

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
проф. Л. Ф. ПОРФИРЬЕВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Доц. А. К. АЗОВ (зам. главного редактора), проф. М. А. ВОЛОВИК,
проф. В. В. ГРИГОРЬЕВ, проф. И. П. ГУРОВ, проф. В. В. ЕФИМОВ,
проф. Т. А. ИСМАИЛОВ, проф. В. П. ЛАРИН, проф. В. О. НИКИФОРОВ,
проф. А. А. ОЖИГАНОВ, проф. Э. Д. ПАНКОВ, проф. В. А. ПОДЧУКАЕВ,
проф. Д. В. ПУЗАНКОВ, проф. К. А. ПУПКОВ,
проф. В. Я. РАСПОПОВ, проф. Ю. Г. РОСТОВЦЕВ, проф. Л. А. СЕВЕРОВ,
проф. Б. В. СОКОЛОВ, проф. С. А. СУХОПАРОВ, проф. В. С. ТИТОВ,
доц. В. С. ТОМАСОВ, проф., чл.-кор. РАН И. Б. ФЕДОРОВ,
доц. Н. Б. ФИЛИМОНОВ (зам. главного редактора), проф. В. Б. ШЛИШЕВСКИЙ,
проф. Н. Р. ЮСУПБЕКОВ, проф. А. С. ЮЩЕНКО, проф. Н. А. ЯРЫШЕВ*

Ответственный секретарь *М. В. ВОЛКОВА*

Редактор *И. М. ИГОШИНА*

Набор, верстка: *М. В. ГЕРАСИМОВА*

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, СПбГУ ИТМО

Телефон: (812) 232-02-95

Факс: (812) 232-23-07

[http:// www.ifmo.ru/pribor](http://www.ifmo.ru/pribor)

E-mail: akazov@mail.ifmo.ru

Подписано в печать 14.06.2006 г. Тираж 270 экз. Заказ № 7 р

Отпечатано в типографии ООО „А-принт“

Адрес: 197061, Санкт-Петербург, ул. Б. Монетная, 16. Тел. (812) 336-50-08

© „Известия вузов. Приборостроение“, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Устинов А. А. Стохастическое фрактальное кодирование изображений на основе суммарных сжимающих отображений	3
Якимов В. Л. Прогнозирование параметров технического состояния стартового комплекса с использованием нейронных сетей	7
Елисеев А. В. Синтез линейного фильтра для жестких стохастических систем	11
Каргу Д. Л. Система оперативного обнаружения объектов в экстремальных ситуациях	16
Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И. Синтез согласованных оценок истинности утверждений в интеллектуальных информационных системах	20

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ершова Н. Ю. Проектирование микропроцессорных систем на базе микроконтроллеров MCS-96	27
Рукуйжа Е. В., Ушаков А. В. Дивидендное декодирование укороченных циклических кодов	31

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ И НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Рыбаков В. И., Фоминов И. В. Инерциальный блок измерения абсолютной угловой скорости космического аппарата	37
--	----

ПРИБОРЫ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

Леньков С. В. Актуаторы пружинного типа на основе магнитоупругого эффекта Видемана	44
Мусалимов В. М., Петрищев М. С., Чан Нгок Чау. Моделирование динамики нелинейных маятников на вибрирующем основании	48

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Конников И. А. Расчет индуктивности прямоугольного печатного проводника	52
Зинин М. М. К синтезу активных мостовых цепей	57
Знатдинов С. И. Динамические характеристики системы автоматического регулирования с узкополосными сглаживающими цепями	60

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Шехонин А. А., Домненко В. М., Гаврилина О. А. Информационная модель оптической системы на этапе функционального проектирования	63
Ибрагимов Б. Г. Эффективность функционирования систем передачи оптических сигналов	67

РЕФЕРАТЫ	71
----------------	----

можно использовать как аппаратные средства (программаторы STK-500, STK-50, ICE50, AS2), так и программные (AVR Studio, ICC AVR, System Designer).

На основании изложенного можно сделать вывод, что использование предложенного метода и практических решений позволяет повысить оперативность и эффективность аварийных и поисково-спасательных работ в экстремальных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каргу Д. Л. Процедура направленного поиска сложных сигналов акустоэлектронным конвольвером // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. Т. 46, № 8. С. 3—8.
2. Устройство передачи навигационной информации / Д. Л. Каргу. Заявка на изобретение № 2004123693 от 02.08.04.
3. Беньковский З., Липикский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М.: Радиосвязь, 1983.
4. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств „Tiny“ и „Mega“ фирмы ATMEL. М.: Изд. дом „Додэка-XXI“, 2004.

Рекомендована кафедрой
систем космической связи

Поступила в редакцию
07.09.05 г.

УДК 683.1

А. Л. ТУЛУПЬЕВ, А. В. СИРОТКИН

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

С. И. НИКОЛЕНКО

Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова РАН

СИНТЕЗ СОГЛАСОВАННЫХ ОЦЕНОК ИСТИННОСТИ УТВЕРЖДЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Рассматривается один из подходов к построению интегрированных систем знаний о неточных вероятностях — алгебраические байесовские сети. Они строятся из фрагментов знаний и позволяют реализовать синтез новых знаний (оценок истинности утверждений) на основе решения серии задач линейного программирования.

Основополагающий вопрос, возникающий при применении современного инструментария и технологий программирования для разработки интеллектуальных информационных систем, — поиск подходящей системы представления неопределенности знаний. Наверное, наиболее известный способ представить знание о некоторой предметной области — это выразить его в виде набора *утверждений*, которые могут быть либо истинны, либо ложны. Вывод новых утверждений из такого набора описывает пропозициональная логика [1, 2].

Вместе с тем, не всегда возможно категорично установить, что утверждение есть „ложь“ или „истина“. При работе с экспертами или иными источниками сведений о предметной области зачастую оказывается доступной лишь *степень уверенности* в том или ином утверждении. Она выражает *неопределенность* знания об истинности утверждения; чтобы учесть и определить степень уверенности, требуется ее измерить, т.е. отобразить в некоторую шкалу. О результате измерений степени уверенности говорят как о *мере истинности* соответствующего утверждения.

Среди количественных мер истинности выделяют следующие классы: меры доверия и правдоподобия, меры необходимости и возможности, нечеткие меры, а также вероятностная мера. В настоящей статье будет использоваться именно вероятностная мера истинности утверждения. О конкретном значении вероятностной меры истинности некоторого утверждения говорят как о *вероятности истинности утверждения* или еще проще — как о *вероятности утверждения*.

Само высказывание о степени доверия к утверждению тоже может нести неопределенность; в рамках вероятностного подхода такую неопределенность представляют в виде *интервальной оценки вероятности* (неточной вероятности).

Оценка вероятности утверждения, состоящего из нескольких других утверждений-компонентов, характеризует как степень уверенности в нем самом, так и тесноту связи или зависимости между его компонентами. Обычно сложные высказывания о предметной области и „правила“, действующие в ней, связывают небольшое число утверждений, но зато связи между ними могут быть охарактеризованы более детально и всесторонне. Фактически подобный набор утверждений с подробной характеристикой взаимозависимостей между ними образует *фрагмент знаний* (knowledge pattern, ФЗ); совокупность связанных фрагментов знаний может быть рассмотрена как *база фрагментов знаний* с неопределенностью.

Цель настоящей статьи — сначала описать математическую модель фрагмента знаний на основе рассмотрения совместных вероятностей утверждений, затем описать модель базы фрагментов знаний и, наконец, привести алгоритмы синтеза новых оценок истинности в рамках указанных моделей.

Наиболее хорошо разработанный аппарат представления и обработки знаний о вероятностях истинности — это аппарат *байесовских сетей доверия* (БСД) [3, 4]. Однако этот аппарат плохо приспособлен к ситуации, когда встречаются неточные вероятности (imprecise probabilities, фактически — интервальные оценки вероятностей), так как он по определению описывает единственное распределение вероятностей, а неточные вероятности в общем случае предполагают работу с семейством распределений. Появление неточных вероятностей может быть связано с невозможностью оценить вероятность одним значением, погрешностью измерения или качественным характером суждений.

Альтернативой БСД является аппарат построения интегрированных систем знаний (ИнСЗ) при помощи *идеалов* [5] цепочек конъюнкций с неточной вероятностью (система формальных определений приведена ниже). Такие ИнСЗ называются *алгебраическими байесовскими сетями* (АБС), основы их теории были заложены в работах В. И. Городецкого и его учеников [6—8]. Аппарат АБС, а также синтез согласованных оценок истинности в алгебраической байесовской сети, т.е. процесс *поддержания непротиворечивости и априорный вывод* (вывод априорных оценок вероятностей), будут рассмотрены далее.

Для удобства дальнейшего изложения введем систему обозначений и терминов, заимствованных из нескольких отраслей математики, а также опишем некоторые соглашения, позволяющие сократить запись формул.

Набор простейших утверждений о предметной области рассмотрим как множество *атомарных пропозициональных формул* $A = \{x_1, \dots, x_n\}$. Атомарная формула соответствует простейшему утверждению. Из атомарных формул будем строить более сложные пропозициональные формулы, которые соответствуют „сложным“ или „составным“ утверждениям о предметной области. Пропозициональные формулы строятся по определенным правилам из поднаборов атомарных формул, знаков логических операций и скобок [1, 2]. В некоторых случаях необходимо указывать, что в формуле может стоять как атомарная пропозициональная формула, так и ее отрицание. Для этого введем обозначение *аргументного места* (его также иногда называют *литералом*) $\tilde{x}$. Аргументное место может принимать одно из двух

значений: $\tilde{x} \in \{x, \bar{x}\}$, где $x \in A$, а $\bar{x}$ — его логическое отрицание. Набор всех возможных пропозициональных формул над A обозначим $F = F(A)$.

Особую роль в изложении играют конъюнкции пропозициональных формул (они соответствуют союзу „и“ между утверждениями). Конъюнкция пропозициональных формул x и y обозначается $x \wedge y$, но обычно знак операции опускают: xy . Несколько атомарных пропозициональных формул, соединенных конъюнкцией, называются *цепочкой конъюнкций*. Пустая цепочка конъюнкций рассматривается как тождественная истина, а одна атомарная пропозициональная формула или ее отрицание — как цепочка конъюнкций, содержащая один элемент.

Выделяются два особых типа цепочек конъюнкций: *кванты* и *конъюнкты*. *Квант* — цепочка конъюнкций аргументных мест максимальной длины (для заданного множества атомарных пропозициональных формул A). Общий вид кванта — $\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_n$, всего имеется 2^n различных квантов над множеством A , содержащим n атомарных пропозиций. Кванты отличаются друг от друга *означиванием* аргументных мест. Множество всех квантов над A обозначается как $Q = Q(A) = \{\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_n\}$. *Конъюнкт* — это цепочка конъюнкций, состоящая из атомарных пропозициональных формул. Следует заметить, что атомарные формулы с отрицанием по определению не входят в конъюнкты.

Введем функцию $S: F \rightarrow 2^Q$, $S(f) = S_f$, где S_f — множество квантов, участвующих в *совершенной дизъюнктивной нормальной форме* (СДНФ) пропозициональной формулы [1, 2]. Суть этой теоремы заключается в том, что для любой пропозициональной формулы существует набор квантов, и притом единственный, такой, что дизъюнкция (логическое „или“) всех квантов из этого набора тождественна исходной формуле.

Для того чтобы определить вероятность истинности произвольной пропозициональной формулы, воспользуемся подходом Нильссона [9]. Рассмотрим множество $Q(A)$ как *множество элементарных событий* и зададим на нем исходное распределение вероятностей $p^\circ: Q \rightarrow [0; 1]$, такое что

$$\forall q \in Q \quad p^\circ(q) \geq 0 \text{ и } \sum_{q \in Q} p^\circ(q) = 1.$$

Воспользуемся теоремой о СДНФ и доопределим p° до вероятности истинности произвольной пропозициональной формулы следующим образом:

$$\forall f \in F(A) \quad p(f) = \sum_{q \in S(f)} p^\circ(q).$$

Определив вероятности пропозициональных формул, можно перейти к описанию основного объекта исследования. *Идеалом конъюнктов* над заданным множеством атомарных формул $A' = \{x_1, \dots, x_m\} \subseteq A$ назовем множество $C(A') = \{x_{i_1} \dots x_{i_k} \mid 1 \leq i_1 < \dots < i_k \leq m, 1 \leq k \leq m\}$. Оно действительно является идеалом в смысле теории решеток [5, 10]. (Более известным примером идеала является множество всех подмножеств некоторого заданного множества.)

Основной объект анализа в аппарате АБС — *математическая модель фрагмента знаний* — это идеал конъюнктов с заданными оценками их вероятностей. Множество оценок на вероятности конъюнктов из предметной области $p^-(f) \leq p(f) \leq p^+(f)$, где f — конъюнкт из идеала, обозначим через D . Далее по тексту термин *фрагмент знаний* используется в смысле *математическая модель фрагмента знаний*.

$$\tilde{X} = \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \dots \tilde{x}_i \dots \tilde{x}_k, \quad \tilde{Y} = \tilde{y}_1 \tilde{y}_2 \dots \tilde{y}_j \dots \tilde{y}_l, \quad \tilde{Z} = \tilde{z}_1 \tilde{z}_2 \dots \tilde{z}_r \dots \tilde{z}_s.$$

Введем следующую перенумерацию конъюнктов и квантов: $X_i = \bigwedge_{b(i)=1} x_k$,

$$(p(q_0) \quad p(q_1) \quad \dots \quad p(q_m))^T = \mathbf{I}_n (p(X_0) \quad p(X_1) \quad \dots \quad p(X_m))^T,$$
$$\mathbf{I}_n = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_{n-1} & -\mathbf{I}_{n-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_{n-1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{I}_1 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

При таком задании вероятностей условие нормировки, накладываемое на вероятности квантов, выполняется автоматически, а условия $\forall q \in Q \quad p(q) \geq 0$ записываются так: $\mathbf{I}_n(p(X_i))_i \geq \mathbf{0}$. Эти ограничения обозначим E^n .

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ p(x_1) \\ p(x_2) \\ p(x_1 x_2) \end{pmatrix} \geq 0 \quad \text{или} \quad \begin{cases} 1 - p(x_1) - p(x_2) + p(x_1 x_2) \geq 0, \\ p(x_1) - p(x_1 x_2) \geq 0, \\ p(x_2) - p(x_1 x_2) \geq 0, \\ p(x_1 x_2) \geq 0. \end{cases}$$

Распределение $p: C \rightarrow [0; 1]$ считается непротиворечивым, если оно удовлетворяет условиям типа E . Фрагмент знаний (идеал конъюнктов с ограничениями типа D) будем называть непротиворечивым, если выполняется следующее условие: $\forall f \in C \quad \forall t \in [p^-(f); p^+(f)]$ существует распределение вероятностей p такое, что $\forall g \in C \quad p^-(g) \leq p(g) \leq p^+(g)$ и $p(f) = t$. Иначе говоря, какую бы точку мы ни выбрали в одном из интервалов, во всех других интервалах можно выбрать такие точки, что все вместе они образуют распределение, удовлетворяющее вероятностной аксиоматике.

Исходные оценки вероятностей во фрагменте знаний (множество D) могут не соответствовать требованиям его непротиворечивости. В этом случае их надо либо уточнить (согласовать), либо указать, что имеющиеся исходные оценки вообще несовместны. Процесс уточнения границ интервалов с целью получения непротиворечивого фрагмента знаний называют поддержанием непротиворечивости. Оно сводится к решению серии задач линейного программирования [6 – 8]: $p^-(f) = \min_{D \cup E} (p(f))$ и $p^+(f) = \max_{D \cup E} (p(f))$, где $f \in C$.

Имея непротиворечивые оценки конъюнктов, можно оценить вероятность любой пропозициональной формулы f , построенной над множеством атомарных пропозициональных формул, входящих в данный фрагмент знаний. Этот процесс называется *априорным выводом*. Для этого нужно выразить $p(f)$ в виде линейной функции от вероятностей конъюнктов из ФЗ, а затем решить две задачи линейного программирования — минимизировать и максимизировать эту функцию при данных ограничениях $D \cup E$.

Алгебраическая байесовская сеть — это множество фрагментов знаний, как правило, связанных между собой (имеющих общие конъюнкты), которые рассматриваются как единое целое [6]. Рассмотрим четыре степени непротиворечивости АБС:

— *локально непротиворечивой* называют сеть, в которой задание каждого фрагмента знаний непротиворечиво (связи между фрагментами не рассматриваются); таким образом, при поддержании локальной непротиворечивости структура АБС не имеет значения;

— *экстернально непротиворечивой* называют локально непротиворечивую сеть, в которой интервальные оценки вероятностей пропозиций, входящих в два или более фрагментов знаний, совпадают;

— *интернально непротиворечивой* называют экстернально непротиворечивую сеть, в которой при выборе точки из интервальной оценки вероятности любого конъюкта в остальных интервальных оценках можно выбрать такие точки, что получившееся распределение вероятностей непротиворечиво внутри каждого ФЗ; заметим, что здесь требуется не только совпадение оценок вероятностей, но и совпадение самих вероятностей;

— *глобально непротиворечивой* называют сеть, которая может быть погружена в непротиворечивый объемлющий фрагмент знаний; объемлющий фрагмент знаний строится над множеством всех атомарных пропозициональных формул, вошедших в сеть, из нее же в ФЗ переносятся оценки истинности, а затем определяется его непротиворечивость.

Очевидно, что каждая последующая степень непротиворечивости гарантирует выполнение требований предыдущей. Фактически, алгоритмы проверки и поддержания непротиворечивости для каждой из степеней АБС „вытекают“ из данных определений: нужно решать серии задач линейного программирования, которые в зависимости от исследуемой степени разнятся. Основным смыслом введения различных степеней непротиворечивости заключается в том, что их вычислительная сложность увеличивается от локальной к глобальной.

Оказывается, при отсутствии циклов фрагментов знаний в АБС требования глобальной и интернальной непротиворечивости ведут к одинаковым результатам процесса поддержания непротиворечивости, но для циклических АБС эти уровни непротиворечивости, как правило, различаются [8].

Приводимый ниже пример показывает, что экстернальная и интернальная непротиворечивость также разнятся. Рассмотрим два фрагмента знаний $C(\{t, x, y\})$ и $C(\{x, y, z\})$, пересекающиеся по $C(\{x, y\})$. Тогда АБС со следующими оценками на конъюнкты:

$$\left. \begin{aligned} 0,8 \leq p(x) \leq 1,0; p(y) = 0,6; 0,4 \leq p(xy) \leq 0,6; p(t) = 0,4; \\ p(tx) = 0,4; p(ty) = 0; p(txy) = 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 0,8 \leq p(x) \leq 1,0; p(y) = 0,6; 0,4 \leq p(xy) \leq 0,6; 0,5 \leq p(z) \leq 0,7; \\ p(xz) = 0,5; p(yz) = 0,5; 0,4 \leq p(txy) \leq 0,5, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

будет экстернально непротиворечива, но не будет интернально непротиворечива. Здесь наборы формул (1) и (2) соответствуют фрагментам знаний. При этом каждый из фрагментов знаний, взятый в отдельности, непротиворечив, что и обеспечивает экстернальную непротиворечивость. Однако при попытке выполнить требования интернальной непротиворечивости оценка $0,5 \leq p(z) \leq 0,7$ уточняется: $0,5 \leq p(z) \leq 0,6$. Проверка на непротиворечивость осуществлялась с использованием библиотеки линейного программирования, доступной на сайте <www.progdigy.com>.

Априорный вывод в алгебраических байесовских сетях можно проводить по тем же алгоритмам, что и априорный вывод в ФЗ: нужно лишь достроить фрагмент знаний такого порядка, чтобы он содержал все конъюнкты, входящие в линейное представление данной формулы. Однако это зачастую оказывается практически нереализуемым, так как требуемый ФЗ получается слишком большого порядка. Существуют упрощенные алгоритмы, позволяющие получить более грубые оценки, но сделать это за вычислительно приемлемое время. Идея их заключается в том, чтобы последовательно рассматривать ФЗ небольших порядков, „поднимаясь“ от коротких конъюнктов к более длинным. Например, если в сети имеются два ФЗ, построенные над $C_1(\{x_1, x_2\}) = \{x_1, x_2, x_1x_2\}$ и $C_2(\{x_2, x_3\}) = \{x_2, x_3, x_2x_3\}$ соответственно, то для оценки $p(x_1x_2x_3)$ можно сначала провести процесс поддержания непротиворечивости в этих ФЗ, а затем снова рассмотреть ФЗ второго порядка $C_3(\{x_1x_2, x_2x_3\}) = \{x_1x_2, x_2x_3, x_1x_2x_3\}$. Полученная оценка будет, конечно, более грубой, чем при рассмотрении ФЗ третьего порядка, но, возможно, окажется достаточной для практических целей. Подробнее об алгоритмах для некоторых частных случаев „приближенного“ априорного вывода в АБС см. работу [8].

В настоящей статье были рассмотрены проблемы поддержания непротиворечивости и априорного вывода в одном из подходов к построению интегрированных систем знаний о неточных вероятностях, выполненном на примере алгебраических байесовских сетей. Проблемы устойчивости априорного вывода и поддержания непротиворечивости в АБС оставлены без рассмотрения, поскольку в работе [11] представлены последние результаты по этому поводу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов Ю. Л., Палютин Е. А. Математическая логика: Учеб. пособие для вузов. М.: Наука, 1987. 336 с.
2. Новиков П. С. Элементы математической логики. М.: Наука, 1973. 400 с.
3. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. N.Y.: Morgan Kaufmann Publ., 1994. 552 p.
4. Jensen F. V. Bayesian Networks and Decision Graphs. Springer-Verlag, 2002. 268 p.
5. Владимиров Д. А. Теория булевых алгебр. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000. 616 с.
6. Городецкий В. И. Алгебраические байесовские сети — новая парадигма экспертных систем // Юбил. сб. тр. ин-тов Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН. М.: Изд-во РАН, 1993. Т. 2. С. 120—141.

7. Городецкий В. И., Тулупьев А. Л. Формирование непротиворечивых баз знаний с неопределенностью // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 1997. № 5. С. 33—42.
8. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: логико-вероятностный подход к моделированию баз знаний с неопределенностью. СПб.: СПИИРАН, 2000. 282 с.
9. Nilsson N. J. Probabilistic Logic // Artificial Intelligence. 1986. Vol. 28. P. 71—87.
10. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. М.: Мир, 1990. 440 с.
11. Николенко С. И., Сироткин А. В., Тулупьев А. Л. Устойчивость непротиворечивости алгебраических байесовских сетей // Тр. SCM-2005. СПб., 2005. С. 106—110.

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию
18.11.05 г.