

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, obraztsov)@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 Белгосуниверситет 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: $Z \subseteq I^{ex} \times I^{bix}$. Для задачи распознавания образов с обучением необходимо еще зафиксировать содержание и способ представления I^{ex} и I^{bix} . Относительно первого элемента будем предполагать, что I^{ex} представляет собой информацию о некотором множестве объектов, разбитую на классы (их число конечно). Способ представления информации для I^{ex} – прецедентный, а для Z известна лишь часть информации (обучающая и контрольная выборки). Что касается второго элемента (I^{bix}), то здесь речь идет только о метках (или индексах) классов.

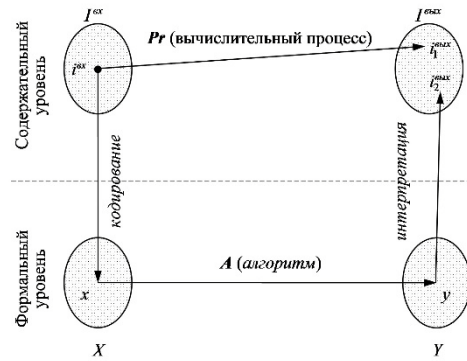


Рис. 1. Процесс решения задачи

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 $i_1^{вex}$ и $i_2^{вex}$ 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 $I^{вex}$. 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 $i_1^{вex}$ и $i_2^{вex}$. 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 $i_1^{вex}$ и $i_2^{вex}$ 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 выборки) 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 диагностике. 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 осуществляется 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 $Z \subseteq I^{ax} \times I^{bvx}$, 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 резольюции 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 предпосылки.

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 резольюции [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.

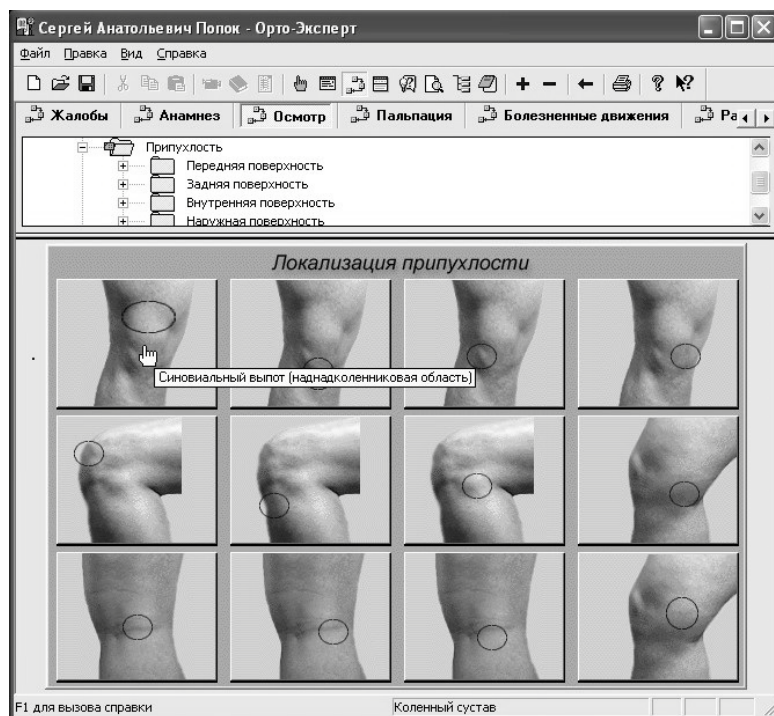


Рис. 2. Осмотр пораженного участка

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.

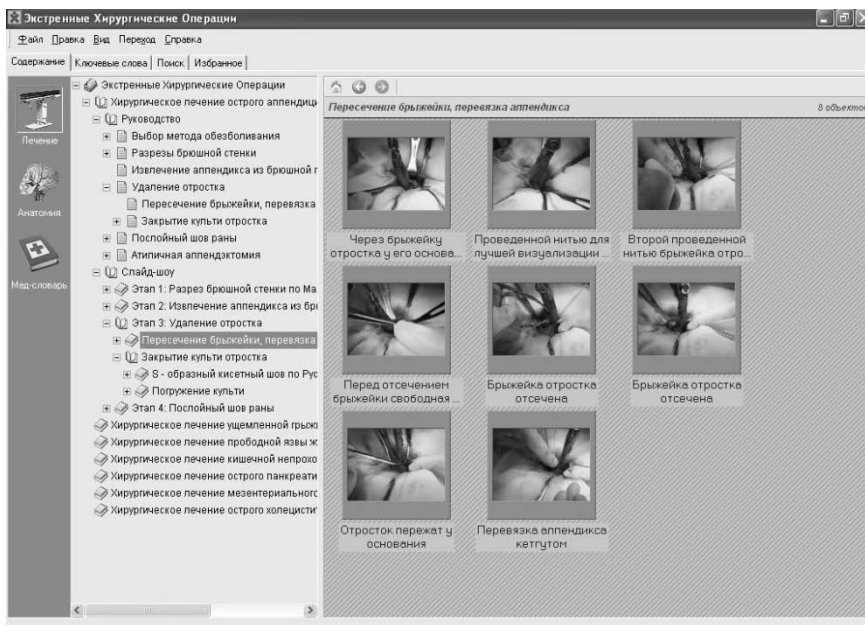


Рис. 3. Иллюстрация процесса проведения операции острого аппендицита

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.

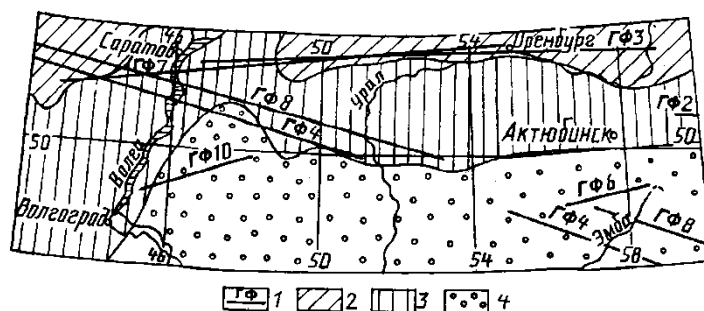


Рис. 4. Карта распределения пространственно-временной изменчивости в пределах степной и полустепной зон Русской равнины

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.

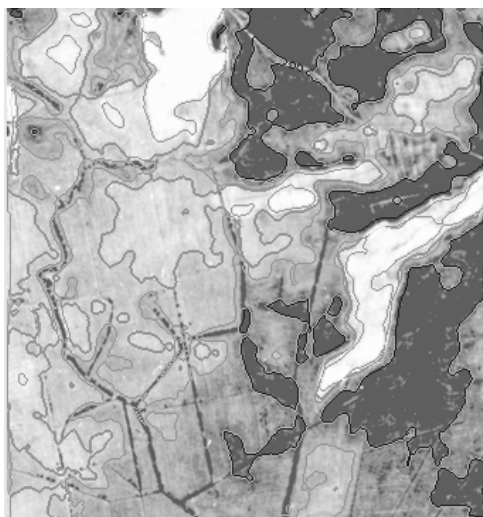


Рис. 5. Фрагмент аэрофотоснимка участка с показом границ почвенных контуров

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, имеющихся 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 имеющихся 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 приложением 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 Белорусского 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., Веиторт 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. Глушенко 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 // Весці АНБ. Сер. фіз.-мат. навук. 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., Зув 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., Тузиков 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.