** Если какая-либо локальная позиция лидера не обновляется до заданного порога ограничение локального лидера, то все члены этой группы обновляют свои позиции либо случайной инициализацией, либо используя комбинированную информацию от агентов локального и глобального лидера через уравнение:

$$SM_{newij} = SM_{ij} + U(0,1) \times (GL_j - SM_{ij}) + U(0,1) \times (SM_{ij} - LL_{kj}). \quad (5)$$

Из уравнения видно, что обновленное измерение этого SM привлекается к глобальному лидеру и отталкивается от местного лидера. Далее вычисляется пригодность обновленного SM.

**7. Фаза определения агента – глобального лидера.** Первоначально в алгоритме паукообразных обезьян на этом этапе контролировалось положение агента – глобального лидера. Мы применили алгоритм нечеткой сегментации для получения конечного результата работы алгоритма сегментации – сегментов.

Для проведения дальнейших исследований о пригодности использования данного алгоритма был предложен его псевдокод.

**Псевдокод алгоритма нечеткой сегментации паукообразных обезьян**

1. Инициализация популяции агентов, ограничений агентов локального и глобального лидеров.
2. Вычисление пригодности агентов.
3. Выбор агентов на роль глобального и локального лидера с применением жадного выбора (фазы).
4. Для нахождения объектов, создаем новые позиции для всех агентов (1).
5. Применение жадного выбора ко всем агентам, основанное на их пригодности.
6. Вычисление пригодности probi (4) для всех агентов.
7. Создание новых позиций для всех агентов (2).
8. Обновление позиций агентов глобального и локального лидеров. while (Termination criteria is not satisfied) do{
9. Вычисление центров сегментов, где агенты локальных лидеров будут начальными центрами по, алгоритму нечеткой сегментации C-средних.
10. Перевычисление веса по алгоритму нечеткой сегментации C-средних.
11. Проверка выполнения условий цикла если достаточно, то заканчиваем, если нет, то переходим к шагу 9.
- }
12. end while

**Эксперимент и апробация.** Эксперимент проводился в среде MATLAB на ЭВМ Asus процессор Intel N5000 ОЗУ 8 гб. Для проведения эксперимента и апробации работы алгоритма на начальном этапе выбраны два тестовых изображения Lena и Cameraman. Данные изображения были подвергнуты сегментации тремя разными алгоритмами, в том числе и тем, что предложен авторами статьи. Первый алгоритм — это не модифицированный алгоритм нечетких c-средних (Fuzzy C-Means, FCM). Второй – алгоритм нечетких c-средних модифицированный алгоритмом оптимизации роя частиц для поиска начальных точек кластера (Fuzzy C-Means - Particle Swarm Optimization, FCM-PSO). Третьим алгоритмом в данном тесте будет предложенный авторами алгоритм нечеткой сегментации паукообразных обезьян (Fuzzy C-Means – Spider Monkey Optimization FCM-SMO). Для оценки работоспособности алгоритма используем параметры чувствительности (Sensitivity, Se), специфичности (Specificity, Sp) и точности (Accuracy, Acc)

$$Se = TP / (TP + FN). \quad (6)$$

$$Sp = TP / (TN + FP). \quad (7)$$

$$Acc = (TP + TN) / (TP + FN + TN + FP). \quad (8)$$

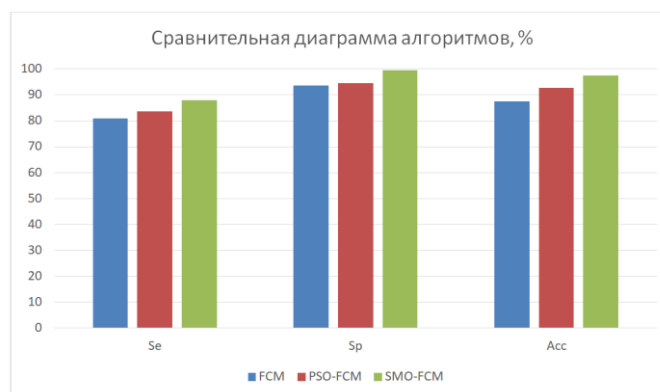
где TP – истинно положительный результат, FN – ложный отрицательный, TN – истинно отрицательный, FP – ложный положительный.

Полученные результаты работы алгоритмов внесены в табл. 1, и составлена сравнительная диаграмма 1.

Таблица 1

Название алгоритма	Чувствительность Se %	Специфичность Sp %	Точность Acc %
FCM	81	93,7	87,6
PSO-FCM	83,6	94,6	92,7
<b>SMO-FCM</b>	<b>87,9</b>	<b>99,6</b>	<b>97,5</b>

Диаграмма 1.



Как видно из таблицы полученных результатов предложенный авторами алгоритм превосходит существующие алгоритмы по параметрам чувствительности, точности и специфичности.

#### Работа системы обратной системы обратной разработки ПП

Итак, дана ПП.

1. Получаем цветное изображение ПП;
2. Сегментируем изображение предложенным в статье алгоритмом паукообразных обезьян;
3. Производим распознавание объектов, полученных после сегментации;
4. Составляем список элементов (перечень);
5. Распознаем фон ПП;
6. Составляем список соединений;
7. Подучаем конечное КД ПП.

**Заключение.** Авторами предложена последовательность действий автоматизированной системы обратной разработки. Важным пунктом которой является операция разделения на слои, заключающаяся в применении алгоритма сегментации. В статье проведен анализ текущего состояния проблемы как процесса обратной разработки в целом, так и средств автоматизации этого процесса – а именно сегментации изображений. В этой статье предлагается теоретическая адаптация алгоритма паукообразных обезьян на основе алгоритма нечеткой сегментации и



оригинального алгоритма паукообразных обезьян, который позволяет проводить сегментацию изображений. Его преимуществом является самостоятельное определение количества кластеров и их центров. Из проведенных тестов алгоритмов сегментации, предложенный авторами алгоритм превосходит существующие алгоритмы по параметрам чувствительности, точности и специфичности.

Данный алгоритм применим не только для сегментации изображений, но и для работы с облаком точек. Данные облака должны содержать информацию как о расположении каждой точки в пространстве, так и о цвете. Достоинство такого подхода в использовании алгоритма универсального алгоритма оптимизации, который превосходит аналоги во многих тестовых задачах оптимизации. Предложена новизна автоматизация процесса обратной разработки ПП. Принципиальным отличием является использование нового метода сегментации, основанного на алгоритмах нечеткой с-средних сегментации и паукообразных обезьян.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Guryanov V.A., Babenkov V.I.* Military industrial security supply chain components of the military-industrial complex // *Electronic scientific journal*. – 2017. – No. 7 (22). – P. 72-75.
2. *Guryanov V.A., Babenkov V.I.* Conceptual approaches of adaptive control military industrial security supply chain components of the military industrial complex // In collection of: Science, education, society: trends and prospects. Collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference. – 2017. – P. 94-96.
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратная\\_разработка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратная_разработка) (дата доступа: 27.09.2019).
4. <https://www.instructables.com/id/How-to-reverse-engineer-a-schematic-from-a-circuit/> (дата доступа: 27.09.2019).
5. [https://server.ibfriedrich.com/wiki/ibfwikien/index.php/Reverse\\_Engineering](https://server.ibfriedrich.com/wiki/ibfwikien/index.php/Reverse_Engineering) (дата доступа: 27.09.2019).
6. <http://we.easyelectronics.ru/CADSoft/obratnyy-inzhiniring-pechatnoy-platy-s-pomoschyu-sprint-layout-i-altium-designer.html> (дата доступа: 27.09.2019).
7. <http://reversit.ru> (дата доступа: 27.09.2019).
8. *Родзин С.И., Скобцов Ю.А., Эль-Хатиб С.А.* Биоэвристики: теория, алгоритмы и приложения: монография. – Чебоксары: ИД «Среда», 2019. – 224 с.
9. *Chen M. and Ludwig S.A.* Color Image Segmentation Using Fuzzy C-Regression Model // *Advances in Fuzzy Systems*. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1-15.
10. *Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. and Clerc M.* Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization // *Memetic computing*. – 2014. – No. 6 (1). – P. 31-47.
11. *Viren S., Sandeep K., Sanjay J.* An Improved Spider Monkey Optimization Algorithm, January. 2018.
12. *Ali A Al-Azza, Ammar A Al-Jodah, and Frances J Harackiewicz.* Spider monkey optimization: A novel technique for antenna optimization // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. – 2016. – No. 15. – P. 1016-1019.
13. *Bansal, J.C., Sharma, H., Jadon, S.S. and Clerc, M.* Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization // *Memetic computing*. – 2014. – No. 6 (1). – P. 31-47.
14. *Swami V., Kumar S., Jain S.* An Improved Spider Monkey Optimization Algorithm, *Soft Computing: Theories and Applications*. – Nov. 2017. – P. 73-81.
15. *Штучный А.М., Курейчик В.М.* Сегментация изображений адаптированным алгоритмом обезьян на основе к-средних // *Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 450 с.
16. *Курейчик В.М., Штучный А.М.* Использование эволюционных алгоритмов сегментации изображений в САПР // *Информационные технологии и математическое моделирование систем*. – Одинцово, 2017. – С. 79-82.
17. *Liu G., Li P., and Zhang Y.* A Color Texture Image Segmentation Method Based on Fuzzy c-Means Clustering and Region-Level Markov Random Field Model // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1-9.

18. Zheng X., Lei Q., Yao R., Gong Y. and Yin Q. Image segmentation based on adaptive K-means algorithm // *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. – Aug. 2018. – Vol. 2018, No. 1.
19. Ходашинский И.А., Немирович-Данченко М.М., Самсонов С.С. Отбор признаков для нечеткого классификатора с использованием алгоритма паукообразных обезьян // *Бизнес-информатика*. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 29-42. – DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.29.42.
20. Joskowic L., Cohen D., Caplan N. and Sosna J. Automatic segmentation variability estimation with segmentation priors // *Medical Image Analysis*. – Dec. 2018. – Vol. 50. – P. 54-64.

## REFERENCES

1. Guryanov V.A., Babenkov V.I. Military industrial security supply chain components of the military-industrial complex, *Electronic scientific journal*, 2017, No. 7 (22), pp. 72-75.
2. Guryanov V.A., Babenkov V.I. Conceptual approaches of adaptive control military industrial security supply chain components of the military industrial complex, *In collection of: Science, education, society: trends and prospects. Collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference*, 2017, pp. 94-96.
3. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратная\\_разработка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратная_разработка) (accessed 27 September 2019).
4. Available at: <https://www.instructables.com/id/How-to-reverse-engineer-a-schematic-from-a-circuit/> (accessed 27 September 2019).
5. Available at: [https://server.ibfriedrich.com/wiki/ibfwikien/index.php/Reverse\\_Engineering](https://server.ibfriedrich.com/wiki/ibfwikien/index.php/Reverse_Engineering) (accessed 27 September 2019).
6. Available at: <http://we.easyelectronics.ru/CADSoft/obratnyy-inzhiniring-pechatnoy-platy-s-pomoschyu-sprint-layout-i-altium-designer.html> (accessed 27 September 2019).
7. Available at: <http://reversit.ru> (accessed 27 September 2019).
8. Rodzin S.I., Skobtsov Yu.A., El'-Khatib S.A. Bioevristiki: teoriya, algoritmy i prilozheniya: monografiya [Bymistake: theory, algorithms and applications: monograph]. Cheboksary: ID «Sreda», 2019, 224 p.
9. Chen M. and Ludwig S.A. Color Image Segmentation Using Fuzzy C-Regression Model, *Advances in Fuzzy Systems*, 2017, Vol. 2017, pp. 1-15.
10. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. and Clerc M. Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization, *Memetic computing*, 2014, No. 6 (1), pp. 31-47.
11. Viren S., Sandeep K., Sanjay J. An Improved Spider Monkey Optimization Algorithm, January. 2018.
12. Ali A Al-Azza, Ammar A Al-Jodah, and Frances J Harackiewicz. Spider monkey optimization: A novel technique for antenna optimization, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2016, No. 15, pp. 1016-1019.
13. Bansal, J.C., Sharma, H., Jadon, S.S. and Clerc, M. Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization, *Memetic computing*, 2014, No. 6 (1), pp. 31-47.
14. Swami V., Kumar S., Jain S. An Improved Spider Monkey Optimization Algorithm, *Soft Computing: Theories and Applications*, Nov. 2017, pp. 73-81.
15. Shtuchnyy A.M., Kureychik V.M. Segmentatsiya izobrazheniy adaptirovannym algoritmom obez'yan na osnove k-srednikh [Segmentation of images by the adapted algorithm of monkeys on the basis of k-means], *Informatsionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noy sfere i meditsine* [Information technologies in science, management, social sphere and medicine]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2017, 450 p.
16. Kureychik V.M., Shtuchnyy A.M. Ispol'zovanie evolyutsionnykh algoritmov segmentatsii izobrazheniy v SAPR [Use of evolutionary algorithms of image segmentation in CAD], *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie system* [Information technologies and mathematical modeling of systems]. Odintsovo, 2017, pp. 79-82.
17. Liu G., Li P., and Zhang Y. A Color Texture Image Segmentation Method Based on Fuzzy c-Means Clustering and Region-Level Markov Random Field Model, *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, Vol. 2015, pp. 1-9.
18. Zheng X., Lei Q., Yao R., Gong Y. and Yin Q. Image segmentation based on adaptive K-means algorithm, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, Aug. 2018, Vol. 2018, No. 1.

19. *Khodashinskiy I.A., Nemirovich-Danchenko M.M., Samsonov S.S.* Otbor priznakov dlya nechetkogo klassifikatora s ispol'zovaniem algoritma paukoobraznykh obez'yan [Selection of features for fuzzy classifier using the algorithm of spider monkeys], *Biznes-informatika* [Business Informatics], 2019, Vol. 13, No. 2, pp. 29-42. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.29.42.
20. *Joskowic L., Cohen D., Caplan N. and Sosna J.* Automatic segmentation variability estimation with segmentation priors, *Medical Image Analysis*, Dec. 2018, Vol. 50, pp. 54-64.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

**Курейчик Виктор Михайлович** – Южный федеральный университет; e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634681887; кафедра систем автоматизированного проектирования; профессор.

**Штучный Антон Михайлович** – Научное конструкторское бюро «МИУС» южного федерального университета; e-mail: shtuchnyu@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: +78634328011; отделение АИС; начальник сектора.

**Kureichik Victor Mikhailovich** – Southern Federal University; e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634681887; the department of computer aided design systems; professor.

**Shtuchny Anton Mikhailovich** – Scientific Design Bureau "MIUS" of the Southern Federal University; e-mail: shtuchnyu@sfedu.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634328011; AIS department; head of sector.