

ИНФОРМАЦИОННОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.43

[https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2\(39\)-73-81](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2(39)-73-81)Логунова О.С.¹, Багаев И.И.¹, Сидоренко Н.С.¹, Логунов С.М.², Егорова Л.Г.¹¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова² ООО «Объединенная сервисная компания», г. Магнитогорск

МЕТОД ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Целью исследования является разработка метода эффективной организации специализированного информационного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами, позволяющего сохранять только информацию о ключевых элементах сложно структурированного изображения. При выполнении исследований введено понятие сложноструктурированного изображения, включающего объект исследования и множество элементов, нарушающих его сплошность. Для описания изображения вводится структурная единица информации, включающая для объекта исследования: принадлежность к классу, гистограмму яркости, начальную точку и описание границы объекта; для элементов внутри объекта исследования: начальную точку области каждого элемента и описание границы элемента. Для реализации структурной единицы информации разработана функциональная схема программного продукта, который содержит два блока: блок формирования математического описания изображения для сохранения в корпоративном Хранилище; блок использования математического описания для экспертной оценки с учетом требования восстановления исходного изображения. Разработанный метод протестирован для изображений серного отпечатка непрерывно-литой заготовки для условий крупного металлургического предприятия России. Исходные материалы получены в ходе пассивного эксперимента на машине непрерывного литья заготовок криволинейного типа. Для проведения вычислительного эксперимента спроектирован и разработан программный продукт, позволяющий выполнить построение математического описания изображения и его восстановления. С использованием массива ретроспективной информации 2011–2018 гг. и разработанного программного продукта выполнена оценка эффективности представления графической информации в виде структурной единицы информации без непосредственного сохранения изображения. Средняя доля сохраняемой информации от исходного объема составляет 0,53%. Результаты исследования применимы для систем автоматизированного управления технологическими процессами и производствами, в которых необходима экспертная оценка объектов по изображениям: качество продукта, целостность оборудования, сплошность объектов в медицинской и легкой промышленности.

Ключевые слова: изображение, структура изображения, структурная единица информации, математическое описание, Хранилище данных.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие информационной среды промышленных предприятий требует проектирования и разработки методов эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами, производствами и технологической подготовкой производства. Современные технологии организации информационного обеспечения систем управления технологическими процессами и производствами требуют проектирования и разработки структуры базы и банков данных, а также альтернативных способов представления и хранения информации, в том числе и графической [1, 2].

Для крупных предприятий количество записей в базе данных для сохранения параметров процессов насчитывает миллионы при количестве полей в каждой записи до 500 и более с объемом каждой записи до 15 000 МБ. Например, для одного из крупнейших металлургических предприятий Российской Федерации только по этапу непрерывной разливки стали за полный календарный 2017 г. и шесть месяцев 2018 г. количество записей в Храни-

лище достигает 6211239 и в каждой записи 306 полей общим объемом 9180 МБ. По прокатному переделу максимальное количество записей за этот же период достигает 18998408 записей при структуре записи в 408 полей и объемом каждой записи 9760 МБ. Общий объем записей по всем переделам в Хранилище достигает 1 ЭксаБ. Следует учитывать, что Хранилище обеспечивает сохранение не только текущей информации, но возможность архивирования для последующего восстановления.

Среди методов эффективной организации и ведения специализированного информационного обеспечения систем управления технологическими процессами и производствами можно отметить [3–6]:

- оптимизацию структуры базы с учетом функциональных особенностей поисковых запросов по параметрам, характеризующих технологический процесс: пересмотр планов для запросов, перераспределения весовых категорий запросов, рефакторинг запросов, изменение структуры индексов, тонкая настройка планов для запросов;

- изменение состава и типа полей базы данных технологических параметров для повышения достоверности и полноты информации, характеризующих процесс: денормализация и нормализация базы данных, добавление, удаление и изменений полей.

Если есть возможность хранить исходную инфор-

мацию в меньшем размере (как минимум, на 30% меньше), то данные подлежат оптимизации.

Среди теоретических и практических разработок в области проектирования и разработки методов эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами, производствами и технологической подготовкой производства представлены работы, в которых:

- предлагаются методы построения и использования систем управления с распределенной структурой, которые должны обеспечивать согласование параметров управления для каждого участка [7, 8];

- рассматриваются особенности построения информационного обеспечения АСУ ТП для потенциально опасных объектов [9, 10].

Для хранения больших объемов информации на производственных предприятиях используют дорогостоящее аппаратное и программное обеспечение. В качестве примера можно привести конфигурацию одной из действующих корпоративных систем, приведенной в табл. 1.

Представление в Хранилище данных информации в графическом виде в настоящее время становится все более актуальным. Графическая информация наиболее полно дает представление о мгновенном или динамическом состоянии объекта. В современном мире активно разрабатываются как классические, так и новые алгоритмы обработки графической информации [11]. Несмотря на это, графическая информация в рабочем пространстве Хранилища данных требует большого объема на носителях для ее сохранения и, как, правило исключается из набора сохраняемой информации.

Таблица 1

Ресурсы корпоративного Хранилища данных металлургического предприятия

Вид ресурса	Характеристики аппаратного обеспечения	Характеристики программного обеспечения
Ресурсы WEB-сервера	4 вычислительных ядра 16 Гб оперативного запоминающего устройства (ОЗУ); 100 Гб дискового пространства	Операционная система Linux Apache 2.4 + PHP 7.2.3 (с кодировкой по умолчанию UTF-8) Подключение к системе управления базами данных (СУБД) Sybase ASE – ODBC Подключение к СУБД Oracle – Oracle Client/PDO
Ресурсы базы данных	Технология процессора – SPARC; Частота процессора не ниже 3,4ГГц; 8 вычислительных ядра; 32 Гб ОЗУ 2 Тб дискового пространства	Операционная система Solaris СУБД Oracle 12c (с кодировкой по умолчанию UTF-8) СУБД разбита на 2 кластера – основная и резерв
Ресурсы репликационного сервера	2 вычислительных ядра; 8 Гб ОЗУ 50 Гб дискового пространства	Операционная система Windows Server 2012R2

Для условий использования графической информации возникает задача поиска компромисса при выборе набора и формы представления информации, которая предполагается для размещения в Хранилище данных. Наиболее популярной является траектория сохранения изображения при использовании алгоритмов сжатия [12-16]. Одно из усовершенствований алгоритма сжатия *JPEG* с потерями представлено в работе [13] и заключается в разделении объекта и фона изображения и использовании разных степеней компрессии для каждого в отдельности, что позволяет добиться повышения общего коэффициента сжатия графической информации и сохранения объекта изображения в лучшем качестве, нежели качество фона. Приведенный в работе алгоритм основан на выделении наиболее информативных областей изображения, не имеющих равномерного распределения яркости внутри себя и замкнутых границ, очерчивающих объект. Среди менее распространенных методов сжатия с потерями также существует метод [14], основанный на разложении квазициклических компонент изображения по собственным векторам соответствующих субполосных матриц на основе вариационного субинтервального частотного анализа/синтеза. В ходе вычислительных экспериментов, проведенных авторами работы, метод сжатия продемонстрировал высокоэффективное сжатие изображений, энергия которых сосредоточена в незначительном количестве частотных интервалов. Довольно простой для понимания алгоритм сжатия с потерями описан в работе [15]. Каждому пикселю изображения ставится в однозначное соответствие пара X и Y из хаотично построенного числового ряда, полученного при помощи использования дискретного отображения Хенона. Благодаря тому, что одним из шагов алгоритма сжатия является аннулирование фрагмента полученного хаотически трансформированного изображения, снижается объем занимаемого графической информацией дискового пространства. Авторы утверждают, что аннулированию без видимых потерь успешно подвергается до 70% площади изображения в зависимости от его фактуры. В работе [16] представлен алгоритм сжатия изображений с адаптацией к структуре графической информации, в котором под адаптацией понимается процесс деления изображения на непересекающиеся фрагменты с учетом их информационной ценности или морфологической структуры. Для решения задачи адаптации вводится понятие маски, которая показывает одну или несколько областей интереса. Выделять маску предлагается при помощи статистических характеристик, определяемых по гистограмме яркости на основе значений средней энтропии, характеризующей изменчивость яркости изображения. Адаптивный способ сжатия, представленный авторами, позволяет сохранить близкую к исходной точности информацию об области повышенного интереса на изображении и при этом обеспечить малые размеры файла. В большинстве своем описанные алгоритмы являются усовершенствованием формата *JPEG* и могут успешно применяться, учитывая данные авторами ограничения. В силу разных при-

чин, зависящих от предметной области использования, малый размер файла и соответствующее этому качество графической информации не всегда подходит для изображений, при хранении которых важно сохранять исходное качество лишь выделенных объектов изображения, пренебрегая всеми остальными.

Для современных Хранилищ промышленных данных о протекании технологических процессов и состоянии оборудования возникает противоречие: с одной стороны, наличие графической информации об объекте позволяет устранить влияние человеческого фактора при выполнении экспертной оценки и, как следствие, повысить качество принятия решения на основе полной информации с применением современных методов автоматизированной или автоматической обработки информации, с другой – непосредственное размещение графической информации в Хранилище приводит к быстрому заполнению рабочего пространства Хранилища и высоким затратам на приобретение и обслуживание технического обеспечения.

Для устранения противоречий необходимо разработать метод эффективной организации и ведения специализированного информационного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами, производствами и технологической подготовкой производства.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предположим, что в ходе исследования технологического процесса или осмотра оборудования получено изображение, на котором можно выделить объект исследования произвольной формы и нарушение его сплошности в виде более темных элементов нерегулярной формы (рис. 1, а). Изображение такого вида будем называть сложноструктурированным.

Особенностями сложноструктурированного изображения является:

- объект исследования ограничен и его границы описываются непрерывной функцией ;
- объект исследования и элементы внутри него имеют нерегулярную форму;
- объект исследования на изображении и элементы внутри него имеют случайное расположение $Coor$.

Частным упрощенным случаем такого изображения может считаться сканированное изображение серного отпечатка непрерывно-литой заготовки квадратного сечения, на котором нарушения сплошности соответствуют образованию и развитию внутренних дефектов [17, 18]. В этом случае объект исследования имеет форму квадрата, для которого должно быть идентифицировано положение одной из вершин $Coor$ и угол наклона одной из сторон относительно границ всего изображения (рис. 1, б). Граница объекта исследования описывается уравнением прямых от заданной вершины и на изображении может быть выделена в интерактивном режиме.

Учитывая, что отношение средней яркости фона и основного объекта исследования является различным для набора изображений, необходимо ввести характеристику или набор характеристик, на основе которых

можно классифицировать отличия фона и объекта исследования. В работе [18] построен алгоритм каскадной классификации изображений, который позволяет решать эту задачу с использованием формообразующих характеристик гистограммы яркости. В ходе дальнейших исследований считаем, что задача классификации уже решена и выбрана траектория для выделения объекта исследования и его сегментации.

Размер файла для сохранения изображения с сохранением полной информативности достигает 5–7 МБ.

При проектировании базы данных для Хранилища рассматриваются способы размещения изображения традиционными способами (траектория 1 и 2), приведенными на рис. 2 по соответствующим траекториям, и предлагается новый способ (траектория 3).

На рис. 2 введены обозначения: ТП – технологический процесс; ХД – Хранилище данных; I_0 – исходное изображение; I_1 – изображение после сжатия; I_2 – изображение после предварительной обработки; Ar_{Pr} – массив конечных оценок элементов сложноструктурированного изображения; Sr_{MD} – структурная единица информации, построенная на математическом описании сложноструктурированного изображения.

Траектория 1 описывает процесс размещения изображения в Хранилище после его сжатия с использованием стандартных алгоритмов [13–16].

Траектория 2 предполагает выполнение двух этапов:

- этап предварительной обработки изображения, включающий алгоритмы классической теории обработки изображения [11], целью которого является улучшение исходного изображения для последующей сегментации;

- этап извлечения конечных свойств, в результате которого формируется массив оценок для внутренних элементов объекта исследований (например, балльная экспертная оценка развития внутренних дефектов продукции или геометрических размеров объекта, характеризующих разрушение оборудования).

Новая траектория 3 предполагает выполнение двух этапов:

- этап предварительной обработки изображения аналогичен этапу в траектории 2;
- этап построения математического описания изображения по заранее определенной структуре для ключевых объектов изображения.

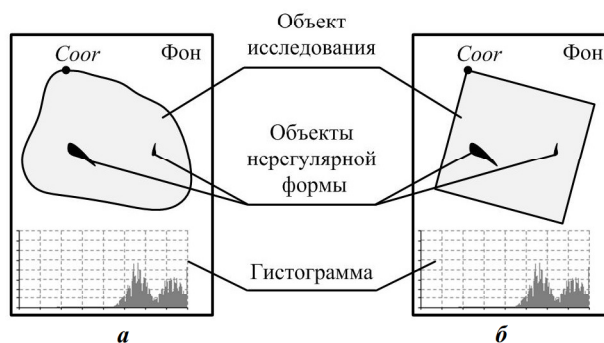


Рис. 1. Структура изображения:
а – сложноструктурированное изображение в общем виде;
б – частный случай сложноструктурированного изображения на примере серного отпечатка



Рис. 2. Траектории размещения графической информации в Хранилище данных

Для выполнения этапа 1 по траекториям 2 и 3 используется классификация изображений согласно исследованиям [18] и строится индивидуальная траектория применения классических алгоритмов для предварительной обработки.

Понятие ключевого объекта для каждого вида изображения определяется для каждой задачи.

Указанные траектории характеризуются свойствами, указанными в табл. 2.

По результатам обобщения свойств, характеризующих траектории размещения графической информации в Хранилище данных, можно выдвинуть гипотезу о превосходстве способа представления изображения в виде математического описания.

Для реализации нового способа разработан метод построения математического описания сложноструктурированного изображения для эффективной организации специализированного информационного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами.

Для описания метода рассмотрим сложноструктурированное изображение и введем систему координат на его поверхности (рис. 3).

Согласно [18] каждому изображению можно поставить в соответствие класс по соотношению яркости фона и объекта исследования. Обозначим значение класса

$$K_m, m = 1..M,$$

где m – номер класса; M – количество классов изображений рассматриваемой задачи.

Таблица 2

Перечень и оценка свойств траекторий размещения графической информации в Хранилище данных

№ п/п	Свойства траектории	Номер траектории		
		1	2	3
1	Достижение наименьшего размера файла с изображением	+	+	-
2	Сохранение информации о свойствах элементов на изображении	-	+	+
3	Сохранение информации о структуре изображения	+	-	+
4	Возможность восстановления исходного изображения	-	-	+
5	Отсутствие необходимости сохранения файла с изображением	-	-	+

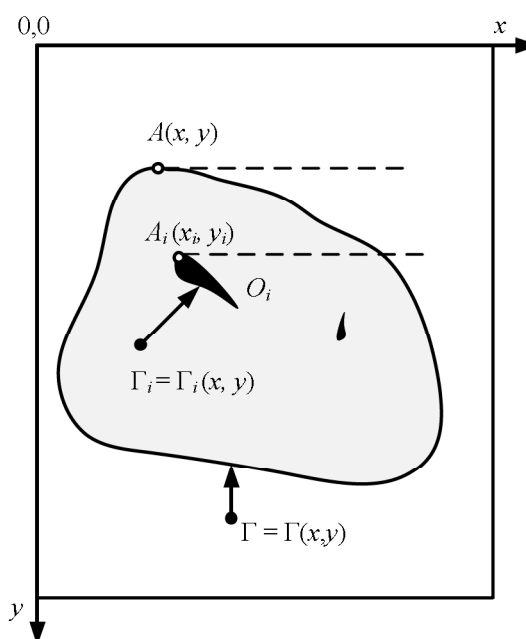


Рис. 3. Схема структурированного изображения

Характеристикой яркости изображения является гистограмма, содержащая 256 цветовых градаций. Для математического описания гистограммы изображения достаточно структуры в виде линейного массива

$$\vec{G} = (g_0, g_1, \dots, g_{255}),$$

где \vec{G} – массив яркостей пикселей; $(g_0, g_1, \dots, g_{255})$ – элементы массива, содержащие количество пикселей, имеющих яркость, соответствующую индексу массива.

На поле изображения выделяется объект исследования, для математического описания которого необходимо представление координат начальной точки границы $A=A(x,y)$ и границы объекта в виде аналитической или табличной функции $\Gamma=\Gamma(x,y)$. Наличие границы исследуемого объекта позволяет сегментировать область для дстализации элемснтов, определяющих нарушение сплошности.

Указанные выше характеристики изображения формируют первую часть структуры математического описания изображения и включают поля: класс яркости, гистограмма яркости изображения, начальная точка объекта исследования и описание границы объекта исследования.

Сегментация изображения для объекта исследования выделяет внутри его границы массив элементов для описания нарушения сплошности $\vec{E}=\vec{E}(E_1, E_2, \dots, E_n)$

и каждый элемент является структурой, в которой сохраняются координаты начальной точки входа в область элемента и аналитическая или табличная функция границы каждого элемента $A_q = A_q(x_q, y_q)$, $q=1 \dots n$, где n – количество элементов объекта исследования. Таким образом, формируется вторая часть структуры для математического описания изображения – характеристики объекта исследования.

Учитывая, что в ходе технологического процесса формируется набор изображения для каждой единицы продукции или выборочно по продукции ответственного назначения, формируется структурная единица информации, которая содержит структурированное поле математического описания изображения:

$$\overline{SR}_{MDj} = \overline{SR}_{MDj} \left(FI_j \{ K_{jm}, G_j, A_j, \Gamma_j \}, OI_j \{ \{ A_{jq}, \Gamma_{jq} \} \} \right),$$

где j – идентификационный номер записи в Хранилище данных; FI – структурная единица информации для описания изображения в целом; OI – структурная единица информации для описания множества элементов внутри границы объекта исследования; q – номер элемента в поле объекта исследования, $q=1 \dots n$; n – количество элементов нарушения сплошности объекта.

Графическое представление структурной единицы информации для поля математического описания изображения в Хранилище данных приведена на рис. 4.

Наличие структуры для математического описания изображения требует разработки алгоритмического окружения структуры, позволяющего по требованиям государственных или отраслевых стандартов в автоматизированном режиме выполнить экспертную оценку элементов на изображении и при необходимости восстановить аналог исходного изображения. На рис. 5 приведена схема функционирования программного продукта для формирования математического описания сложноструктурированного изображения и его использования для экспертной оценки нарушения сплошности объекта исследования. На рис. 5 условие

оценки определяет необходимость восстановления изображения для сопоставления экспертных оценок, полученных в автоматизированном режиме и при непосредственной визуальной оценке эксперта.

На основе функциональной схемы, приведенной на рис. 5, реализован программный продукт, который позволил провести тестовое испытание по оценке эффективности сохранения в корпоративном Хранилище только математического описания изображения (рис. 6, 7).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одной из задач, которая решена с использованием теории сегментации сложноструктурированного изображения, является задача о сохранении рабочего пространства, занимаемого изображением, в корпоративном Хранилище с информацией о качестве непрерывно-литой заготовки при построении системы управления технологическим процессом непрерывной разливки стали с обратной связью [19-21].

В качестве исходных данных выбраны серные отпечатки поперечного сечения непрерывно-литой заготовки (рис. 6). Приведенные на рис. 6 изображения относятся к разным классам. Общий объем тестируемой базы составил 110 изображений за период с 2011 по 2018 гг. На каждом изображении представлен объект исследования в виде фигуры, близкой по форме к квадрату.

Программный продукт позволяет загрузить изображение I_0 , выполнить его преобразование и получить изображение I_2 . Для изображения I_2 строится перечень сегментированных элементов и математическое описание изображения для сохранения в Хранилище.

Для каждого из приведенных изображений выполнен расчет дисперсии с восстановленным изображением и коэффициента сжатия стандартными методами. Результаты вычислительного эксперимента с усредненными характеристиками приведены в табл. 3.

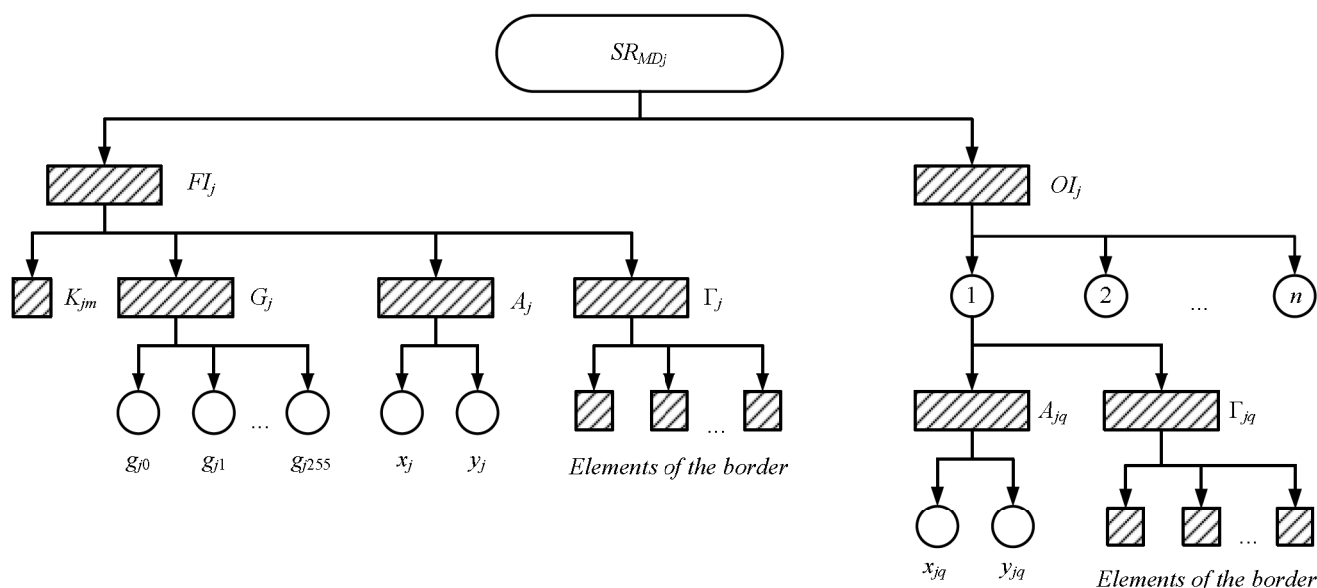


Рис. 4. Графическое представление структурной единицы информации для математического описания сложноструктурированного изображения

Таблица 3

Доля итогового от изображения после сжатия по форматам изображения и оценка рассеяния, %

Степень сжатия	Стандартные способы сжатия				Метод хранения ключевых показателей	
	Формат JPEG	Дисперсия	Формат PNG	Дисперсия	Формат SISImg	Дисперсия
Мин. сжатие	24,67	14,6	51,24	94,0	0,53	0,12
Сред. сжатие	8,24	3,05	43,83	64,5		
Макс. сжатие	2,98	0,37	43,31	64,8		

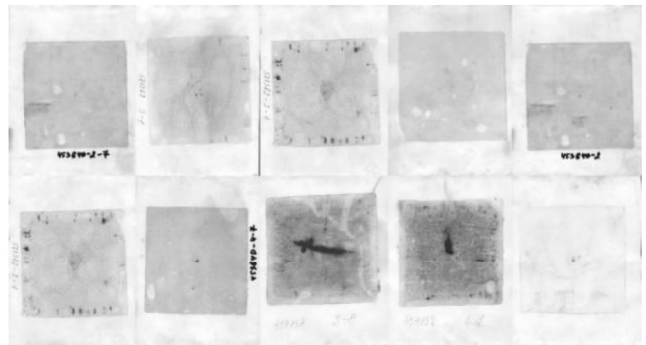


Рис. 7. Набор изображений для тестовой оценки работы программного обеспечения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ теоретических и практических разработок использования, сжатия и хранения изображений показал, что использование изображений позволяет повысить качество полноты и достоверности информации при принятии решений на основе экспертной оценки объекта исследования.

2. Объект исследования может относиться к множеству отраслей, включая оценку качества металлургической продукции, планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, оценку сплошности объекта при медицинском обследовании, оценку территориальной плоскостности и т.п.

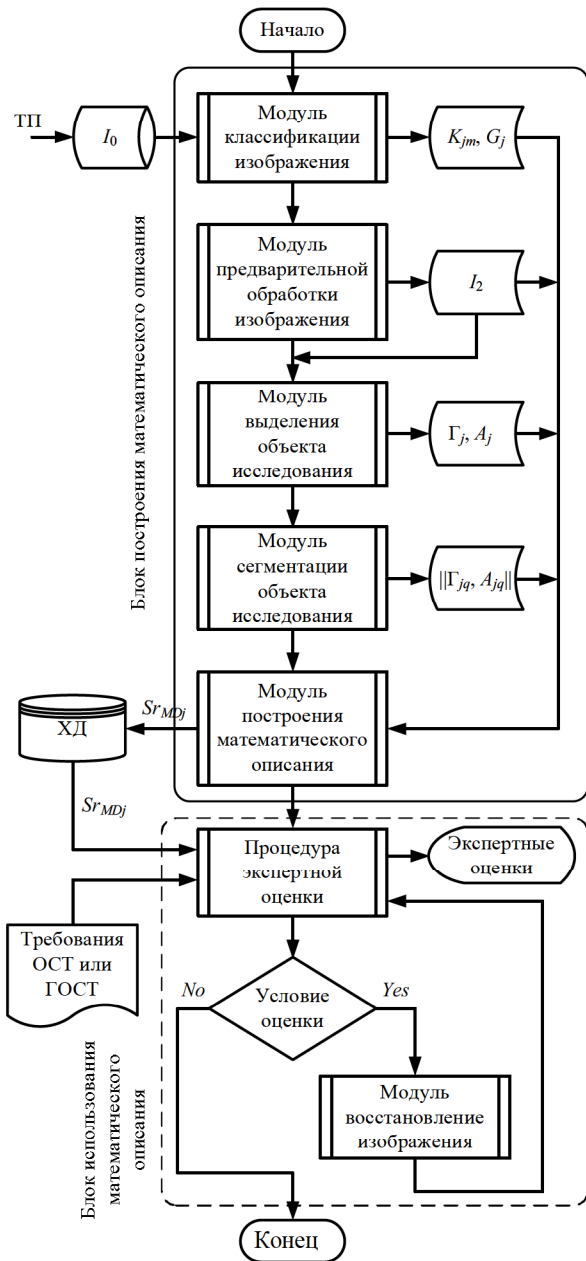


Рис. 5. Схема функционирования программного продукта для формирования и его использования для экспертной оценки нарушения сплошности объекта исследования на изображении

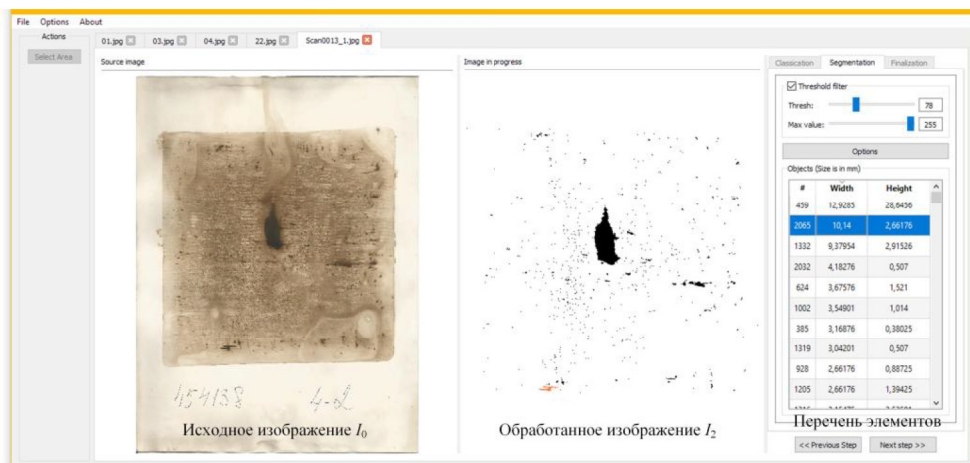


Рис. 6. Внешний вид рабочего окна программного продукта

3. Предложен метод сохранения ключевых показателей сложноструктурированного изображения, отличающийся от ранее известных тем, что в Хранилище размещается математическое описание структуры изображения, включающее информацию о структуре основного объекта исследования и структуре об элементах объекта, находящихся внутри него.

4. Структура изображения характеризует: класс по яркости, гистограмму яркости, начальную точку объекта исследования и каждого его элемента, описание границы объекта исследования и границ элементов внутри объекта. Указанных элементов структуры достаточно для экспертной оценки согласно соответствующим ОСТ и ГОСТ.

5. Согласно функциональной схеме реализован программный продукт, который позволил доказать эффективность сохранения в корпоративном Хранилище только математического описания изображения на примере оценки качества непрерывно-литой заготовки. Доля занимаемого рабочего пространства от итогового размера изображения составляет 0,53% без потери информативности исходного изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Logunova O.S., Devyatov D.K., Nurov K.K. Computerized quality estimates of continuous-cast billet // *Steel in Translation*. 2005. Т. 35. № 9. С. 36-42.
- Мобильное приложение технического обслуживания и ремонта оборудования промышленного предприятия: опыт разработки и внедрения / П.А. Бовшик, Е.В. Берляков, И.Н. Ахметшин, С.М. Логунов // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2017. Т. 5. № 1. С. 30-36.
- Tow D. *SQL Tuning: Generating Optimal Execution Plans*. O'Reilly Media, Inc. 2003. 338 с.
- Куте Т. Эффективное проектирование приложений Oracle. М.: Лори, 2018. 638 с.
- Льюис Д. Oracle. Основы стоимостной оптимизации. *Cost-Based Oracle Fundamentals*. СПб.: Питер, 2007. 528 с.
- Codd E.F. Normalized data base structure: a brief tutorial / Proc. ACM SIGFIDET. 1971, Workshop, San Diego, Calif., Nov. 1971. pp. 1-18
- Исаев Ю. Ю. Методы эффективной организации и ведения информационного и программного обеспечения АСУП с распределенной структурой: дис... канд. техн. наук. 05.13.06 / Исаев Юрий Юрьевич. Москва, 2009.
- Смолин Павел Александрович. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСПП с распределенной структурой: дис...канд. техн. наук. 05.13.06 / Смолин Павел Александрович. Москва, 2011.
- Синешук М.Ю. Особенности обеспечения информационной безопасности АСУ ТП потенциально опасных объектов // *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 49-51.
- Корнеева М.Д., Труцина Ю.Ю. Информационная безопасность автоматизированных систем управления технологическими процессами // *Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки*. 2016. № 3. С. 211-214.
- Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений* М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
- Foody G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Support Vector Machines // *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2004. Vol. 42, iss. 6. P. 1335-1343.
- Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сокращение содержательной избыточности изображений на основе классификации объектов и фона // *Проблемы управления и информатики*. 2007. № 3. С. 93-102.
- Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Голощапова В.А. Метод сжатия изображений, основанный на разложении квазициклических компонент изображения по собственным векторам соответствующих субполосных матриц // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология*. 2011. №13-1 (108). С. 191-195.
- Гора С.Ю., Довгаль В.М. Метод и инструментальные средства решения задачи сжатия изображений с использованием механизмов хаотической динамики // *Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета*. 2012. №4-2 (24). С. 25-28.
- Кахоу Самира Эбрахими, Сулема Е.С. Адаптивный способ сжатия изображений // *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2010. №2. С. 125-131.
- Посохов И.А. Визуализация и обработка информации о качестве непрерывнолитой заготовки // *Электротехнические системы и комплексы*. 2016. №2 (31). С. 35-43.
- Логунова О.С., Шакшин В.В., Логунов С.М. Математическое описание объектов нерегулярной формы на цветных изображениях // *Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии*. Магнитогорск, 2009. С. 54-62.
- Logunova O.S., Matsko I.I., Posohov I.A., Luk'ynov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Т. 74. №9-12. С. 1407-1418.
- Кирпичев А.А. Математическое моделирование макроскопических параметров затвердевания непрерывных слитков / О.С. Логунова, Д.Х. Девятков, И.М. Ячиков // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1997. №2. С. 49-51.
- Логунова О.С., Мацко И.И., Сафонов Д.С. Моделирование теплового состояния бесконечно протяженного тела с учетом динамически изменяющихся граничных условий третьего рода // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование*. 2012. № 27. С. 74-85.

Поступила в редакцию 06 августа 2018 г.

INFORMATION IN ENGLISH

METHOD OF EFFECTIVE ORGANIZATION OF SPECIALIZED INFORMATION SUPPORT FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Oksana S. Logunova

D.Sc. (Engineering), Professor, Department of Computer Engineering and Programming, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: logunova66@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>.

Ivan I. Bagaev

Postgraduate Student, Department of Computer Engineering and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: InPROfess@ya.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5228-4517>.

Nikita S. Sidorenko

Postgraduate Student, Department of Computer Engineering and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: Sidorenko@ausferr.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0585-0835>.

Sergey M. Logunov

Engineer of the first category, Scientific and Technical Center, United Service Company, Magnitogorsk, Russia.

Lyudmila G. Egorova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Computer Engineering and Software Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

The aim of the research is to develop a method for efficient organization of specialized information support for the automated process control system, which makes it possible to save only information about key elements of a complex structured image. When performing the research, the concept of a complex structured image is introduced, which includes the object of research and many elements that violate its continuity. To describe the image, a structural unit of information is introduced, which includes the following for the research object: belonging to the class, brightness histogram, starting point and description of the object boundary; for elements within the object of investigation: the starting point of the region of each element and the description of the element boundary. To implement the structural information unit, a functional diagram of the software product has been developed, which contains two blocks: a block for forming a mathematical description of the image for storage in the corporate Vault; a block of using the mathematical description for peer review with the requirement of restoring the original image. The developed method has been tested for images of sulfuric imprints of continuous-cast billets for the conditions of a large metallurgical enterprise in Russia. The initial materials were obtained during a passive experiment on a continuous casting machine of a curvilinear type. To study the behavior of the computational experiment, a software product has been designed and developed that provides the construction of a mathematical description of the image and its reconstruction. Using the array of retrospective information in 2011-2018 and the developed software product, an assessment of the efficiency of presentation of graphic information in the form of a structural unit of information without direct preservation of the image was performed. The average share of the stored information from the initial volume is 0.53%. The results of the research are applicable for automated control systems for technological processes and industries where expert evaluation of objects by images is necessary, for example, product quality, integrity of equipment, continuity of objects in the medical and consumer goods industry.

Keywords: image, image structure, structural unit of information, mathematical description, data warehouse.

REFERENCES

- Logunova O.S., Devyatov D.K., Nurov K.K. Computerized quality estimates of continuous-cast billet. *Steel in Translation*. 2005, no 9, pp. 36-42. (In Russian)
- Bovshik P.A., Berljakov E.V., Ahmetshin I.N., Logunov S.M. Mobile application of maintenance and repair of industrial equipment: experience in development and implementation. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i socialnoj sferah* [Mathematical and software systems in the industrial and social spheres]. 2017, no 1, pp. 30-36. (In Russian)
- Tow D. *SQL Tuning: Generating Optimal Execution Plans*. O'Reilly Media, Inc. 2003. 338 p.
- Kajt T. *Effektivnoe proektirovanie prilozhenij Oracle* [Effective Oracle by design]. Moscow, Lori Publ., 2018. 638 p. (In Russian)
- L'juis D. Oracle. *Osnovy stoimostnoj optimizacii. Cost-Based Oracle Fundamentals* [Cost-Based Oracle Fundamentals]. St. Petersburg, Piter Publ., 2007, 528 p. (In Russian)
- Codd E.F. Normalized data base structure: a brief tutorial. Proc. ACM SIGFIDET. 1971, Workshop, San Diego, Calif., 1971, pp. 1-18.
- Isaev Jurij Jurievich. *Metody jeffektivnoj organizacii i vedenija informacionnogo i programmnoego obespechenija ASUP s raspredelennoj strukturoj*. Kand Diss. [Methods of efficient organization and maintenance of information and software of automated control systems with a distributed structure. Ph.D. Diss.]. Moscow, 2009.
- Smolin, Pavel Aleksandrovich. *Metody jeffektivnoj organizacii i vedenija specializirovannogo informacionnogo i programmnoego obespechenija ASTPP s raspredelennoj strukturoj*. Kand. Diss. [Methods of effective organization and maintenance of specialized information and software. Ph.D. Diss.]. Moscow, 2011.
- Sineshchuk M.Ju. Features of information security of automated process control system of potentially dangerous objects. *Sovremennye tehnologii obespechenija grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij* [Modern technologies for ensuring civil defense and liquidation of consequences of emergency situations], 2015, no 1(6), pp. 49-51. (In Russian)
- Korneeva M.D., Trucina Ju.Ju. Information security of automated process control systems. *Obrazovanie i nauka bez granits: socialno-gumanitarnye nauki* [Education and Science Without Borders: Social and Human Sciences], 2016, no. 3, pp. 211-214. (In Russian)
- Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaja obrabotka izobrazhenij* [Digital image processing]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2005. 1072 p. (In Russian)
- Foody G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Support Vector Machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2004, vol.42, iss.6, pp.1335-1343.
- Ivanov V.G., Ljubarskij M.G., Lomonosov Ju.V. Reducing the content redundancy of images based on the classification of objects and background. *Problemy upravlenija i informatiki* [Problems of management and informatics], 2007, no. 3, pp. 93-102. (In Russian)
- Zhiljakov E.G., Chernomorec A.A., Goloshchapova V.A. Image compression method based on the decomposition of quasi-cyclic image components into eigenvectors of the corresponding subband matrices. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija* [Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: History. Political science]. 2011, no. 13-1(108), pp. 191-195. (In Russian)
- Gora S. Ju., Dovgal V. M. Method and tools for solving the image compression problem using the mechanisms of chaot-

- ic dynamics. *Uchenye zapiski. Elektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scholarly notes. Electronic scientific journal of the Kursk State University.], 2012, no. 4-2 (24), pp. 25-28. (In Russian)
16. Samira Jebra-himi Kahou, Sulema E.S. Adaptive image compression method. *Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Serija: «Tehnichni nauki»* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: "Engineering"], 2010, no. 2, pp. 125-131. (In Russian)
 17. Posokhov I.A. Visualization and processing of information about the quality of continuous casting. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2016, no 2 (31), pp. 35-43. (In Russian)
 18. Logunova O.S., Shakshin V.V., Logunov S.M. Mathematical description of objects of irregular shape on color images. *Avtomatizacija tehnologicheskikh i proizvodstvennyh processov v metallurgii* [Automation of technological and production processes in metallurgy], 2009, pp. 54-62. (In Russian)
 19. Logunova O.S., Matsko I.I., Posokhov I.A., Lukyanov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014, vol. 74, no. 9-12, pp. 1407-1418.
 20. Logunova O.S., Devjatov D.H., Jachikov I.M., Kirpichev A.A. Mathematical modeling of macroscopic parameters of solidification of continuous ingots. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija* [News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy], 1997, no. 2. pp. 49-51. (In Russian)
 21. Logunova O.S., Matsko I.I., Safonov D.S. Simulation of the thermal state of an infinitely extended body with allowance for dynamically changing boundary conditions of the third kind. *Vestnik Juzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovanie* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical modeling and programming], 2012, no. 27. pp. 74-85. (In Russian)

Логунова О.С., Багаев И.И., Сидоренко Н.С., Логунов С.М., Егорова Л.Г. Метод эффективной организации специализированного информационного обеспечения для системы автоматизированного управления технологическими процессами // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. № 4(41). С. 73-81. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4\(41\)-73-81](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4(41)-73-81)

Logunova O.S., Bagaev I.I., Sidorenko N.S., Logunov S.M., Egorova L.G. Method of Effective Organization of Specialized Information Support for Automated Control System of Technological Processes. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 4(41), pp. 73-81. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4\(41\)-73-81](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4(41)-73-81)
