



**XIV ЭМ'2010**

*Российская академия наук  
Министерство образования и науки РФ  
Красноярский государственный торгово-экономический институт  
Институт математики, Сибирский федеральный университет  
Институт вычислительного моделирования СО РАН  
Сибирский институт бизнеса, управления и психологии*

*Т Р У Д Ы  
XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО ЭВЕНТОЛОГИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИКЕ  
И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ*

*Красноярск  
Красноярский государственный торгово-экономический институт  
Сибирский федеральный университет*

*2010*

УДК 519.248: [004.8+33+301+159.9]

Т 78

Труды XIV международной ЭМ'2010 конференции. Под ред. Олега Воробьёва. — Красноярск: Крас. гос. торг.-эконом. ин-т, Сиб. фед. ун-т, 2010. — 236 с.

ISBN 978-5-98153-165-1

Редакционная коллегия:

Баранова И.В., канд. физ.-мат. наук

Воробьёв О.Ю., д-р физ.-мат. наук, профессор (редактор)

Голденко Е.Е., канд. физ.-мат. наук

Клочков С.В., канд. физ.-мат. наук

Лукин В.Н., канд. техн. наук, профессор

Мажаров В.Ф., д-р мед. наук

Новосёлов А.А., канд. физ.-мат. наук

Семёнова Д.В., канд. физ.-мат. наук (помощник редактора)

Тарасова О.Ю., канд. физ.-мат. наук

Тяглова Е.Г., канд. физ.-мат. наук

Фомин А.Ю., канд. физ.-мат. наук

© Красноярский государственный торгово-экономический институт, 2010

© Сибирский федеральный университет, 2010

© Институт вычислительного моделирования СО РАН, 2010

© Сибирский институт бизнеса, управления и психологии, 2010

ISBN 978-5-98153-165-1

## Основанное на сочетании логико-вероятностного и логико-комбинаторно-вероятностного методов принятие отказоустойчивых решений в интеллектуальных системах

Янковская Анна Ефимовна

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Томск

ayyankov@gmail.com

**Аннотация.** *Предлагается основанное на сочетании логико-вероятностного и логико-комбинаторно-вероятностного методов принятие отказоустойчивых решений в интеллектуальных системах с матричным представлением данных и знаний и базируемых на тестовых методах распознавания образов. Приводятся основные понятия и определения. Формулируются необходимые и достаточные, а также достаточные условия непротиворечивости данных и знаний и принятия решений, устойчивых к ошибкам измерения значений признаков. Итоговое принятие отказоустойчивого решения организовано согласно принципу голосования на множестве всех правил принятия решений отказоустойчивых диагностических тестов по логико-вероятностному и логико-комбинаторно-вероятностному методам. Предлагается дальнейшее развитие изложенного подхода и методов и реализация их в интеллектуальных системах.*

**Ключевые слова.** *Логико-вероятностный, логико-комбинаторно-вероятностный, принятие решений, отказоустойчивость, матричное представление данных и знаний, тестовое распознавание образов, интеллектуальная система.*

### 1 Введение

Настоящая работа является непосредственным продолжением работ из серии [1-11], посвященной принятию решений в интеллектуальных тестовых распознающих системах для широкого круга конкретных и междисциплинарных областей (военная медицина, геология, медицина катастроф, экология, экобиомедицина, экогеология и др.), в которых возникают проблемы, связанные с невозможностью точного задания значений тех или иных признаков исследуемых объектов относительно которых принимаются решения [1], а также с наличием ошибок измерения значений некоторых признаков исследуемых объектов.

Решение этих проблем связано с развитием методов распознавания образов.

Несмотря на то, что больше чем за 50 лет интенсивного развития теории распознавания, обзор которой приведён, в основном, в [12], создано большое количество, базируемых на различных идеях, гипотезах и принципах алгоритмов, к числу которых относятся статистические, логико-комбинаторные, вероятностные, нейросетевые и другие, отсутствуют алгоритмы распознавания образов, одновременно учитывающие невозможность точного задания значений тех или иных признаков, а также наличие ошибок измерения значений некоторых признаков.

Известные методы вычисления вероятности принятия решений в системах искусственного интеллекта являются приближенными. Например, метод, применяемый в системе ЛАПЛИАС [13], использует вероятностную логику и позволяет получить верхнюю и нижнюю границы для искомых вероятностей, а метод, применяемый в системе MYCIN [14], опирается на точные вычисления в рамках фрагмента сети, представляющей знания, но не гарантирует точных вычислений для сети в целом. Изложенный же в [15] точный метод характеризуется большим объемом вычислений, т.к. требует предварительного построения ортогональных дизъюнктивных нормальных форм (ОДНФ) всех функций системы ( $D_1, D_2, \dots, D_m$ ) и подстановки в каждую из  $D_i$  соответствующих вероятностей значений признаков, задающих описание объекта, с одновременной заменой операций логического умножения (конъюнкции) и сложения (дизъюнкции) аналогичными арифметическими операциями.

Алгоритм, основанный на точном вычислении вероятности принятия решения, предложен в [2, 7] и реализован в логико-вероятностной системе распознавания образов [10, 8, 9]. Алгоритм,



представленных совокупностью значений признаков, некоторые из которых могут быть заданы с некоторой степенью уверенности (вероятности), то введём понятия закономерностей в данных и знаниях, применяемых для поиска отказоустойчивых диагностических тестов (ОДТ), выбора оптимального подмножества из найденных ОДТ, используемых при построении решающих правил для принятия отказоустойчивых решений. Воспользуемся определениями из [12, 19, 1, 2].

Диагностическим тестом (ДТ) называется совокупность признаков, различающих любые пары объектов, принадлежащих разным образам.

ДТ называется минимальным, если содержит минимальное количество признаков. ДТ называется безызбыточным (тупиковым [12]), если содержит безызбыточное количество признаков.

Безызбыточный безусловный диагностический тест (ББДТ) характеризуется одновременным предъявлением всех входящих в него признаков исследуемого объекта при принятии решений.

Понятие закономерности в данных и знаниях как подмножеств признаков с определенными свойствами приведено в публикациях [19, 1]. К числу закономерностей относятся константные, устойчивые, неинформативные, альтернативные, зависимые, несущественные, обязательные (входящие во все ББДТ), псевдообязательные (не являющиеся обязательными, но входящие во все ББДТ, участвующие в принятии решений), минимальные и все безызбыточные логические тесты (диагностические) и ряд других закономерностей, указанных в статье [19], а также ДТ, устойчивые к числу  $t$  ошибок измерения значения признака (признаков) [2], сигнальные признаки 1-го рода.

К сигнальным признакам 1-го рода относятся признаки из минимального подмножества характеристических признаков, различающих объекты, принадлежащие к 2-м разным образам (классам при фиксированном механизме классификации).

Введём понятие вектор-функции различения размерности  $m$ , используемое в дальнейшем при анализе данных и знаний на непротиворечивость и при выявлении закономерностей:

$$f_i(a,b) = |z_i(a) - z_i(b)|,$$

где  $z_i(a)$ ,  $z_i(b)$  – значения признака  $z_i$  для объектов  $a$ ,  $b$  соответственно из разных образов (классов при фиксированном механизме классификации).

Если один из признаков или оба признака принимают значение "-", будем считать, что результат операции равен 0. Это обусловлено тем, что при построении на основе вектор-функции различений безызбыточной матрицы импликаций ( $U'$ ), задающей различимость объектов из разных образов (классов при фиксированном механизме классификации), строки, сопоставленные таким вектор-функциям различения, будут исключены. Построение матрицы  $U'$  осуществляется путём исключения из матрицы  $U$  поглощающих строк [1] в процессе её построения.

В дальнейшем  $i$ -ю строку матрицы  $U$ , построенную по вектор-функции  $f(a,b)$  будем обозначать через  $U^i(a,b)$ .  $U^i(a,b) = f(a,b)$ . При отсутствии необходимости указывать конкретные объекты будем их опускать при построении строк матриц  $U$ ,  $U'$ .

#### 4 Критерия принятия решений

Так как при принятии отказоустойчивых решений кроме требования устойчивости к ошибкам измерения (занесения) значений характеристических признаков предъявляются и другие требования, связанные с особенностями конкретной или междисциплинарной областью и с оптимизацией принимаемых решений, то перечислим предъявляемые к ним основные требования, сформулированные в виде критериев:

1. Решения должны быть устойчивы к ошибкам измерения значений признаков.
2. Множество решающих правил по каждому из способов принятия решений должно содержать одну и ту же максимального размера составляющую из псевдообязательных признаков.
3. Общее число признаков, используемое по всем способам принятия решений, должно быть минимальным.

4. Общее число сигнальных признаков 1-го рода по всем правилам принятия решений должно быть минимальным.

5. Общее число подмножеств сигнальных признаков 1-го рода по всем правилам принятия решений должно быть минимальным.

6. Признаки, включённые во все правила принятия решений (ППР), должны иметь максимальный суммарный вес по разделяющей способности признаков [19].

7. Признаки, включённые во все ППР, должны иметь максимальный суммарный вес (информационный вес [12]).

8. Признаки, входящие во все ППР, должны иметь наименьшую суммарную стоимость при выявлении значений признаков исследуемого объекта.

9. Признаки, входящие во все ППР, должны обеспечивать наименьший ущерб (риск) при выявлении их значений.

Критерий 9 особенно важен для решения задач экологии, геологии, медицины (биомедицины).

## 5 Основы принятия отказоустойчивых решений

Поскольку одним из требований к принятию отказоустойчивых решений является учёт устойчивости к ошибкам измерения (занесения) значений характеристических признаков, то при анализе данных и знаний на непротиворечивость и при выявлении закономерностей оно трансформируется в требование построения матрицы  $U'$ , содержащей строки с количеством ненулевых элементов, связанном с учётом числа  $t$  ошибок измерения всех признаков либо конкретного признака, либо нескольких признаков.

Обозначим через  $\Psi(U')$  – количество ненулевых элементов в строке  $U'$ . Сформулируем необходимое и достаточное, а также достаточное условия непротиворечивости данных и знаний при числе  $t$  ошибок измерения (занесения) значения характеристических признаков и устойчивости ДТ к числу  $t$  ошибок измерения (занесения) характеристических признаков.

**Теорема 1.** Для обеспечения непротиворечивости данных и знаний и принятия решения, устойчивого к числу  $t$  ошибок измерения (занесения) характеристических признаков, в матрице  $Q$  для каждой пары объектов из разных классов при фиксированном механизме классификации необходимо и достаточно обеспечение условия  $\Psi(U_i) \leq h$  ( $h = t + 2$ ) для любой строки  $U_i$  матрицы  $U$ .

Для формулировки достаточного условия обеспечения непротиворечивости данных и знаний и принятия решения, устойчивого к числу  $t$  ошибок измерения, воспользуемся матрицей импликаций, построенной на основе рассмотрения пар образов и обозначаемой далее также через  $U$ .

**Следствие 1.** Замена в утверждении теоремы 1 анализа каждой пары объектов из разных классов при фиксированном механизме классификации на анализ каждой пары объектов из разных образов (образ - образ, объект - образ, объект - объект) не нарушает её достаточности при построении матрицы импликаций на основе образов.

Обозначим через  $l$  соответствующий столбцу матрицы  $Q$  номер характеристического признака, по которому необходимо обеспечить устойчивость к числу  $t$  ошибок измерений и сформулируем теорему 2.

**Теорема 2.** Для обеспечения непротиворечивости данных и знаний и принятия решения, устойчивого к числу  $t$  ошибок измерения (занесения)  $l$ -го характеристического признака  $z_l$  в матрице  $Q$  для каждой пары объектов из разных классов при фиксированном механизме классификации необходимо и достаточно обеспечение условия  $\Psi(U^l) \leq h$  ( $h = t + 2$ ) для любой строки  $U^l$  матрицы  $U$ , содержащей ненулевое значение  $l$ -го признака.

Аналогично следствию 1, сформулируем следствие 2, обозначив через  $U$  матрицу импликаций, построенную на основе анализа пар образов.

**Следствие 2.** Замена в утверждении теоремы 2 анализа каждой пары объектов из разных классов при фиксированном механизме классификации на анализ каждой пары объектов из разных образов (образ - образ, объект - образ, объект - объект) не

нарушает её достаточности при построении матрицы импликаций на основе образов.

Доказательство теорем приведено в [16].

Для выявления репрезентативности знаний предлагается 2-а способа: логико-комбинаторный с глубокими оптимизирующими преобразованиями и статистический на основе дивергенции информации Кульбака [23]; оценка (на основе дивергенции Кульбака) дополнительного объема обучающих знаний в целях получения надежных выводов [23].

Выбор оптимального подмножества ДТ [24–26] (ББДТ и смешанных ДТ, основанных на оптимальном сочетании безусловных и условных составляющих [27]), используемых при принятии отказоустойчивых решений относится к наиболее важному и трудоёмкому этапу.

Все вышеперечисленные 9 критериев к принятию отказоустойчивых решений, переформулируются (трансформируются) в критерии выбора оптимального подмножества ДТ. Отметим, что критерии 2–9 трансформируются в критерии, соответственно 1–8, представленные в статье [28].

Выбор оптимального подмножества ДТ осуществляется на основе трёх алгоритмов (логико-комбинаторный алгоритм [29], алгоритм на основе метода анализа иерархий [26] и генетический алгоритм [25]), обеспечивающих выполнение этих критериев, и сравнительного анализа результатов, полученных по трём алгоритмам.

Принятие отказоустойчивых решений осуществляется на основе одного из подходов: логико-комбинаторный [5], логико-вероятностный [2, 7, 10, 8] и логико-комбинаторно-вероятностный [22, 6] либо их сочетания.

Отметим, что поскольку нет гарантии получения оптимального решения по всей совокупности критериев, то в результате оптимизации получим субоптимальное решение.

**6 Принятие отказоустойчивых решений, основанное на сочетании логико-вероятностного и логико-комбинаторно-вероятностного методов**

### 6.1 Логико-вероятностное принятие решений

Логико-вероятностный метод [2, 7, 10, 20] основан на отнесении исследуемого (предъявленного) объекта (ситуации) к одному из непересекающихся классов, представленных системой булевых функций  $(f_1, f_2, \dots, f_m)$  в ДНФ. При этом описание объекта задается конъюнкцией (в общем виде - булевой функцией в виде ДНФ) и предполагается, что значения части признаков (переменных) известны с некоторой вероятностью. В данном подходе заключение о принятии решения носит вероятностный характер и возникает проблема вычисления этих вероятностей.

Обозначим через  $z$  конъюнкцию, задающую описание исследуемого объекта.

Представим каждую функцию  $f_i$  дизъюнкцией двух функций  $f_i = f_i' + f_i''$ , где  $f_i'$  - функция, подлежащая ортогонализации, т.е. функция, любые конъюнкции которой не ортогональны конъюнкции  $z$ , а  $f_i''$  - функция, все конъюнкции которой ортогональны конъюнкции  $z$ .

Напомним, что две конъюнкции  $k_1$  и  $k_2$  ортогональны, если  $k_1 \wedge k_2 = 0$ , т.е. соответствующие им интервалы не пересекаются. ДНФ ортогональна, если все её конъюнкции попарно ортогональны.

Будем говорить, что булева функция  $g = g_1 \vee g_2$ , частично имплицирует функцию  $f$ , если  $M_{g_1} \subseteq M_f$  и  $M_{g_2} \cap M_f = \emptyset$  ( $M_h$  - множество единичных значений функции  $h$ , а  $h \in \{g_1, g_2, g, f\}$ ), и величину  $r_g^f = \frac{|M_{g_1}|}{|M_g|}$  назовем степенью импликации.

Величину  $P_g^f$ , вычисленную путем подстановки заданных вероятностей значений признаков в ортогонализированную часть функции  $f$  и замены операций конъюнкций и дизъюнкций на соответствующие арифметические операции умножения и сложения, назовем частичной импликацией.

Величина  $r_g^f$  совпадает с вероятностью  $P_g^f$  принятия решений по представленному функцией  $f$  классу, если не заданы вероятности значений



признаков исследуемого объекта, заданного функцией  $g$ .

Предлагаемый логико-вероятностный метод вычисления вероятности принятия решений основан на следующей теореме.

**Теорема 3.** *Для вычисления вероятности принятия решений по  $i$ -му классу (образу) необходимо и достаточно ортогонализировать ту часть функции  $f_i$ , конъюнкции которой не ортогональны конъюнкции, задающей описание исследуемого объекта.*

Необходимость ортогонализации функции  $f_i'$  следует из того, что, в противном случае, при подстановке в функцию  $f_i'$  вероятностей признаков, задающих исследуемый объект, и замене операций логического умножения (конъюнкции) и сложения (дизъюнкции) аналогичными арифметическими операциями получим завышенную вероятность принятия решения из-за пересечения конъюнкций в функции  $f_i'$ .

Достаточность следует из того, что конъюнкция  $z$  ортогональна функции  $f_i''$ , а, следовательно, нет необходимости её ортогонализировать, так как при подстановке в функцию  $f_i''$  вероятностей признаков, задающих исследуемый объект, описываемый конъюнкцией  $z$ , и замене операций конъюнкции и дизъюнкции аналогичными арифметическими операциями, получим величину, равную 0, т.е. ту же самую, что и при ортогонализации функции  $f_i''$ .

Пусть исследуемый объект описан булевой функцией  $g$ , представленной в ОДНФ. Обобщим теорему на случай описания объекта булевой функцией  $g$ .

**Лемма.** *Для вычисления вероятности принятия решений по  $i$ -му классу (образу) необходимо и достаточно ортогонализировать ту часть функции  $f_i$ , конъюнкции которой не ортогональны булевой функции  $g$ , представленной в ОДНФ и задающей описание исследуемого объекта.*

Доказательство леммы не представляет сложности и следует из доказательства теоремы.

Таким образом, ортогонализация системы булевых функций по функции  $g$  (конъюнкции  $z$ ), приводящая к частичной ортогонализации системы булевых функций, позволяет сократить переборные процессы за счет исключения процедуры ортогонализации для частей функций, ортогональных функции  $g$  (конъюнкции  $z$ ). Кроме того, сокращение переборных процессов при ортогонализации достигается путём упорядочивания переменных (по весовым коэффициентам) и конъюнкций (по рангам и значимости), по которым проводится ортогонализация.

**Постановка задачи.** *По каждому отказоустойчивому ДТ из оптимального подмножества ДТ необходимо построить правило принятия отказоустойчивого решения об отнесении исследуемого объекта, описание которого представлено конъюнкцией (булевой функцией в ДНФ), и вычислить вероятность принятия отказоустойчивого решения при заданных значениях вероятностей указанных признаков.*

Алгоритм вычисления вероятности принятия решения по  $i$ -му классу (образу) состоит из следующих шагов:

- 1) выделение функции  $f_i'$ ;
- 2) упорядочивание конъюнкций функции  $f_i'$  по возрастанию ранга конъюнкций;
- 3) упорядочивание переменных (признаков) в конъюнкциях по невозрастанию весовых коэффициентов признаков;
- 4) упорядочивание конъюнкций по невозрастанию их весовых коэффициентов (значимости конъюнкции в принятии решений);
- 5) ортогонализация функции  $f_i'$ ;
- 6) вычисление частичной импликации или степени импликации (если не заданы вероятности значений признаков).

Приведём иллюстративный пример, реализующий шаг 6 алгоритма. Пусть принятие решений основано



$$P_3^1 = \frac{3}{4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{7}{8} + \frac{3}{4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{7}{8} = \frac{52}{64} = \frac{13}{16}$$

$$P_3^2 = \frac{3}{4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} = \frac{3}{64} \quad P_3^3 = \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$$

Таким образом, вероятность принятия решений по 1-3-му классам (образам) при предъявлении 1-го объекта, представленного вектором  $u_1^1$ , равна

соответственно  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{8}$  и совпадает с введенной

выше степенью импликации. Данное решение наглядно иллюстрируется вышеприведенной картой Карно. Величины по каждому из 3-х классов частичной импликации, полученные при подстановке описания 2-го (3-го) объекта ( $u_2^2$  ( $u_3^3$ )), в частично ортогонализированную систему булевых

функций равны  $P_2^1 = \frac{3}{8}$ ,  $P_2^2 = \frac{1}{16}$ ,  $P_2^3 = \frac{3}{16}$  ( $P_3^1 = \frac{13}{16}$ ,

$$P_3^2 = \frac{3}{64}, P_3^3 = \frac{1}{64}).$$

## 6.2 Логико-комбинаторно-вероятностное принятие решений

Как указывалось выше, описание исследуемого объекта задается конъюнкцией  $z$  в оптимизированном пространстве признаков размерности  $m'$  ( $m' < m$ , а  $m$  – число характеристических признаков в исходной матрице  $Q$ ) и  $m'$  – компонентный вектор  $P_x$ , компоненты которого задают вероятности  $P_x^i$  значений признаков, где  $i \in \{1, 2, \dots, m'\}$ .

Логико-комбинаторно-вероятностное принятие отказоустойчивых решений осуществляется на основе оптимального подмножества отказоустойчивых тестов, по каждому из которых строится правило принятия решения, и формул для вычисления коэффициентов внутриклассового сходства  $S_k$  [9] и формулы для вычисления коэффициента сходства  $V_k^x$  исследуемого объекта  $x$  к  $k$ -му классу (образу) [6], имеющему вид:

$$V_k^x = \frac{\sum_{i=1}^{\sigma_k} \sum_{r \in M_{0,i}} (t_{xi}^r P_x^r + \bar{t}_{xi}^r (1 - P_x^r)) 2^{d_i^- + d_x^-} + \sum_{i=1}^{\sigma_k} d_{xi}^- 2^{d_i^- + d_x^- - 1}}{m \sum_{i=1}^{\sigma_k} 2^{d_i^- + d_x^-}}$$

где  $M_{0,i} = M_0 \cup M_i$ , где  $M_0$  ( $M_i$ ) – множество номеров

характеристических признаков, принимающих значение 0 (1) в описании объекта  $x$ ;  $\sigma_k$  – число объектов в  $k$ -м образе ( $k=1, \dots, n$ );  $d_i^-$  – число признаков, принимающих значение “-” в описании  $i$ -го объекта, принадлежащего  $k$ -му образу;  $d_x^-$  – число признаков, принимающих значение “-” в описании исследуемого объекта  $x$ ;  $t_{xi}^r$  – значение  $r$ -й компоненты совпадающих определенных значений признаков (принимающих значение 1 или 0) в описаниях  $i$ -го объекта и объекта  $x$ ;  $d_{xi}^-$  – число признаков, принимающих значение “-” хотя бы в одном из описаний объекта ( $i$ -ом объекте и/или объекте  $x$ ).

Формула для вычисления условной степени близости исследуемого объекта к  $k$ -му классу (образу) имеет вид:  $G_k = V_k^x / S_k$  [6].

## 6.3 Основанное на логико-вероятностном и логико-комбинаторно-вероятностном методах принятие итогового отказоустойчивого решения

Принятие итогового отказоустойчивого решения с использованием процедуры голосования сводится к следующим процедурам:

1. Вычисление вероятности принятия отказоустойчивого решения по каждому классу (образу) для каждого из правил принятия решений, число которых равно мощности оптимального подмножества отказоустойчивых тестов для логико-вероятностного метода.
2. Вычисление усредненного значения вероятности принятия отказоустойчивого решения по каждому из классов (образов) для логико-вероятностного метода.
3. Выполнение для логико-комбинаторно-вероятностного метода процедур, аналогичных процедурам 1,2.
4. Вычисление усредненного значения вероятности принятия отказоустойчивого решения по каждому из классов (образов) по обоим методам (логико-вероятностному и логико-комбинаторно-вероятностному).
5. Принятие итогового решения о принадлежности исследуемого объекта тому классу (образу),

вероятность принятия отказоустойчивого решения по которому больше.

6. Принятие итогового решения о принадлежности исследуемого объекта нескольким классам (образам) при одинаковых (близких) наибольших значениях вероятностей для для классов (образов).

Процедуры 2-4, связанные с голосованием на множестве правил принятия отказоустойчивых решений, повышают точность принимаемого решения по логико-вероятностному и логико-комбинаторно-вероятностному методам, а процедура 5 повышает не только точность, но и достоверность итогового решения. Отметим, что цель применения процедур 2-5 аналогична применению процедуры голосования, используемой в исследованиях Дж. Неймана и К. Шеннона в области теории автоматов, связанных с проблемами синтеза надёжных машин из ненадёжных элементов [30, 31].

Для проблемной области медицины чрезвычайных ситуаций факт принятия решения о принадлежности нескольким классам (образам) может интерпретироваться как наличие сочетаний заболеваний.

## 7 Итоги и выводы

Развиты теоретические основы построения оптимального подмножества отказоустойчивых диагностических тестов, на основе которых осуществляется принятие отказоустойчивых решений в ситуациях, когда значение некоторых характеристических признаков исследуемого объекта известно с некоторой степенью уверенности (вероятности).

Предложено основанное на сочетании логико-вероятностного и логико-комбинаторно-вероятностного методов принятие отказоустойчивых решений для интеллектуальных систем, основанных на тестовых методах распознавания образов.

Предложенные методы значительно уменьшают избыточность правил принятия отказоустойчивых решений при увеличении устойчивости принимаемых решений к ошибкам измерения значений характеристических признаков.

Процедура голосования на оптимальном подмножестве отказоустойчивых диагностических тестов, на основе которых принимаются решения по логико-вероятностному и логико-комбинаторно-вероятностному методам повышает точность принятия итоговых решений по каждому из методов.

Сочетание логико-вероятностного и логико-комбинаторно-вероятностного методов при принятии отказоустойчивых решений позволяет получить синергетический эффект, что повышает достоверность принятия итоговых решений.

Логико-вероятностный и логико-комбинаторно-вероятностный методы особенно целесообразны при решении задач моделирования, поскольку задавая разные вероятностные значения переменных (признаков), можно промоделировать различные ситуации, что особенно важно в условиях чрезвычайных ситуаций.

Основанное на логико-вероятностном и логико-комбинаторно-вероятностном методах принятие отказоустойчивых решений в интеллектуальных системах весьма полезно при решении диагностических задач, связанных с необходимостью просчёта вероятностей проявления различных диагнозов.

Дальнейшее развитие данного исследования связано с созданием недостающих программных модулей для ИИС ИМСЛОГ [32], предназначенного для конструирования прикладных интеллектуальных систем, основанных на тестовых методах распознавания образов, а также с решением практических задач.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-01-00462-а) и частично РГНФ (проект № 10-06-64604а).

## Литература

[1] Янковская А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики в комплексе интеллектуальных систем: диссертация ... доктора технических наук в форме научного доклада: 05.13.18. – Томск, 2001. – 85 с.: ил. РГБ ОД, 71 02-5/211-1

- [2] 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. Избранные доклады Международной конференции. Том 1. Математика. – Томск: изд-во ТГУ, 1997. – С. 225-231.
- [3] Янковская А.Е. Логико-комбинаторно-вероятностный вывод в интеллектуальной системе// Труды VIII Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2002). Т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – С. 364-372.
- [4] Янковская А.Е. Функции различения при анализе БЗ интеллектуальных систем с матричным представлением знаний// Искусственный интеллект-90. Тез. докладов II Всесоюзной конференции. Том 1. – Минск, 1990. – С. 102-105.
- [5] Янковская А.Е. Принятие решений, устойчивых к ошибкам измерения значений признаков в интеллектуальных системах/ Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009). Материалы X Международной научно-технической конференции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 127-130.
- [6] Янковская А.Е., Пуспешева С.И. Подсистема логико-комбинаторно-вероятностного вывода в интеллектуальном инструментальном средстве ИМСЛОГ-2002// Научная сессия МИФИ-2003. Сборник научных трудов. Т. 3. Интеллектуальные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2003. – С. 118-120.
- [7] Янковская А.Е. Принятие решений в интеллектуальных распознающих тестовых системах на основе частичной ортогонализации булевых функций// Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур. Доклады II Всероссийской конференции. – Екатеринбург, 1998. – С. 224-230.
- [8] Янковская А.Е., Гергет О.М. Интеллектуальная подсистема логико-вероятностного распознавания с размытием образов// Информационные системы и технологии (ИСТ-2000). Труды Международной конференции. Том 3. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2000. – С. 548-551.
- [9] 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. – pp. 60-61.
- [10] Yankovskaya A.E., Matrosova A.Yu., Strizhov M.A. The Logical Probabilistic System of Pattern Recognition// Proceedings of the Pattern Recognition and Image Understanding. 5th Open German-Russian Workshop. – Germany, Herrshing, 1999. – pp. 298-305.
- [11] Yankovskaya A.E., Il'inskikh N.N. On the Question of the Development and Application of Intelligent Biomedical Systems// Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, No. 3. – Pp. 470-472.
- [12] Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений// Искусственный интеллект в 3-х кн. Кн 2. Модели и методы: Спр. / Под ред. Д.А. Поспелова. М: Радио и связь. – 1990. – С. 149-191.
- [13] Данцин Е.Я., Нейман В.С. Знания и вывод в системе ЛАПЛАС// Искусственный интеллект -90. Секционные и стендовые доклады II Всесоюзной конференции. Т. 3. – Минск, 1990. – С. 167-170.
- [14] Shortliff E.N. Computer-Based Medical Consultations: MYCIN. – N.Y.: Elsevier, 1976.
- [15] Данцин Е.Я., Нейман В.С. Знания и вывод в системе ЛАПЛАС// Искусственный интеллект -90. Секционные и стендовые доклады II Всесоюзной конференции. Т. 3. – Минск, 1990. – С. 167-170.
- [16] Янковская А.Е. Принятие субоптимальных решений в интеллектуальных системах, основанных на тестовых методах распознавания образов // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (20-24 сентября 2010 г., г. Тверь, Россия): Труды конференции. Т. 3. – М.:Физматлит, 2010. – С. 170-178.
- [17] Янковская А.Е., Китлер С.В. Интеллектуальная подсистема построения отказоустойчивых диагностических тестов в пространстве k-значных признаков // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'10». Научное издание в 4-х томах. – Москва: Физматлит, 2010 – Т.3. – С. 343 - 350.
- [18] Янковская А.Е., Китлер С.В. Интеллектуальная система ускоренного построения k-значных отказоустойчивых диагностических тестов // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (20-24 сентября 2010 г., г. Тверь, Россия): Труды конференции. Т. 4. – М.:Физматлит, 2010. – С. 72-80.
- [19] Янковская А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики в интеллектуальной системе// Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур. Доклады 3-ей Всероссийской

конф. с международным участием. – Томск: изд-во СО РАН, 2000. – С. 163-168.

[20] Матросова А.Ю., Янковская А.Е. Логико-вероятностные методы в распознавании образов// Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии (РОАИ-3-97). Труды 3-ей Всероссийской с участием стран СНГ конференции. Ч. I. – Нижний Новгород, 1997. – С. 52-56.

[21] Гергет О.М., Янковская А.Е. Подсистема принятия решений, основанная на логико-вероятностном тестовом распознавании образов// Труды VII Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2000). Том 2. – Москва: Наука. Физматлит, 2000. – С. 663-772.

[22] Yankovskaya A.E. Logic-Combinational Probabilistic Recognition Algorithms// Pattern Recognition and Image Analysis. – 2001. – Vol. 11, No. 1. – pp. 123-126.

[23] 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 Всероссийской конференции. – Москва, 1999. – С. 108-111.

[24] Yankovskaya A.E., Mozheiko V.I. Optimization of a set of tests selection satisfying the criteria prescribed// 7th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-7-2004). Conference Proceedings. Vol. I. – St. Petersburg: SPbETU 2004. – P. 145-148.

[25] Yankovskaya A.E., Tsoy Y.R. Selection of Optimal Set of Diagnostic Tests with Use of Evolutionary Approach in Intelligent Systems// New Dimensions in Fuzzy Logic and Related Technologies. Proc. of the 5th EUSFLAT Conf. – Vol. 2. – Ostrava, Czech Republic: Univ. Ostraviensis, 2007. – pp. 267-270.

[26] Колесникова С.И., Янковская А.Е. Выбор оптимального подмножества тестов с применением редукции многокритериального выбора и метода анализа иерархий// Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2009). Труды Третьей Международной конференции. – Москва, 2009. – С. 278-284.

[27] Yankovskaya A.E. Design of Optimal Mixed Diagnostic Test With Reference to the Problems of Evolutionary Computation// Proceedings of the First International Conference on Evolutionary Computation and Its Applications (EVCA'96). – Moscow, 1996. – pp. 292-297.

[28] Янковская А.Е. Редукция многокритериального выбора оптимального подмножества тестов в интеллектуальных системах// Прикладная дискретная математика. – 2009. – № 1(1). – С. 214-216.

[29] Янковская А.Е. Петелин А.Е. Ускоренный многокритериальный выбор оптимального подмножества диагностических тестов// Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2009). Труды Третьей Международной конференции. – Москва, 2009. – С. 366-373.

[30] J. von Neumann Probabilistic logic and synthesis of reliable organisms from unreliable components// Automata Studies/ edited by C. Shannon and J. McCarthy Princeton University Press, 1956. (Русский перевод: Автоматы. Москва: ИЛ. – 1956. – С. 68-139).

[31] Shannon C., Von Neumann's contributions to automata theory// Bulletin of the American Mathematical Society, – V. 64, № 2. – 1958. – 123p.

[32] Yankovskaya A.E., Gedike A.I., Ametov R.V., Bleikher A.M. IMSLOG-2002 Software Tool for Supporting Information Technologies of Test Pattern Recognition// Pattern Recognition and Image Analysis. – 2003. – Vol. 13. – No. 2. – pp. 243-246.

*XIV ЭМ'2010*

*Т р у д ы*

*XIV международной конференции  
по эвентологической математике  
и смежным вопросам*

*Под редакцией Олега Воробьёва*

Отпечатано с готовых оригинал-макетов  
Подписано в печать 06.12.2010 г. Формат 60 x 84/8

Бумага офсетная. Печать плоская.

Усл.-печ. л. 16.27 Уч.-изд. -л. 23.63

Тираж 150 экз. Заказ **496**

Отпечатано в типографии ООО «Поликом»  
Лицензия: серия ИД № 06019 от 09.10.2001 г.  
660093, г. Красноярск, ул. Академика Вавилова, 1, стр. 51, оф. 4-3  
Тел.: (391) 285-85-17, тел/факс: (391) 276-80-10  
E-mail: [pkpolikom@mail.ru](mailto:pkpolikom@mail.ru)