

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ: ТЕОРИЯ И ОПЫТ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

С. В. Абламейко, В. В. Краснопрошин, В. А. Образцов

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

E-mail: (ablameyko, krasnoproshin, obratzov)@bsu.by

В работе обобщается опыт теоретических и прикладных исследований, проводимых на кафедре информационных систем управления при выполнении различного рода государственных научно-практических (в том числе и международных) проектов.

Ключевые слова: образ, анализ изображений, практические задачи.

Надо сказать, что это не первая подобная публикация авторов. Сошлемся на статью [1], в которой мы попытались изложить методологические и теоретические результаты в области распознавания образов. В настоящей публикации принят несколько иной стиль. Во-первых, мы пытаемся акценты более равномерно расставить между двумя компонентами: теорией и практикой. А, во-вторых, стараемся избегать методологических аспектов и оценочных суждений. Надеемся, что полученный вариант послужит в дальнейшем для подготовки более «фундаментальной» публикации.

Несколько слов хочется сказать в качестве исторической ретроспективы. Дело в том, что два автора данной публикации (В. В. Краснопрошин, В. А. Образцов) всегда имели непосредственное отношение к кафедре. Вначале это была кафедра автоматизированных систем управления, а с 2008 года – информационных систем управления. Третий автор (С. В. Абламейко) долгие годы основное отношение имел к академической системе, работая до 2008 года в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси. При этом он с 1988 года начал по совместительству работать на кафедре, что продолжается и по сей день. С 2008 года, после перехода в Белгосунiversитет в качестве ректора, основным местом и для него стала кафедра. Кроме того, надо заметить, что все три автора считают, что они принадлежат к известной школе академика АН России Ю. И. Журавлева. В итоге мы сочли возможным объединить в данной публикации основные результаты перечисленных авторов и отнести их все к кафедре информационных систем управления.

1. В области теории

В [1] нами была предложена схема, с помощью которой можно точно определить роль и соотношение теории и практики, а также указать основные проблемы, возникающие в этих областях. Воспользуемся той же схемой (см. рис. 1), чтобы при описании результатов не вводить слишком много понятий. Практическая задача всегда связана с содержательным уровнем данной схемы и представляет собой отношение: $Z \subseteq I^{ax} \times I^{bly}$. Для задачи распознавания образов с обучением необходимо еще зафиксировать содержание и способ представления I^{ax} и I^{bly} . Относительно первого элемента будем предполагать, что I^{ax} представляет собой информацию о некотором множестве объектов, разбитую на классы (их число конечно). Способ представления информации для I^{ax} – прецедентный, а для Z известна лишь часть информации (обучающая и контрольная выборки). Что касается второго элемента (I^{bly}), то здесь речь идет только о метках (или индексах) классов.

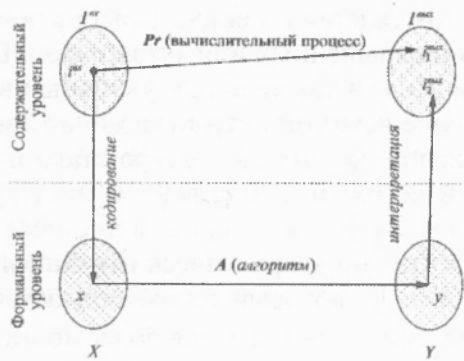


Рис. 1. Процесс решения задачи

В практической задаче Z требуется получить решение на формальном уровне в виде некоторого алгоритма A с тем, чтобы построить модель вычислительного процесса Pr , но требования к результату не строгие. В такой задаче соотношение между $i_1^{вых}$ и $i_2^{вых}$ на всем множестве I^{ex} устанавливать не требуется. Иными словами, обоснованность решения в процессе исследования и решения задачи Z даже не предполагается.

Иначе обстоит дело в теории распознавания образов. Чтобы перейти в эту плоскость, необходимо, как правило, осуществить типизацию I^{ex} и I^{ey} . Второй элемент здесь остается неизменным в силу своей универсальности. А вот первый отделяется от конкретной предметной области. Кодирование при этом теряет смысл и, поэтому, задача рассматривается уже как отношение $Z \subseteq X \times Y$. Алгоритмизацию для такой задачи осуществить не так уж и сложно. Значительно более сложным является сравнительный анализ алгоритмов или моделей алгоритмов \mathfrak{C} , который служит основанием для установления фундаментального свойства математических формализмов – обоснованности решения. И вот здесь на первый план выходит установление соотношения между $i_1^{вых}$ и $i_2^{вых}$. В рамках эвристических алгоритмов установить такое соотношение даже в некотором локальном смысле, как правило, не удастся. И, поэтому, Ю. И. Журавлевым был предложен [2] подход к построению моделей алгоритмов \mathfrak{C} для решения задачи Z , смысл которого заключается в установлении существования в рамках \mathfrak{C} корректных (т. е. точных на заданной контрольной выборке) алгоритмов. Т.к. теория распознавания имеет явную практическую направленность, то помимо существования дополнительно требуется еще возможность построения корректных алгоритмов в явном виде.

В рамках этого подхода вначале исследования проводились для случая задачи Z , когда пространство $Y = \mathbb{B}_2^l$ (здесь $\mathbb{B}_2 = \{0,1\}$, l – число классов). Это направление связано в основном с логической корректировкой, т. е. поиском подходящих функций вида $g: \mathbb{B}_2^l \rightarrow \mathbb{B}_2^l$. К этому направлению можно отнести целый ряд результатов, которые получены В. В. Краснопрошиным. Для построения g им использовались операции трехзначной логики [3], т. к. допускались отказы от распознавания. Соотношение между $i_1^{вых}$ и $i_2^{вых}$ на контрольной (или тестовой – в оригинале) выборке определялось с помощью «штрафов» и минимизировалось их число. В этом случае проблема сводится к задаче минимизации функции трехзначной логики. Как известно, эта задача для всех конечных логик эквивалентна задаче о покрытиях. В свою

очередь, последняя задача сводится к построению дизъюнктивных нормальных форм и их различных подмножеств (сокращенных или тупиковых). В результате проведенных исследований им был предложен также конструктивный вариант построения алгоритма, доставляющего решение искомой оптимизационной задачи.

В рамках данного направления достаточно быстро стало понятно, что логические корректоры не обладают всеми необходимыми свойствами, гарантирующими существование корректных алгоритмов. И поэтому дальнейшие исследования сосредоточились на алгебрах над некорректными (эвристическим) алгоритмами. Смысл алгебр очень простой. Алгоритм $A: X \rightarrow Y$, который плохо поддается корректировке функциями g , заменяется на новый. Для этого вводится более «богатое» по сравнению с Y пространство Y' (как правило $Y' = \mathbb{R}^l$), но с одним ограничением: должно существовать отображение $c: Y' \rightarrow Y$ (называемое обычно решающим правилом), которое является непротиворечивым и допускает существование корректных алгоритмов. Отображение $B: X \rightarrow Y'$, которое является частью исходного алгоритма A , называется обычно распознающим оператором. А далее в пространстве Y' вводятся уже операторные корректоры $f: Y' \rightarrow Y'$, подходящая суперпозиция которых с наборами распознающих операторов и образует искомые алгебры. В [2] было показано, что построение корректных алгоритмов может быть осуществлено в рамках линейной алгебры для большинства известных эвристических моделей. Правда, к таким моделям предъявлялись достаточно серьезные требования – существование операторов B , которые в наборе на контрольной выборке размерности q образуют базис пространства $(Y')^q$.

В этом направлении на кафедре также получен целый ряд интересных результатов. Вначале это было сделано С. И. Кашкевичем [4]. Он предложил линейную алгебру дополнить константными элементами, что позволило существенно снизить требования к эвристическим моделям распознающих операторов. Вместо базиса в такой алгебре^{*)} оказалось достаточно построения элементов, число которых не превосходит числа объектов в контрольной выборке. Кроме того, им также впервые для алгебраической теории был предложен вариант определения устойчивых распознающих операторов, близкий по смыслу к непрерывности функций.

Несколько интересных результатов были получены В. А. Образцовым [5–7]. В частности, был доказан критерий существования корректных алгоритмов, на основе которого удалось упорядочить результаты, полученные в линейной и полиномиальной алгебре распознающих операторов. Предложен вариант тензорной алгебры распознающих операторов, на основе которой построен билинейный^{**)} операторный корректор и получены условия, при которых в такой алгебре возможно существование корректного алгоритма и построен его явный вид. Было показано, что задача распознавания допускает декомпозицию – корректные алгоритмы можно строить на основе структурируемости информации (обучающей и контрольной выборок) при нестрогих ограничениях на модели эвристик.

Хочется сказать о той роли, которую сыграл алгебраический подход. Приблизительно два десятилетия до этого приемлемым считался путь развития теории распознавания, при котором: сначала выдвигалось некоторое эвристическое предположение о структуре множества объектов, расположении классов; затем на его базе строилась модель алгоритмов распознавания и достаточным условием ее применимости

^{*)} Надо отметить, что введенная в [4] алгебра обладала одним недостатком – она являлась некоммутативной, что существенно ограничивало ее применимость.

^{**)} Билинейным он назван, т.к. является линейным по каждой из двух переменных – классам слева и объектам контрольной выборки справа.

(во многом и правильности) полагалась возможность построения оптимальных на контрольной выборке алгоритмов. Алгебраический подход при тех же предположениях на эвристику дал возможность конструктивного построения не просто оптимальных, но и точных на любой заданной выборке (корректных, если речь идет о контрольной выборке) алгоритмов. Сама же алгебраическая теория позволила показать, что во всех случаях мы имеем дело лишь с необходимыми условиями правильности алгоритмов. В общем, это вполне естественно, если учитывать индуктивную природу задачи распознавания [1].

В связи вышеописанным возникает вопрос: если корректность является только необходимым условием, что же дальше, в каком направлении может развиваться теория распознавания образов? В распознавании образов существует направление, которого алгебраические исследования не коснулись. Это статистический подход, который по построению имеет индуктивный характер, а развиваемые в нем вероятностные модели без труда адаптируются для решения задач распознавания. Как и все вероятностные модели, они являются самодостаточными с позиции выразительной силы языка для построения высказывания об обоснованности результатов. Поэтому сформулированные выше вопросы относятся в большей степени к детерминистской ветви теории распознавания.

О направлении развития теории в настоящее время судить сложно. Некоторый вариант ответа на сформулированный вопрос мы попытались выстроить в [7–9]. Предположим, что для решения некоторой задачи Z удалось построить алгоритм A_0 , который ее решает и возможно делает это наилучшим образом (правильно, за меньшее число шагов и т. п.). Если для решения той же задачи построен новый алгоритм A_1 и показано, что в области X , где определен A_0 , алгоритм A_1 дает аналогичные результаты, то правомерность использования последнего не вызывает сомнений. Этот прием часто используется в вычислительной математике и математическом моделировании в целом.

Рассмотрим другой случай. Предположим, что имеется два алгоритма $A_0 : X_0 \rightarrow Y$ и $A_1 : X_1 \rightarrow Y$, которые решают разные задачи, но между областями X_0 и X_1 можно установить взаимно-однозначное соответствие $f : X_0 \rightarrow X_1$. Тогда вновь возникает возможность сравнения алгоритмов по аналогии с тем, как это было указано выше.

Своим происхождением, применительно к задачам распознавания, данный вариант во многом обязан медицинской диагностики. В этих задачах часто используются два способа представления исходной информации о диагнозах: в виде логических правил (чаще всего с помощью продукций), или в виде прецедентов (примерами объектов с указанием принадлежности к классам). Для решения задачи легко построить гибридный алгоритм, в котором на логической информации работает метод резолюций (A_0), а на прецедентной – алгоритм распознавания (A_1). В частном случае, когда прецедентная информация строится в булевом пространстве, попадаем в ситуацию сравнимости алгоритмов A_0 и A_1 , описанную выше. Так как сравнение осуществляться с классическим алгоритмом резолюций (A_0), правильность которого доказана по канонам математической строгости, то и алгоритм A_1 , который работает также как и A_0 , должен быть обоснован. Но в отличие от A_0 , алгоритм A_1 применяется для прецедентного представления информации.

В описанной схеме нами предложен и исследован целый класс алгоритмов A_1 , которые уместно называть алгоритмами индуктивной резолюции. Показано также,

что ограничение, связанное с булевым пространством признаков, является несущественным. Аналогичные результаты легко переносятся на случай любой дискретной системы признаков, и, с некоторыми ограничениями, на случай непрерывных признаков.

Ряд следующих теоретических результатов получен при решении задачи обработки и распознавании изображений. Получены они либо лично Абламейко С. В. либо под его непосредственным руководством [24–26].

Вначале несколько слов о сути теоретических исследований в области обработки изображений. Обратимся снова к схеме на рис. 1 и заметим, что суперпозицию кодировки (k) и алгоритма A также можно рассматривать как некую универсальную кодировку $k' = A \circ k$ (в том смысле, что для нее не требуется разработки алгоритма A). Справедлив следующий тезис: *если для некоторой задачи Z не существует универсальной кодировки k' , для которой Z окажется разрешимой, то для любых k и A задача будет неразрешимой*. Задачи обработки и распознавания изображений имеют дело со специальными объектами – изображениями. В силу сформулированного выше тезиса на первый план в этих задачах выходит кодировка k , а алгоритмы A_1, \dots, A_n могут быть и зафиксированы. Такой выбор кодировки уже можно рассматривать как процесс предобработки изображений. И именно этот процесс составляет суть теоретических исследований в области обработки изображений. При этом сам процесс может быть представлен в виде стандартной суперпозиции некоторых алгоритмов и исследование может быть сведено к изучению свойств элементов этой суперпозиции.

В рамках теоретических исследований предложен способ описания изображения с помощью векторов ахроматической и хроматической области, позволяющий качественно выделять объекты, характеризуемые как “бесцветные” с точки зрения восприятия. Способ использует квазиполутоновое преобразование, сохраняющее информацию о цвете объектов с ярко выраженной хроматической компонентой и повышающее контраст полутоновых областей.

Предложен подход пиксельного силового поля для решения задач обработки изображений. По сравнению с традиционными методами в рамках этого подхода предлагается простое и эффективное средство для выполнения операций обработки, как цветных, так и полутоновых изображений. В дальнейшем модель пиксельного силового поля (ПСП) использовалась для решения трудно формализуемых задач утоньшения и сегментации цветных изображений. Определены основные свойства ПСП, отличные от других скалярных и векторных полей, разработаны варианты их практического применения. Главным преимуществом ПСП является способность выделять скелетные пиксели на цветных, полутоновых и многоспектральных изображениях.

Разработаны устойчивый к шумам алгоритм выделения скелета на трехмерных изображениях и алгоритмы вычисления характеристик скелета, необходимые для определения топологических и геометрических особенностей объектов. Характеристика структур является важным фактором в задачах исследования материалов, мониторинга заболеваний, контроля качества. В связи с тем, что объекты на трехмерных изображениях отличаются большой вариабельностью форм и структур, выделение характеристик относится к сложным задачам обработки изображений.

2. В области приложений.

Ниже описаны три типа практических задач $Z \subset I^{63} \times I^{63}$, которые в разные годы и с различным успехом решались на кафедре. Это большой класс задач медицинской диагностики, задачи дистанционного зондирования и геомониторинга, а также задачи распознавания и обработки изображений.

2.1. Медицинская диагностика. Вообще говоря, это задача является классической для распознавания образов. На кафедре исследованиями в направлении автоматизации процессов медицинской диагностики и тактики лечения занимаются уже более 30 лет. Можно выделить три этапа этих исследований.

а) (1977 – 1987 гг). В этот период были решены две задачи: дифференциальной диагностики деструктивных поражений желудка [11], диагностика синдромов множественных врожденных пороков развития у детей [12]. Решение носило в основном исследовательский характер и осуществлялось стандартными методами. Врачам интересно было понять, возможна ли автоматизация в принципе, а сотрудникам кафедры – можно ли это сделать с помощью моделей и методов распознавания. Главным препятствием, которое не позволяло полученные решения перевести в плоскость законченных программных продуктов, было отсутствие подходящих технологий для существовавших в то время больших ЭВМ. В конце этого периода на кафедре был разработан программный продукт (пакет программ ПАРУС), но уже начиналась эпоха персональных компьютеров.

б) (1988 – 1994 гг). В указанный период были решены следующие задачи [13]: диагностика острой хирургической патологии брюшной полости, диагностика острого аппендицита у детей, диагностика и оптимизация лечения при нарушении сердечного ритма, диагностика и выбор лечения при челюстно-лицевых травмах, диагностика острых неврологических заболеваний. Задачи решались в рамках государственной программы совместно с группой высококвалифицированных специалистов института усовершенствования врачей. Чтобы решить все перечисленные задачи, потребовалось провести систематизацию методологий ввода и обработки информации, разработать гибридные алгоритмы [14], которые представляли собой синтез алгоритмов резолюции и распознавания. Необходимость такого синтеза была обусловлена разнородностью информации, а также требованием отделения информации от средств алгоритмической обработки. По результатам исследований была разработана программная технология и на ее базе для каждой из перечисленных задач построено программное решение. Проведенная систематизация и развитие соответствующих компьютерных технологий позволило не ограничиваться только решением задач диагностики, а перейти к задачам следующего уровня – разработки автоматизированных рабочих мест специалистов-медиков [15]. Но для решения этих задач, как в тот период, так, пожалуй, и сейчас, не созданы соответствующие законодательные предписания.

в) (1995 – 2010 гг). В указанный период были решены две задачи: диагностики и выбора тактики лечения заболеваний в области ортопедии [16, 17], информационной поддержки решений в области экстренных хирургических операций [18]. Принципиальное отличие этого этапа заключается в том, что здесь задачи решались уже самостоятельно, а не подгонялись по известную схему. Результатом этого явилась разработка оригинальных методов (метод индуктивной резолюции [8–10]), программной технологии, базирующейся на отделении данных и знаний от средств обработки, и средств, а также инструментов ввода, вывода, интерпретации и объяснения результатов.

Для решения первой задачи спроектирована и реализована прикладная система Орто-Эксперт, которая обеспечивает лечебно-диагностический процесс от обследования пациента до выбора тактики лечения различных патологий (спины, верхних и нижних конечностей). Пример обследования пациента с помощью системы показан на рис. 2.

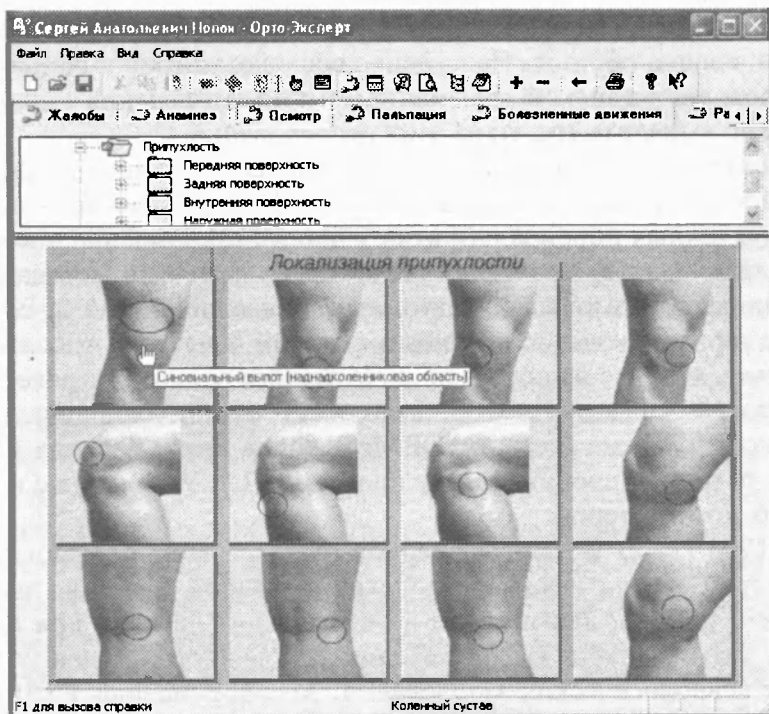


Рис. 2. Осмотр пораженного участка

Для второй задачи также разработана система, которая обеспечивает полную информационную поддержку при проведении хирургических операций. Основное назначение системы заключается в повышении надежности проведения наиболее массовых хирургических операций путем обеспечения практикующих врачей контекстно интересной и по возможности новейшей информацией. Пример, который иллюстрирует информационную поддержку процесса проведения операции острого аппендицита, приведен на рис. 3.

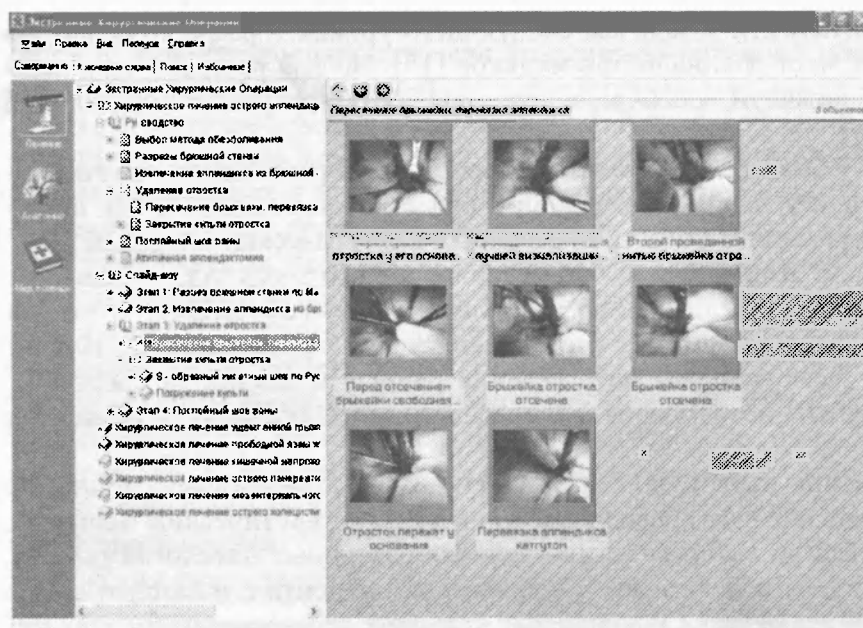


Рис. 3. Иллюстрация процесса проведения операции острого аппендицита

2.2. **Дистанционное зондирование и геомониторинг.** В рамках задачи дистанционного зондирования исследовались вопросы компьютерного анализа аэрокосмических данных на основе моделей распознавания образов и определялись условия для построения соответствующей программной технологии [19, 20]. Была разработана геоинформационная система, которая включала блоки: предобработки данных аэрокосмического спектрометрирования, распознавания подстилающих поверхностей Земли, оригинальный редактор электронных карт для построения тематических карт и др. Пример составления карты районирования степной и полустепной зон Русской равнины по данным трассового спектрометрирования приведен на рис. 4.

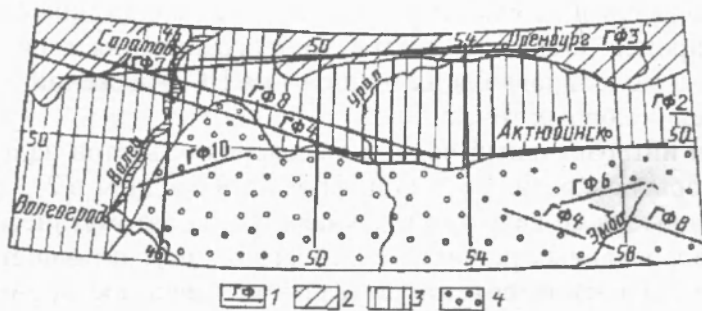


Рис. 4. Карта распределения пространственно-временной изменчивости в пределах степной и полустепной зон Русской равнины

Задача геомониторинга связана в основном с составлением т. н. тематических карт [21]. На рис. 5 приведен пример составления тематических карт антропогенной динамики почвенного покрова территории выделенного участка.



Рис. 5. Фрагмент аэрофотоснимка участка с показом границ почвенных контуров

2.3. **Распознавание и обработка изображений.** Разработана комплексная технология создания цифровых карт на основе результатов тематического дешифрирования космических снимков, карт и тематических баз данных. Технология базировалась на интеграции в единую оболочку двух основных программно-информационных комплексов, поддерживающих два сложных последовательных этапа: 1) тематического дешифрирования снимков с формированием тематических слоев, 2) формирования тематических карт.

Был разработан метод оперативного совмещения цифровых аэрокосмических снимков и карт по опорным точкам. Опыт использования существующих на тот момент методов совмещения цифровых снимков (ЦС) и цифровых карт (ЦК) по опорным точкам показал, что их возможности в части повышения оперативности совмещения, его точности и эффективности ограничены. Это касалось возможности ускорения процесса выбора функциональных соотношений (ФС) и необходимого количества опорных точек для обеспечения требуемой точности совмещения ЦС и ЦК. Поскольку анализ и количественная оценка искажений, имеющих на ЦС, этими методами не производился, то процесс выбора ФС и опорных точек реализовывался методом «проб и ошибок». В результате возникали непроизводительные затраты времени, снижалась оперативность и точность совмещения. Предложенный метод позволил автоматизировать процесс и снять существующие ограничения за счет анализа, количественной оценки и моделирования имеющих на ЦС искажений, и созданной расчетным путем модели опорных точек

Был предложен интерактивный подход выделения объектов на аэрокосмических изображениях, который сократил время оцифровки (в среднем в 2–3 раза по отношению к ручной) и повысил ее качество в случаях, когда автоматическая сегментация не давала удовлетворительных результатов. Высокая интерактивность позволила изменять результаты выделения объекта в реальном масштабе времени с помощью движения курсора мыши. Подход позволял эффективно выделяться как площадные, так и линейные объекты.

Выводы

Изложенные ниже выводы не столь бесспорны и непосредственно из описанных выше результатов непосредственно не следуют. Тем не менее, мы сочли возможным их сформулировать, т. к. они являются следствием опыта авторов по решению разнообразных практических задач в области распознавания и имеют в большей степени методологическое значение.

Итак, первый вывод: *при нынешнем положении дел в теории распознавания образов разработка еще одной модели алгоритмов почти никак не отразится ни на теории, ни на практике.* Иначе говоря, настало время качественного осмысления задач распознавания на основе того опыта и чисто технических результатов, которые накоплены за последние десятилетия. Убедиться в этом совсем несложно – достаточно попытаться решить любую практическую задачу. Почти без риска ошибиться можно утверждать, что для всякой модели и любых алгоритмов найдется такая информация, которая вне зависимости от используемой методики приведет к необходимости отказа от алгоритма.

И, в связи с этим, второй вывод: *решение задачи распознавания – это процесс, конечной целью которого является установление точной аналитической характеристики классов.* По всей видимости, такая характеристика с помощью моделей и аппарата теории распознавания образов (как это сегодня понимается) в принципе невозможна. Если, допустим, как-нибудь можно преодолеть индуктивную природу задачи, то все еще останется слишком большое множество различных моделей и решений. А это всегда является признаком не очень хорошей постановки задачи.

И, наконец, последний – третий вывод, который, как нам кажется, не требует никаких комментариев: *конкретная задача и ее решение всегда важнее любых теоретических построений, а уж тем более – предпочтений, чем бы они ни аргументировались.*

Библиографические ссылки

1. *Абламейко С. В., Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Модели и технологии распознавания образов с применением в интеллектуальном анализе // Вестник БГУ. Сер. 1. 2011. № 3. С. 62–72.
2. *Журавлев Ю. И.* Экстремальные алгоритмы в алгебре над некорректными алгоритмами // Доклады АН СССР, 1977, Т. 237. № 3. С. 509–512.
3. *Краснопрошин В. В.* Об оптимальном корректоре совокупности алгоритмов распознавания // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1979. Т. 19. №1. С.204–215.
4. *Кашкевич С. И., Краснопрошин В. В.* Двухуровневый автоматизированный распознающий комплекс // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1979. Т. 19. №6. С. 1577–1588.
5. *Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Двухуровневые модели алгоритмов распознавания // Журнал вычислительной математики и математической физики. М. : Наука, 1985. Т. 25. № 10. С. 1534–1547.
6. *Образцов В. А.* Условия корректности линейных двухуровневых моделей распознающих операторов // Ред. журнала 'Известия АН БССР'. Минск, 1986. 36с. -Деп. в ВИНТИ 4.11.86, № 7565-В86.
7. *Образцов В. А.* Локальные методы решения задач распознавания // Тезисы докладов IV Всесоюзной конф. Математические методы распознавания образов Рига, 1989. С.64–66
8. *Krasnoproshin V., Obratsov V. A.* The Problem of Algorithms Choosing in Pattern Recognition // Pattern Recognition and Image Analysis. 1996. V. 6. № 2. P. 188–199.
9. *Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Проблема принятия решений по прецедентности: разрешимость и выбор алгоритмов // Выбранные научные работы Беларускага Дзяржаўнага ўніверсітэта, Т. 6. 2001. С. 285–312.
10. *Krasnoproshin V. V., Obratsov V. A.* Problem of Solvability and Choice of Algorithms for Decision Making by Precedence // Pattern Recognition and Image Analysis. 2006. V. 16. № 2. P. 155–169.
11. *Голуб Г. Д., Краснопрошин В. В.* и др. Использование ЭВМ для дифференциальной диагностики деструктивных поражений желудка // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Реализация математических методов с использованием ЭВМ в клинической и экспериментальной медицине". Т. 2. М.: 1983. С. 40–41.
12. *Черствой Е. Д., Лазюк Г. И., Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Диагностика синдромов множественных врожденных пороков развития с помощью ЭВМ // Педиатрия. 1982. № 7. С. 41–43.
13. *Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Алгоритмы распознавания и экспертные системы // Разработка модели, методы и алгоритмы принятия решений на основе теории графов, управление и обработка данных, деп. в БНТИЦ, № 01880069820, 1991 г., 45 с.
14. *Краснопрошин В. В., Кашкевич С. И., Образцов В. А., Плотников Ю. В.* Проблема построения гибридных алгоритмов для систем поддержки решений в слабоформализованных областях // Тез. докл. I Всесоюз. конф. Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии. Минск, Ч. 3, 1991. С. 88–92.
15. *Гутников С. Ю., Кашкевич С. И., Краснопрошин В. В., Образцов В. А.* Некоторые вопросы разработки АРМов врачей-специалистов // Современные информационные системы и технологии: сб. науч. тр. Минск, 1994. С. 57–59.
16. *Bergmans J., Krasnoproshin V., Obratsov V., Vissia H.* Inductive Algorithm for Solving Diagnostic Problem // Proc. of 4-th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Information Processing, 1997. V. 1. P. 305–311.
17. *Краснопрошин В. В., Лосицкий Е. А., Образцов В. А., Виссия Х., Гутников С. Е., Попок С. А.* Интеллектуальная система поддержки решений в спортивной травматологии // Вестник Национального технического университета "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. 2010. № 31. С.106–111.
18. *Krasnoproshin V., Valvachev A., Vissia H.* Unstructured Knowledge Synthesis for Decision-Making Problems // Proceedings of the Seventh International Conference PRIP'2003, Minsk, V. 1. 2003. P. 145–149.
19. *Адзериха К.С., Киселевский Л. И., Костюкевич С. Б., Краснопрошин В. В.* Физические основы дистанционного зондирования. Минск: Университетское, 1991.
20. *Киселевский Л. И., Вешторт А. М., Кононович С. И., Костюкевич С. Б., Краснопрошин В. В.* Методы представления и обработки спектрометрической информации в задачах классификации природных поверхностей // Доклады АН БССР. 1986. Т. 30. С. 128–131.

21. Глушенков В. С., Ковалев А. А., Коновалов О. Л., Костюкевич С. Б., Краснопрошин В. В., Юхименко Б. А. Система отображения и редактирования цифровых тематических радиационных и экологических карт на основе ПЭВМ // Вестн АНБ. Сер. физ.-мат. наук. 1992. № 5. С.102–107.
22. Краснопрошин В. В., Вешторт А. М., Кашкевич С. И., Яковлев П. М. Диалоговый инструментальный комплекс автоматизированного решения задач распознавания и классификации (Парус 1.0) // РФАП БССР. Минск, 1988. рег. № 145607990.
23. Вешторт А. М., Зуев Ю. А., Краснопрошин В. В. Двухуровневая система распознавания с логическим корректором // Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. Ежегодник. М.: Наука, 1989. Вып. 2. С. 73–98.
24. Абламейко С. В., Лагуновский Д. М. Обработка изображений: технология, методы, применение / НАН Беларуси, Ин-т техн. кибернетики. Минск, 1999.
25. Абламейко С. В., Анищенко В. В., Лапицкий В. А., Тузииков А. В. Медицинские информационные технологии и системы / ОИПИ НАН Беларуси. Минск, 2007.
26. Абламейко С. В., Недзьведь А. М. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине / ОИПИ НАН Беларуси. Минск, 2005.

КОНВЕРТАЦИЯ ДАННЫХ ТОПОЛОГИИ СБИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**В. В. Ганченко¹, А. А. Дудкин¹,
А. В. Инюгин¹, В. Г. Шоломицкий²**

¹*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*

²*УП «КБТЭМ-ОМО»*

Минск, Беларусь

E-mail: {ganchenko, avin}@lsi.bas-net.by, doudkin@newman.bas-net.by

Рассмотрены алгоритмы и программные средства параллельной реализации подготовки топологических данных из форматов САПР СБИС в формат установок автоматического контроля топологических структур на фотошаблоне производства УП «КБТЭМ-ОМО», который напрямую не поддерживается современными САПР. Особенностью таких данных является их большой объем данных и значительное время конвертации. Использование параллельным методом вычислений на базе ПЭВМ с многоядерным процессором и технологии OpenMP позволяет значительно ускорить время подготовки данных.

Ключевые слова: конвертация данных, параллельные вычисления, САПР, фотошаблон.

Введение

Информатизация и компьютеризация современного общества требуют непрерывной разработки и совершенствования микроэлектронной цифровой техники. При этом постоянно возрастает сложность аппаратных компонентов и топологий интегральных микросхем: количество топологических элементов может превышать сотни миллионов. Топология сверхбольших интегральных схем (СБИС) на выходе специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР) не может напрямую быть передана на вход оборудования производства СБИС, так как генераторы изображений и установки автоматического контроля оригиналов топологии на