

УДК 007.52:681.581.2; 681.237.12

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ РАСПОЗНАЮЩИХ СИСТЕМ

А.Е. Янковская, А.И. Гедике

Томский государственный архитектурно-строительный университет
пл. Соляная, 2, г. Томск, Россия, 634003
E-MAIL: voron@ccas.ru

Abstract.

Methodological-theoretic foundations of intelligent test pattern recognition systems creation on the software tool IMSLOG are offered. The mathematical apparatus is based on the matrix knowledge representation, regularities revealing including logical tests, combination of different approaches to test pattern recognition, cognitive graphic means. Architecture of software tool IMSLOG peculiarities of program realization and steps of the applied intelligent systems construction are given.

ВВЕДЕНИЕ

Целесообразность применения интеллектуальных систем, основанных распознавания образов, для решения научных и практических задач в конкретных проблемных и междисциплинарных областях не вызывает сомнения. Как правило, характер решаемых задач, типы и формы представления обучающей информации (данных и знаний) репрезентативность и непротиворечивость диктуют необходимость использования тех или иных методов распознавания образов, что предопределяет функциональные возможности интеллектуальной системы, создаваемой по базе соответствующего математического аппарата. Многообразие же проблемных областей, типов данных и знаний, постановок задач, подходов и методов их решения влечет потребность в интеллектуальных системах различной конфигурации и с различными функциональными возможностями.

В соответствии с концепцией современных информационных технологий *проблема состоит в том*, что требуется, с одной стороны, инвариантный к различным областям приложения математический аппарат распознавания образов, с другой стороны, гибкое и удобное инструментальное средство создания на его основе интеллектуальных систем с открытой архитектурой, достаточно легко адаптируемых и модифицируемых в соответствии с потребностями исследователей и пользователей, для решения важных научных или практических задач.

Существует широкий круг задач классификационного, диагностического, прагматического, регностического, организационно-управленческого характера, решение которых сводится к выявлению закономерностей в данных и знаниях, построению (в процессе анализа обучающей информации) и использованию (на этапе распознавания образов) диагностических тестов. Основополагающие результаты по распознаванию образов были получены Ю.М. Журавлевым и реализованы в разработанной под его

руководством программной системе ЛОРЕГ [1], предназначенной для решения задач распознавания и выявления логических закономерностей в знаниях. Существенные результаты по развитию методов распознавания образов получены А.Д. Закревским, под руководством которого создана экспертная система логического распознавания ЭКСИЛОР [4], ориентированная на представление объектов точками в пространстве многозначных переменных и представление знаний как системы императивных закономерностей в форме санкционированной булевой матрицы дизъюнктов.

Одной из *последних публикаций*, отражающих результаты исследований, связанных с решением вышеприведенной проблемы, является описание универсальной программной системы интеллектуального анализа данных, распознавания и прогноза [3], объединяющей различные методы распознавания и классификации.

В основу комплекса созданных нами интеллектуальных распознающих систем [11] положен математический аппарат, включающий построение и использование логических тестов [9], к числу которых относятся минимальные и безызбыточные (тупиковые [2]) безусловные диагностические тесты, а также смешанные тесты [14], представляющие собой оптимальное сочетание безусловных и условных составляющих. На применении этого же математического аппарата базируется развиваемого интеллектуальное инструментальное средство (ИИС) ИМСЛОГ [20], представляющее собой интегрированную среду разработки и отладки интеллектуальных тестовых распознающих систем (ИТРС). *Нерешенным вопросом*, в рамках рассматриваемой проблемы является методология построения интеллектуальных тестовых распознающих систем с открытой архитектурой, ориентированных на пользователей различной квалификации, с применением не имеющих (инвариантных к проблемным областям) и имеющих отображение в обычной реальности средств когнитивной графики, используемых для организации пользовательского интерфейса и обоснования принятия решений, а также разнообразных методов построения оценок принимаемых решений. *Цель данной работы* состоит в разработке теоретико-методологических основ создания с использованием ИИС ИМСЛОГ интеллектуальных систем, базирующихся на развиваемом нами математическом аппарате.

Предлагаемые теоретико-методологические основы создания ИТРС включают:

1. матричную модель представления данных и знаний об объектах из рассматриваемой проблемной или междисциплинарной области [10], [9];
2. алгоритмы адаптивного перекодирования количественных, номинальных, порядковых признаков, задающих описания объектов к виду, используемому в матричной модели представления данных и знаний [12];
3. различные способы анализа данных и знаний на непротиворечивость и репрезентативность [6], [5];

4. эффективные логико-комбинаторные [17] и генетические [17] преобразования в пространстве признаков для выявления различного рода закономерностей, присущих обучающим объектам, включая логические тесты [9];
5. сочетание логико-комбинаторного (л-к), логико-вероятностного (л-в) и логико-комбинаторно-вероятностного (л-к-в) подходов к тестовому распознаванию образов [16], [18] с использованием выявленных закономерностей и процедуры голосования на множестве тестов и подходов;
6. когнитивные средства графической визуализации информационных структур и выявленных закономерностей, принятия решений относительно исследуемых объектов и обоснования принимаемых решений [9], [8], [10];
7. ППС ИМСЛОГ [20], являющееся интегрированной средой разработки ИТРС для широкого круга областей приложения;
8. конверторы данных и знаний из форм представления, используемых в других программных продуктах, в форму, применяемую в ИИС ИМСЛОГ. ;
9. этапы создания ИТРС на базе ИИС ИМСЛОГ [20].

1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ

Будем считать, что множество обучающих объектов из рассматриваемой проблемной области состоит из подмножеств, которым соответствуют различные образы, выделяемые экспертами или с использованием тех или иных критериев. Описание каждого объекта задается совокупностью значений признаков, называемых характеристическими. Каждому объекту сопоставляется итоговое решение, задаваемое совокупностью значений признаков, называемых классификационными. Объектам, принадлежащим одному и тому же образу, соответствует одно и то же итоговое решение. В качестве исходной информации о проблемной области используется обучающая выборка, состоящая из множества описаний объектов (как реальных, так и синтезированных на основе знаний экспертов), для каждого из которых известно соответствующее итоговое решение. Для представления обучающей выборки используется матричная модель, включающая матрицы описаний и, различий (**R**) и переходов (**P**) [16], [9].

Матрица **Q** предназначена для представления множества описаний обучающих объектов в пространстве двоичных, троичных, k -значных и номинальных признаков. Строкам матрицы **Q** сопоставляются объекты, столбцам — характеристические признаки. Элемент q_{ij} задает значение j -го признака для i -го объекта.

Матрицы различий одного, двух или трех типов (**R1**, **R2** и **R3**) предназначены для указания принадлежности обучающих объектов выделенным образам в пространстве целочисленных признаков. Строкам матриц **R1**, **R2** и **R3** сопоставляются строки матрицы **Q**, столбцам — уровни различения (классификационные признаки).

Каждому уровню различения сопоставляется механизм классификации, разбивающий множество исследуемых объектов на классы эквивалентности. Элементы матриц **R1**, **R2** и **R3** задают принадлежность обучающих объектов классам по каждому уровню различения.

Матрица (**R1**) предназначена для представления вложенных механизмов классификации (каждый следующий механизм задает разбиение множества обучающих объектов на классы эквивалентности, более детальное, чем по предыдущему механизму). Матрица (**R2**) предназначена для задания последовательности действий, которую необходимо выполнить для каждого объекта. Матрица (**R3**) предназначена для представления независимых механизмов классификации, отражающих, например, мнения различных экспертов. Множеству неповторяющихся одноименных строк матриц различий сопоставлено множество выделенных образов. Элементами образа являются объекты, представленные строками матрицы (**Q**), для которых равны соответствующие строки матриц (**R1**), (**R2**) и (**R3**).

Матрица (**P**) предназначена для представления динамических знаний об объектах. Строкам матрицы (**P**) сопоставляются строки матрицы (**Q**), столбцам — моменты (интервалы) времени или управляющие воздействия. Элемент ρ_{ij} задает состояние, в которое перейдет i -й объект в j -й момент (на j -ом интервале) времени или при j -ом управляющем воздействии.

Данная модель позволяет представлять не только данные, но и знания экспертов, поскольку одной строкой матрицы (**Q**) можно задавать в интервальной форме подмножество объектов, для которых характерны одни и те же итоговые решения, задаваемые соответствующими строками матриц **R1**, **R2** и **R3**.

Если признаки, задающие описания объектов, являются количественными, номинальными или порядковыми, то применяются алгоритмы адаптивного перекодирования этих признаков к виду, используемому в матричной модели [12].

Исследуемый объект представляется в пространстве (подпространстве) характеристических признаков.

2. ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ДАННЫХ И ЗНАНИЯХ

Выявление закономерностей осуществляется на основе анализа обучающей выборки с применением комплекса альтернативных и дополняющих друг друга логико-комбинаторных [9] и генетических алгоритмов [17]. В процессе анализа осуществляется проверка обучающей выборки на непротиворечивость, а также определяется ее репрезентативность [15].

В предлагаемом подходе под закономерностями понимаются подмножества характеристических признаков с определенными, легко интерпретируемыми свойствами, влияющими на различимость объектов из разных образов, устойчиво наблюдаемыми для объектов из обучающей выборки и проявляющимися на других объектах той

же природы, а также весовые коэффициенты характеристических признаков, отражающие их индивидуальный вклад в различимость объектов из разных образов [9]. Искомыми подмножествами являются константные, устойчивые, неинформативные, альтернативные, зависимые, обязательные, псевдообязательные и несущественные признаки, а также минимальные или безызбыточные различающие подмножества признаков.

Каждое минимальное и безызбыточное подмножество признаков является соответственно минимальным и безызбыточным (тупиковым) безусловным диагностическим тестом и задает необходимые и достаточные условия попарной различимости всех объектов обучающей выборки, принадлежащих разным образам.

Константные признаки принимают одно и то же значение для всех объектов из обучающей выборки. Устойчивые признаки не являются константными, но являются константными внутри образа. Неинформативные признаки не различают ни одной пары объектов из разных образов. Альтернативные признаки различают одни и те же пары объектов из разных образов. Если подмножество различаемых i -м признаком пар объектов из разных образов является включением в подмножество пар объектов из разных образов, различаемых j -м признаком, то i -й признак считается зависимым от j -го признака. Обязательные признаки являются необходимыми и достаточными для различения некоторых пар объектов, входят в каждый диагностический и образуют ядро всех диагностических тестов, поскольку исключение любого признака из ядра нарушает свойство каждого из тестов быть тестом. Несущественные признаки не входят ни в один диагностический тест. Псевдообязательные признаки не являются обязательными, но входят в каждый диагностический тест из множества тестов, используемых на этапе распознавания исследуемых объектов.

При выявлении закономерностей используются следующие подходы [9]: с построением безызбыточной матрицы импликаций (U'); с частичным построением матрицы U' ; без построения матрицы U' . Матрица U' задает достаточные условия различимости любой пары объектов из обучающей выборки, принадлежащих разным образам. Строкам матрицы U' сопоставляются характеристические признаки, столбцам - результаты сравнения всевозможных пар типа образ-образ, объект-образ, объект-объект из разных образов. Для ряда приложений целесообразно строить секционированную по механизмам классификации матрицу U' .

В рамках каждого подхода разработаны эффективные алгоритмы построения минимальных и безызбыточных безусловных диагностических тестов (МБДТ и ББДТ), а на их основе — смешанных диагностических тестов (СДТ), представляющих собой оптимальное сочетание безусловных и условных составляющих.

Для поиска МБДТ разработаны алгоритм нахождения всех кратчайших столбцовых покрытий матрицы U' [19] и шагово-циклические алгоритмы [9], а для поиска безызбыточных ББДТ - шагово-циклические и генетические алгоритмы [17]. Также

разработаны эффективные алгоритмы построения деревьев СДТ для бинарных, k -значных и номинальных признаков [13]. При этом номинальные признаки преобразовываются в бинарные или k -значные. Отметим, что на выбор подходов и алгоритмов при анализе реальных данных и знаний влияют их структура, размерность и репрезентативность. Однако, размеры статьи не позволяют привести вышеупомянутый анализ.

3. ПРИНЯТИЕ И ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ

Принятие решений относительно исследуемых (предъявляемых) объектов базируется на сочетании л-к, л-в и л-к-в подходов к тестовому распознаванию образов [16],[18]. Решающие правила строятся на основе МБДТ, ББДТ или деревьев СДТ с использованием всех других выявленных закономерностей. Описание исследуемого объекта задается в виде подмножества значений тех характеристических признаков, которые были использованы при построении решающих правил на основе МБДТ (ББДТ), и в виде последовательности запрашиваемых значений признаков, включенных в соответствующее дерево СДТ. причем признаки, включенные в безусловную составляющую СДТ. запрашиваются первыми и одновременно [9], [13]. Кроме того, СДТ используются для построения интеллектуального интерфейса.

При л-к подходе описание исследуемого объекта анализируется с учетом априорно задаваемого допустимого процента погрешности принятия решения. Решение о принадлежности объекта тому или иному образу по каждому безусловному тесту принимается на основе вычисляемых коэффициентов условной степени близости объекта к каждому образу [15], а при использовании деревьев СДТ — на основе голосов (с учетом веса теста), отданных за каждый из образов [13]. Заметим, что более эффективно использовать процедуру построения по безусловному тесту дерева СДТ непосредственно по предъявленному описанию исследуемого объекта, поскольку строится не все дерево, а только та его часть, которая необходима для принятия решения.

При л-в и л-к-в подходах описание исследуемого объекта анализируется с учетом априорно задаваемых вероятностей значений признаков. Строго говоря, используемый термин «вероятность значения признака» означает степень уверенности эксперта в том, что данное значение признака может иметь место. Решение о принадлежности объекта тому или иному образу по каждому логическому тесту принимается на основе вычисляемых вероятностей принадлежности объектов к каждому образу [7].

Итоговое решение относительно исследуемого объекта принимается на основе процедуры голосования [9] на множестве тестов и подходов. В зависимости от постановки задачи принимаемые решения могут носить классификационный, диагностический, прогностический, регностический или организационно-управленческий характер.

Кроме того, для представления в удобной и наглядной форме соотношений между различными величинами (объектами, ситуациями) и динамики их изменения, а также для принятия решений и обоснования принимаемых решений разработаны разнообразные когнитивные графические средства, включая: гистограмму специального типа; равносторонний треугольник; круговую диаграмму с отрезком или прямоугольником [9]. Гистограмма отражает числовые значения условной степени близости исследуемого объекта к каждому из выделенных образов. Равносторонний треугольник отражает пространственное расположение исследуемого объекта относительно трех характерных образов. Круговая диаграмма с отрезком (прямоугольником) отражает соотношения условных степеней близости исследуемого объекта к каждому из выделенных образов и его пространственное расположение относительно двух (четырех) образов, указываемых пользователем.

Приведенные когнитивные средства являются инвариантными к проблемным областям, ориентированы на пользователей различной квалификации и позволяют пользователю самому принимать решение в случаях, когда решение не удастся принять на основе применения процедуры голосования.

4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ИМСЛОГ

Архитектура ИИС ИМСЛОГ является открытой и представляет собой иерархическую систему программных модулей [20].

Один модуль реализован как резидентный, имеет встроенную систему команд, выполняет функции координирующего центра и называется ядром. Все остальные модули являются динамически подключаемыми, называются плагинами и подразделяются на функциональные модули, модули системных данных и базовый МОДУЛЬ интеллектуального пользовательского интерфейса. Функциональные модули реализуют отдельные подсистемы и функции, включая различные подходы и алгоритмы тестового распознавания образов. Модули системных данных хранят информационные структуры, используемые при работе. Базовый модуль интеллектуального интерфейса обеспечивает интерактивное взаимодействие пользователя с ядром на ограниченном естественном языке посредством интеллектуальной графической оболочки либо (при необходимости) консольного приложения.

Ядро содержит интерпретатор встроенной системы команд и менеджер подключаемых модулей, которые обеспечивают: автоматическое подключение и регистрацию всех плагинов; динамическую загрузку и выгрузку плагинов в процессе работы; передачу управления от одного плагина к другому: информационную связь между плагинами: контроль корректности выполнения плагинов.

Все плагины содержат блок регистрации, необходимый для их автоматического подключения к ядру и динамического вызова на выполнение, а также программный шлюз, обеспечивающий корректные вызовы зарегистрированных системных команд, динамическое выделение требуемого объема оперативной памяти для хранения системных структур данных, передачу результатов выполнения команд и возврат управления ядру после завершения выполнения функции, соответствующей данному плагину.

Множество команд ядра является базисом, необходимым для поддержки применяемого математического аппарата и ряда вспомогательных функций. Этот базис может быть дополнен с целью расширения функциональных возможностей ИИС ИМСЛОГ. При этом обеспечивается совместимость «сверху вниз», то есть ранее созданные плагины могут использоваться без каких-либо ограничений.

Программная реализация ИИС ИМСЛОГ выполнена с использованием идей и принципов структурного, нелинейного и объектно-ориентированного программирования, Конечный программный продукт (библиотека C++ классов, модуль-ядро, динамически подключаемые модули-плагины, базовый модуль интеллектуального интерфейса) получен с использованием системы программирования Borland C++ Builder, а также API (Application Programming Interface) и GUI (Graphics User Interface) операционной среды Windows. Для создания когнитивных средств использовалась библиотека OpenGL. Взаимодействие с пользователем организовано в виде интеллектуального многооконного интерфейса и реализовано в MDI (Multi Document Interface) форме. Для обеспечения переносимости программного кода расширения языка не использовались.

5. СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ РАСПОЗНАЮЩИХ СИСТЕМ

Создание ИТРС для конкретной проблемной или междисциплинарной области на базе ИИС ИМСЛОГ, образно говоря, схоже с построением, например, машины из деталей детского конструктора. «Сборка» ИТРС состоит, по сути, в подключении к ядру плагинов, реализующих все необходимые компоненты системы. Для синхронизации работы отдельных компонент и управления информационными потоками при параллельном выполнении различных алгоритмов тестового распознавания образов в ИИС ИМСЛОГ встроена подсистема создания и реализации сценариев работы (шаблонов), которая позволяет сформировать связную компонентную сеть и установить отношения взаимосвязей (типа «один к одному» либо «один ко многим») между входами и выходами функциональных компонент. Шаблон сохраняется в файле базы знаний и может быть добавлен в библиотеку, содержащую шаблоны для наиболее употребляемых сценариев работы.

В рамках построенного сценария имеется возможность мониторинга выполняемых процессов, просмотра полученных промежуточных значений сие темных переменных, а также (при необходимости) изменения хода обработки информации путем внесения корректив в значения передаваемых данных или путем блокировки составляющих шаблона, что, несомненно, дает дополнительную гибкость, особенно полезную при проведении научных исследований.

В общем случае создание ИТРС на базе ИИС ИМСЛОГ предполагает выполнение четырех этапов.

На *первом этапе* осуществляется систематизация и структуризация информации, необходимой для решения задач в данной проблемной области, определяются функциональный состав интеллектуальной системы, её архитектура и методы тестового распознавания, наиболее подходящие для решения именно этих задач. *Второй этап* включает компоновку требуемой конфигурации ИТРС путем подключения к ядру соответствующих плагинов и формирования адекватных решаемым задачам сценариев работы. При необходимости, на этом же этапе часть плагинов может быть модифицирована или могут быть созданы новые плагины с учетом специфики данной проблемной области. На *третьем этапе* создаются модули базы знаний, проводится их анализ и оптимизация с целью выявления закономерностей, строятся решающие правила, используемые в дальнейшем при распознавании исследуемых объектов и принятии итоговых решений. *Четвертым этап* состоит в окончательной настройке ИТРС для передачи в эксплуатацию.

Поскольку добавление или изменение одних плагинов не влечет необходимости изменения других плагинов, то можно конструировать ИТРС различной конфигурации, а построенные ИТРС - достаточно оперативно адаптировать к разнообразным проблемным областям (например, добавляя когнитивные средства, имеющие отображение в обычной реальности, т.е. пригодные только для конкретной проблемной области) и модифицировать с учетом растущих потребностей пользователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные теоретико-методологические основы позволяют на базе И И С ИМСЛОГ создавать ИТРС с открытой архитектурой и существенно снижать трудовые и временные затраты на их создание.

Положенный в основу методологии математический аппарат базируется на построении логических тестов (с использованием глубоких оптимизирующих логико-комбинаторных и генетических преобразований в пространстве признаков), сочетании л-к, л-в и л-к-в подходов к тестовому распознаванию образов, а также разнообразных когнитивных графических средствах. Данный аппарат апробирован при

решении широкого круга реальных задач в различных областях приложения и показывал высокую эффективность в плане выявления закономерностей и принятия решений относительно исследуемых объектов.

Основанное на приведенном математическом аппарате ИИС ИМСЛОГ является интегрированной средой создания ИТРС на базе пополненной (при необходимости - изменяемой) библиотеки программных модулей (плагинов), имеющих широкое применение на различных этапах выявления закономерностей и принятия решений, и координирующего центра (ядра) с собственной системой команд, который осуществляет автоматическую регистрацию всех плагинов и обеспечивает управляющую и информационную связь между ними во время работы.

Реализованные в ИИС ИМСЛОГ идеи и принципы *позволяют существенно повысить* эффективность процесса создания прикладных интеллектуальных систем, опирающегося на различные методы тестового распознавания образов. Благодаря наличию интеллектуального интерфейса и графических (включая когнитивные) средств, ориентированных на пользователей различной квалификации, ИИС ИМСЛОГ просто и доступно в использовании. Поскольку добавление или изменение одних программных модулей не влечет изменения других, то можно создавать ИТРС различной конфигурации, а построенные системы - достаточно оперативно модифицировать в плане наращивания их функциональных возможностей по поддержке информационных технологий тестового распознавания образов с применением новых подходов, алгоритмов и когнитивных средств.

Построенные ИТРС найдут применение для решения научных и практических задач диагностики, классификации, прогноза, регноза и управления как в конкретных проблемных (например, проектирование, медицина, геология, строительство и др.), так и в междисциплинарных (например, биоэкомедицина, геоэкология, социальная психология и др.) областях приложения.

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 04-01-00144).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов В.П., Вионградов А.П., Борончихин В.А., Журавлев К.И. и соавтры. Программная система распознавания ЛОРЕГ. - Москва // Изд-во ВЦ РАН — 1998. — С.64.
2. Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений. // Искусственный интеллект в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник/ Под ред. Д.А.Поспелова. -М: Радио и связь. — 1990. — С.149 - 190.
3. Журавлев Ю.И., Рязанов В.В. и соавт. Разработка универсальной программной системы интеллектуального анализа данных, распознавания и прогноза. // Математические методы распознавания образов (ММРО-11). Докл. 11-й Всерос. конф. -Москва. 2003. — С.311 - 314.
4. Закревский А.Д. Эксилор - экспертная система логического распознавания. Управляющие системы и машины. — 1992. — № 5/6. — С. 118 - 125.

5. Терпугов А.Ф., Колупаева С.Н., Янковская А.Е. Оценка информативности признаков и объема обучающей выборки в задаче распознавания образов. Математические методы распознавания образов (ММРО-9). Доклады IX Всерос. конф. — Москва — 1999. — С. 108 - 111.
6. Янковская А.Е. Функции различения при анализе интеллектуальных систем с матричным представлением знаний. Искусственный интеллект. Тез. докладов II Всесоюзн. конф. Том 1. Минск — 1990. — С. 102 - 105.
7. Янковская А.Е. Степень импликации и частичная ортогонализация дизъюнктивных нормальных форм булевых функций в связи с проблемой принятия решений. Всесибирские чтения по математике и механике. Избр. доклады междунар. конф. Т. 1. Математика. — Томск: Изд-во ТРУ — 1997.— С. 225 - 231.
8. Янковская А.Е. Принятие и обоснование решений с использованием методов когнитивной графики на основе знаний экспертов различной квалификации. Теория и системы управления. — 1997. — У. — 5 — С. 125 - 128.
9. Янковская А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики в интеллектуальной системе. Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур: Доклады 3-ей Втерос. конф. с междунар. участием.— Томск — 2000. — С. 163 - 168.
10. Янковская А.Е., Тетенев Ф.Ф., Черногорюк Г.Э. Отражение образных представлений специалиста в интеллектуальной распознающей системе патогенеза заболеваний. Компьютерная хроника. — 2000. — Ж №6 — С. 77 - 92.
11. Янковская А.Е., Гедике А.И., Аметов Р.В. Комплекс распознающих систем поддержки принятия решений в практических приложениях и научных исследованиях. Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе. Труды XXIX Междунар. конф. - Украина, Крым, Ялта - Гурзуф. — 2002. — С. 54 -56.
12. Янковская А.Е., Берестнева О.Г., Муратова Е.А. Извлечение знаний с применением алгоритма адаптивного кодирования разнотипной информации. Искусственный интеллект. Украина —2002. — С. 315 - 322.
13. Янковская А.Е., Кузоваткин А.Н. Алгоритмы построения логических тестов в пространстве k -значных и номинальных признаков в системе распознавания образов. Искусственный интеллект. Украина — 2002. — С. 330 - 337.
14. Yankovskaya A.E. Design of Optimal Mixed Diagnostic Test With Reference to the Problems of Evolutionary Computation // Proceeding of the First International Conference on Evolutionary Computation and Its Applications. — Moscow — 1996. — P. 292-297.
15. Yankovskaya A.E. Minimization of Orthogonal Disjunctive Normal Forms of Boolean Function to be Used as a Basis for Similarity and Difference Coefficients in Pattern Recognition Problems. Pattern Recognition and Image Analysis. — 1996. — Vol.6, No. 1. — P. 60 - 61.
16. Yankovskaya A.E. An Automaton Model, Fuzzy Logic, and Means of Cognitive Graphics in the Solution of Forecast Problems // Pattern Recognition and Image Analysis. — 1998. — Vol. 8, No. 2. — P. 154 - 156.
17. Yankovskaya A.E. Test Pattern Recognition with the Use of Genetic Algorithms. Pattern Recognition and Image Analysis. — 1999. —Vol. 9, No. 1. P. 121 - 123.
18. Yankovskaya A.E. Logic-Combinational Probabilistic Recognition Algorithms. Pattern Recognition and Image Analysis. — 2001. — Vol. 11, No. 1. — P.123-126.
19. Yankovskaya A.E. and Gedike A.I. obstruction and Evaluation of Compressed Descriptions of Patterns in an Intelligent Recognizing System. Pattern Recognition and Image Analysis. — 1999. — Vol. 9, No. 1. — P. 124-127.

20. Yankovskaya A.E., Gedike A.I., Ametov R.V., Bleikher A.M. Software Tool for Supporting Information Technologies of Test, Pattern Recognition - Pattern Recognition and Image Analysis.— 2003. — Vol. 13, No. 4. — P. 650 - 657.