КОМПЬЮТЕРНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 681.3: 06.51

О.В. ВЕРЕВКА

ЭПЮРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В НЕЧЕТКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЯХ

Представленные результаты позволяют проводить вероятностно корректное байесовское оценивание на нечетких сетях любой конфигурации. Получены условия согласованности ортогональных проекций нечеткой оценки многомерной вероятности, интерпретируемой как отношение на носителе специального вида, и определен подход к выполнению нечетких сетевых вычислений.

Введение. Привлечение нечеткости является закономерным шагом развития байесовских сетей доверия: вероятностная неопределенность, заложенная в модель сети, естественным образом дополняется размытостью оценок вероятностей взаимосвязей ее вершин, что позволяет точнее представить имеющуюся, обычно весьма приблизительную, информацию об анализируемой ситуации. Естественно, привлечение существенно более сложного типа данных (нечеткие числа вместо обычных) предопределяет, во-первых, возрастание сложности проблем организации сетевых вычислений и, во-вторых, появление целого ряда трудностей, отсутствующих в точечном варианте. К таковым относятся, в частности, разработка новых специальных и адаптация уже существующих алгоритмов для нечетких данных, обеспечивающих вероятностную корректность нечетких вычислений и интерпретируемость результатов, а также выбор целесообразного представления нечеткой информации, допускающего разумную оцифровку взаимосвязей в сети. Предметом настоящей работы являются основные аспекты преодоления последней проблемы.

1. Нечеткие оценки вероятности

Для обеспечения вероятностной корректности на каждом этапе вычислений необходимо определить нечеткую оценку вероятности как нечеткое отношение на носителе специального вида, а соответствующие арифметические операции – как действия с компонентами нечетких отношений [1].

Пусть система находится в одном из N допустимых альтернативных состояний $\{A_n\}_{n=1}^{N}$, образующих полную группу,

$$\sum_{n=1}^{N} P(A_n) = 1. \tag{1}$$

В (N+1)-мерном пространстве значение переменной x_n по оси $0x_n$ соответствует оценке $P(A_n)$, $n = \overline{1, N}$. По оси $0y$ направлены оценки функции принадлежности (ф.п.) $y = \mu'(x_1, x_2,..., x_N)$ конфигурации $(x_1, x_2,..., x_N)$. Тогда нечеткая оценка вероятности $\tilde{P}$ текущей ситуации – это нечеткое N-арное отношение

$$\tilde{P} = \{< x_1, x_2,..., x_N >, \mu'(x_1, x_2,..., x_N)\}, \ \mu' : \underbrace{X \times X \times \ldots \times X}_{(N \text{ множителей})} \rightarrow [0, 1],$$

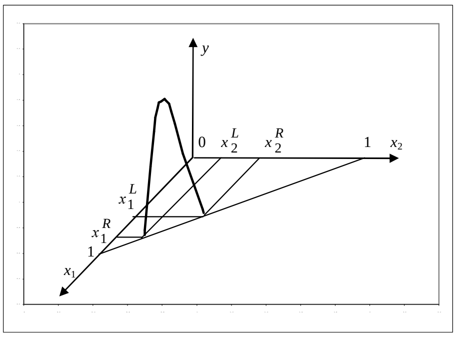
причем носитель ф.п. μ' в декартовой системе координат принадлежит «диагонали» единичного куба $[0, 1]^N$ на гиперплоскости $x_1 + x_2 +...+ x_N = 1$, проходящей через единицы на осях, соответствующих вероятностям каждого из возможных состояний. Содержательная интерпретация: ф.п. $\mu'(x_1, x_2,..., x_N) \in \in [0, 1]$ – это субъективная мера уверенности в возможности варианта $P(A_n) = = x_n$, $n = \overline{1, N}$. Если значение по одному из измерений является четким и известно, например, $P(A_N) = x_N^*$, то остальные значения образуют (N–1)-арное отношение и $\sum_{n=1}^{N-1} P(A_n) = 1 - x_N^*$. Классические четкие вероятности $\{P(A_n)\}_{n=1}^{N}$ актуальности состояний сложной системы можно представить четким сингельтоном $1_{(P(A_1), P(A_2),...,P(A_N))}$ с модой $(P(A_1), P(A_2),..., P(A_N))$ на «диагонали» куба $[0, 1]^N$ в N-мерном пространстве. Нечеткость вероятностей $\{\tilde{P}(A_n)\}_{n=1}^{N}$ означает переход в (N+1)-мерное пространство, т. е. появление дополнительной размерности (y) для значений ф.п. Возможные значения оценок вероятностей являются точками носителя; все вероятностные соотношения касаются исключительно точек носителя и выполняются вследствие специальной формы поверхности, содержащей носитель, независимо от значений ф.п. Размерность задачи можно понизить на единицу (до N – 1 для носителя) с учетом условия (1). Так, бинарную нечеткую оценку $\tilde{P}(A)$ вероятности $P(A)$ удобно рассматривать как нечеткое число: $\mu(x) = \mu'(x, 1 - x)$ соответственно точке носителя $(x, 1 - x)$, а отображение рассматривать как заданное на $X = [0, 1]$ (рис. 1).

Определение ф.п. нечеткой оценки вероятности как оригинальной функции в случае $N > 2$ является весьма нетривиальным. Оно требует, во-первых, корректного оценивания в N-мерном пространстве области носителя, каждая из точек $(x_1, x_2,..., x_N)$ которого должна удовлетворять условию (1), и, во-вторых, определения функции N аргументов $y = \mu'(x_1, x_2,..., x_N) \in [0, 1]$ на точках носителя.

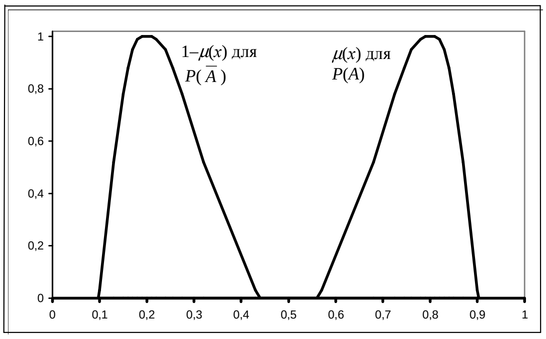
Указанную проблему можно решить конструктивно введением предположения, что нужные нечеткие множества, заданные на декартовом произведении $[0, 1]^N$, совпадают с декартовым произведением N своих ортогональных проекций, т. е. являются пересечением их цилиндрических продолжений. Тогда нечеткая оценка вероятности $\boldsymbol{Q} = \tilde{P}(A)$, представляется множеством нечетких чисел $\{Q_n\}_{n=1}^N$ – теней поверхности ф.п. на плоскости $x_n 0y$, которые должны удовлетворять условиям согласованности, вытекающим из соотношения (1). Принципиально важными являются два следующих замечания:

– поверхность ф.п. однозначно определяет комплект ортогональных плоских проекций; предполагаем, что комплект плоских проекций также однозначно определяет поверхность ф.п. в $(N + 1)$-мерном пространстве;

– алгоритмы нечетких вероятностных расчетов следует создавать с пониманием того, что проекции результатов операций с нечеткими множествами могут отличаться от результатов тех же операций с проекциями данных множеств без учета взаимозависимости компонент нечетких отношений [1].



а



б

РИС. 1. Пример функции принадлежности нечеткой оценки бинарной вероятности

2. Условия согласованности ортогональных проекций ф.п.

Получим условия согласованности ортогональных проекций, используя геометрическую интерпретацию ф.п. для случая $N = 4$, позволяющую легко понимать смысл итоговых соотношений. Приняты следующие обозначения. Использованы верхний индекс L (left) для левой монотонной ветви ф.п. и индекс R (right) для правой ветви, обозначение $S_n(0) = \left(s_n^L(0),\ s_n^R(0)\right)$ для носителя (support) проекции ф.п. на плоскости $x_n 0y$, $S_n(\alpha) = [\,s_n^L(\alpha),\ s_n^R(\alpha)]$ для α – сечения уровня α, $0 < \alpha \le 1$, в частности, $S_n(1)$ для n-й проекции носителя ядра. Пусть отношение $\boldsymbol{Q}$ с проекциями Q_n, $n = \overline{1, N}$ на плоскость $x_n 0y$ представлено множеством $\{S_n(\alpha_k)\}_{k=1}^K$ α_k – сечений для последовательности уровней $\{\alpha_k\}_{k=1}^K$, $\alpha_0 = 0$, $\alpha_K = 1$, $\alpha_{k_1} < \alpha_{k_2}$ при $k_1 < k_2$. Если проекции Q_n являются трапециевидными или треугольными нечеткими числами, достаточно задать границы носителя $s_n^L(0)$, $s_n^R(0)$ и крайние точки ядра $s_n^L(1)$, $s_n^R(1)$, $s_n^L(0) < s_n^L(1) \le s_n^R(1) < s_n^R(0)$.

Рассмотрим проекцию по оси $0x_N$ α – уровня вероятностного отношения $\boldsymbol{Q}$ с $s_n^L = s_n^L(\alpha)$ и $s_n^R = s_n^R(\alpha)$. Весь носитель ф.п. должен располагаться во внутреннем пространстве пирамиды с вершинами в начале координат и единицами на осях [в случае $N = 4$ это точки (0, 0, 0), (1, 0, 0), (0, 1, 0) и (0, 0, 1)]. Проведенные перпендикулярно к оси $0x_n$, $n = \overline{1, N-1}$ через точки s_n^L и s_n^R на оси $0x_n$ гиперплоскости высекают параллелепипед, ограничивающий носитель нечеткого отношения по соответствующим размерностям. Ограничения s_N^L и s_N^R [s_4^L и s_4^R] по оси $0x_N$ [$0x_4$] проектируются в пространство $0x_1...x_{N-1}$ [$0x_1x_2x_3$] фрагментами параллельных гиперплоскостей $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^L$ и $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^R$ [плоскостей $x_1 + x_2 + x_3 = = 1 - s_4^R$ и $x_1 + x_2 + x_3 = 1 - s_4^L$].

На рис. 2 показан пример учета ограничения s_4^L. В данном случае плоскость $x_1 + x_2 + x_3 = 1 - s_4^L$ отсекает от параллелепипеда пирамиду с вершиной в точке (s_1^R, s_2^R, s_3^R). Чтобы значения $\{s_n^L, s_n^R\}_{n=1}^4$ были концами α – уровня отношения $\boldsymbol{Q}$, необходимо, чтобы данная плоскость имела с гранями параллелепипеда в плоскостях $x_1 = s_1^R$, $x_2 = s_2^R$, $x_3 = s_3^R$ хотя бы по одной общей точке, т. е. должны выполняться соотношения: $s_1^R + s_2^R + s_3^R \ge 1 - s_4^L$, $s_1^L + s_2^L + s_3^R \le 1 - s_4^L$, $s_1^L + s_2^R + s_3^L \le 1 - s_4^L$, $s_1^R + s_2^L + s_3^L \le 1 - s_4^L$. Аналогично на гранях параллелепипеда в плоскостях $x_1 = s_1^L$, $x_2 = s_2^L$, $x_3 = s_3^L$ должно присутствовать хотя бы по одной точке плоскости $x_1 + x_2 + x_3 = 1 - s_4^R$. Таким образом, имеем следующие условия согласованности для концов c_n^L, d_n^R, $n = \overline{1,4}$ плоских проекций α – уровня отношения $\boldsymbol{Q}$:

$$
\begin{aligned}
&s_1^L + s_2^L + s_3^L + s_4^R \le 1; &\quad& s_1^R + s_2^R + s_3^R + s_4^L \ge 1;\\
&s_1^L + s_2^L + s_3^R + s_4^L \le 1; && s_1^R + s_2^R + s_3^L + s_4^R \ge 1;\\
&s_1^L + s_2^R + s_3^L + s_4^L \le 1; && s_1^R + s_2^L + s_3^R + s_4^R \ge 1;\\
&s_1^R + s_2^L + s_3^L + s_4^L \le 1; && s_1^L + s_2^R + s_3^R + s_4^R \ge 1.
\end{aligned}
$$

В общем случае вследствие аналогичных рассуждений получаем следующие условия согласованности:

$$
\forall n = \overline{1, N} \qquad \sum_{1 \le k \le N, k \ne n} s_k^L + s_n^R \le 1; \qquad \sum_{1 \le k \le N, k \ne n} s_k^R + s_n^L \ge 1. \tag{2}
$$

В случае линейно заданных «серых зон» выполнение условий (2) достаточно проверить для $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$.

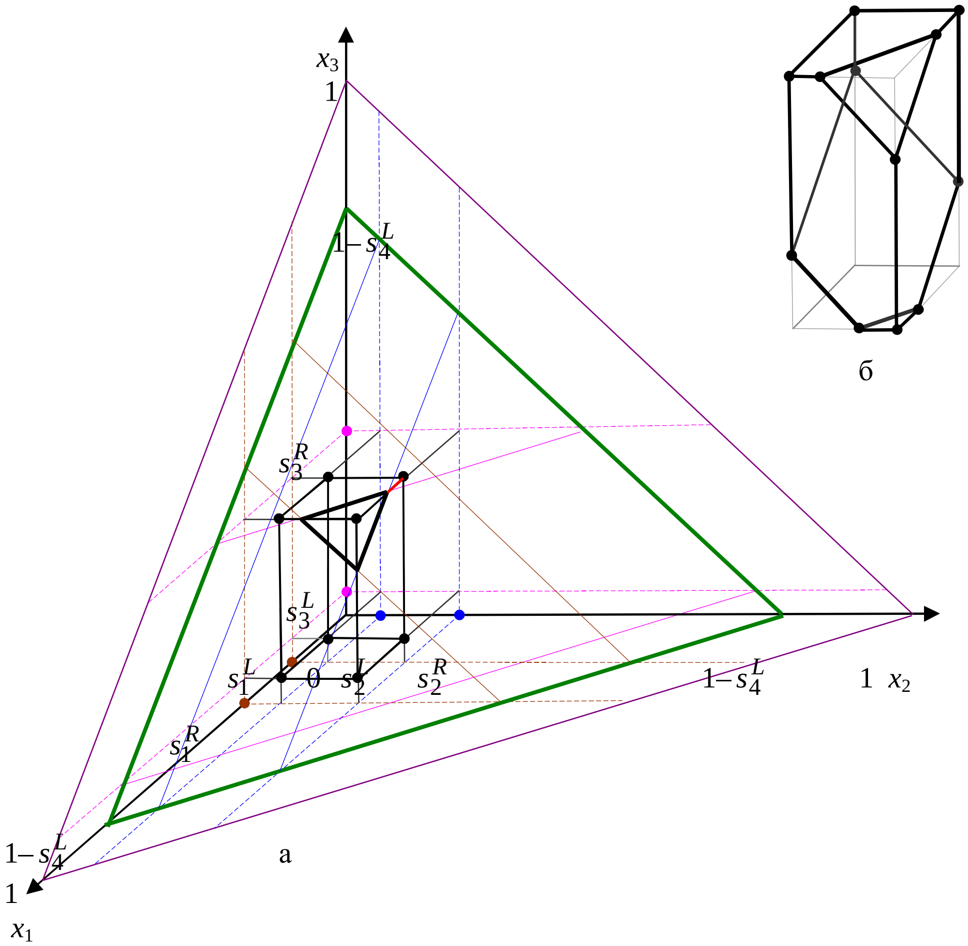


РИС. 2. Построение α – уровня проекции отношения $\boldsymbol{Q}$ по оси $0x_4$

Представление нечеткой оценки многомерной вероятности в виде полного набора ортогональных проекций ф.п., удовлетворяющих условиям согласованности (2), далее будем называть эпюрным (эпюр – от франц. épure – чертеж, на котором пространственная фигура представлена методом ортогональных проекций).

Обозначим $\boldsymbol{S}(\alpha) \in [0, 1]^N$ полученное по проекциям $\{S_n(\alpha)\}_{n=1}^{N}$ α – уровневое множество отношения $\boldsymbol{Q}$. Типичная форма $\boldsymbol{S}(\alpha)$ показана на рис. 2, б ($N = 4$).

3. Подход к сетевому оцениванию по эпюрно представленным данным

Математической основой существующих байесовских сетей являются два вероятностных соотношения – цепная формула (основанная на формулах полной вероятности и умножения вероятностей), а также формула Байеса для пересчета апостериорных оценок. В нечетком случае необходимо также определить правила пересчета нечетких оценок согласно этим соотношениям, причем таким образом, чтобы в четком случае, являющемся вырожденным вариантом нечеткого, принятые определения являлись корректными. В бинарном случае для вероятностных расчетов подходят два следующих определения по Риману на основе принципа обобщения [1, 2]. Элементарную функцию $Y = F(X_1, X_2,\ldots, X_M)$ с ф.п. $M_Y(y)$ от M невзаимодействующих нечетких чисел $\{X_m\}_{m=1}^{M}$ с ф.п. $\{M_{X_m}(x)\}_{m=1}^{M}$ соответственно можно определить соотношениями:

$$M_Y(y) = \max \left\{ \prod_{m=1}^{M} M_{X_m}(x_m) : y = F\left(x_1, x_2, \ldots, x_M\right) \right\} \tag{3}$$

или

$$M_Y(y) = \max \min \left\{ M_{X_m}(x_m), 1 \le m \le M : y = F\left(x_1, x_2, \ldots, x_M\right) \right\}. \tag{4}$$

Неформальные рассуждения по поводу баланса сложности графовой модели сети и задействованного при сетевых расчетах математического аппарата для нечеткой информации и интерпретации полученных окончательных выводов приводят к мысли, что указанные вопросы являются взаимосвязанными. Простота связей графа типа простого бинарного дерева, полученного упрощением зависимостей между вершинами, может быть отчасти скомпенсирована привлечением ф.п. колоколообразного типа и существенно более трудоемкого определения (3), имеющего очевидные вероятностные ассоциации. Подробно бинарные деревья рассмотрены в [3]. При этом сложный многоярусный граф с высокой взаимозависимостью вершин требует значительных и нетривиальных вычислений с привлечением специальных методов трансформаций до кластерных и узловых деревьев. Его логично реализовать на данных относительно простой структуры с нечеткими операциями (4), чтобы не превратить сетевые расчеты в вычислительный кошмар с выводами, точность которых относительна и не соответствует затраченным усилиям. Использование определения функции $F(X)$ нечеткого числа X на основе подхода Лебега,

$$F(X) = \int_0^1 \alpha\, F(S(\alpha)) \quad \text{или} \quad F(X) = \sum_{\alpha} \alpha\, F(S(\alpha)),$$

где $S(\alpha)$ – множество α – уровня нечеткого числа X, предоставляет возможность любых сетевых вычислений с многомерными вероятностными отношениями.

Пусть изучаемая система может находиться в одном из J допустимых альтернативных состояний $\{B_j\}_{j=1}^{J}$, образующих полную группу, соотношения

$\{y_j = = F_j(x_1, x_2,\ldots, x_M)\}_{j=1}^{J}$ корректно (в вероятностном смысле) задают вычисление оценок $\{P(B_j)\}_{j=1}^{J}$ по независимым оценкам M вероятностей $\{x_m\}_{m=1}^{M}$, где $x_m \in R^{N_m}$ определена для $R^{N_m} \geq 2$ допустимых состояний. Предположим, что вместо $\{x_m\}_{m=1}^{M}$ имеется M невзаимодействующих нечетких эпюрных оценок $\{X_m\}_{m=1}^{M}$, т. е заданы M нечетких вероятностных отношений $\{X_m\}_{m=1}^{M}$, причем X_m определено для $R^{N_m} \geq 2$ допустимых состояний и представлено эпюрно для последовательности уровней $\{\alpha_k\}_{k=1}^{K}$. Обозначим $\boldsymbol{S}^m(\alpha) \in R^{N_m}$ множество α – уровня отношения X_m, полученное на основании эпюрного представления Тогда нечеткую оценку вероятности $\{Y_j = F_j(X_1, X_2,\ldots, X_M)\}_{j=1}^{J}$ можно определить множеством ортогональных проекций $\{S_j^*(\alpha) = [s_j^{*L}(\alpha), s_j^{*R}(\alpha)]\}_{j=1}^{J}$, где $s_j^{*L}(\alpha) = \min\{F_j(x_1, x_2,\ldots, x_M), x_m \in \boldsymbol{S}^m(\alpha), 1 \leq m \leq M\}$,

$$s_j^{*R}(\alpha) = \max\{F_j(x_1, x_2,\ldots, x_M), x_m \in \boldsymbol{S}^m(\alpha), 1 \leq m \leq M\}. \tag{5}$$

При выполнении сетевых вычислений необходимо учитывать благоприятные особенности основных соотношений – цепной формулы и формулы Байеса. Первая из них линейна по каждому из аргументов, вторая – дробно-линейна, причем на носителях всех аргументов отсутствуют стационарные или особые точки. Монотонность этих соотношений, наряду с учетом избранного вида ф.п. данных, позволяют свести сложную оптимизационную (по многомерному объему) задачу к поиску минимального и максимального значений конечного дискретного множества значений. Экстремумы достигаются в вершинах многогранников α – сечений априорных оценок. Обозначив $\boldsymbol{V}^m(\alpha)$ множество вершин α – уровня нечеткой оценки вероятностей X_m, перепишем (5) в виде

$$s_j^{*L}(\alpha) = \min\{F_j(x_1, x_2,\ldots, x_M), x_m \in \boldsymbol{V}^m(\alpha), 1 \leq m \leq M\},$$

$$s_j^{*R}(\alpha) = \max\{F_j(x_1, x_2,\ldots, x_M), x_m \in \boldsymbol{V}^m(\alpha), 1 \leq m \leq M\}.$$

4. Определение вершин α-уровней

Теперь получим основные соотношения для координат в пространстве R^N множества $\boldsymbol{V}_S$ вершин многогранника α – уровня нечеткой оценки вероятностей, заданной в эпюрном представлении $\{s_n^L, s_n^R\}_{n=1}^{N}$. При $N = 2$. Имеем 2 точки $(s_n^L, 1 - s_n^L)$ и $(s_n^R, 1 - s_n^R)$. При $N = 3$ из множества $\{(s_1^L, s_2^R, 1 - [s_1^L + s_2^R]),$ $(s_1^L, 1 - [s_1^L + s_3^R], s_3^R)$, $(s_1^R, s_2^L, 1 - [s_1^R + s_2^L])$, $(s_1^R, 1 - [s_1^R + s_3^L], s_3^L)$, $(1 - [s_2^L + s_3^R], s_2^L, s_3^R)$, $(1 - [s_2^R + s_3^L], s_2^R, s_3^L)\}$ при наличии кратных точек убираем повторение. В случае $N > 3$ используем идентификатор $y_n^{L,R}$, когда обозначенная величина может принимать значения y_n^L или y_n^R. Выражение $y_n^{L,R} = z_n^{L,R}$ означает пару равенств $y_n^L = z_n^L$ и $y_n^R = z_n^R$, а $y_n^{L,R} = z_n^{R,L}$ – пару $y_n^L = z_n^R$ и $y_n^R = z_n^L$. Рассмотрим множество $\boldsymbol{V} = \{V_j\}_{j=1}^{2^{N-1}}$ вершин параллелепипеда, образованного в пространстве $0x_1...x_{N-1}$ пересечением плоскостей $x_n = s_n^L$ и $x_n = s_n^R$: $V_j \in \{(s_1^{L,R}, s_2^{L,R},..., s_{N-1}^{L,R})\}$. Вершины $V_j = (y_1, y_2,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}$ и $V_j = (z_1, z_2,..., z_{N-1}) \in \boldsymbol{V}$ – смежные, если $\exists! k$, $1 \le k \le N-1$, что $y_k = s_k^{L,R}$, $z_k = s_k^{R,L}$, и при $1 \le n \le N-1$, $n \ne k$ $y_n = z_n$. Сгруппируем из точек $\boldsymbol{V}$ четыре подмножества:

– $\boldsymbol{V}_{+L}$ и $\boldsymbol{V}_{+R}$ – подмножества вершин многогранника α-уровня, являющиеся вершинами параллелепипеда и точками полосы, ограниченной плоскостями $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^L$ и $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^R$. Если $V = (y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{+L}$, то $1 - s_N^R \le \sum_{n=1}^{N-1} y_n < 1 - s_N^L$; при $V \in \boldsymbol{V}_{+R}$ имеем $1 - s_N^R < \sum_{n=1}^{N-1} y_n \le 1 - s_N^L$;

– $\boldsymbol{V}_{-L}$ – подмножество вершин параллелепипеда, лежащих ниже плоскости $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^R$; для координат вершин $V = (y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{-L}$ $\sum_{n=1}^{N-1} y_n < 1 - s_N^R$;

– $\boldsymbol{V}_{-R}$ – подмножество вершин параллелепипеда, лежащих выше плоскости $\sum_{n=1}^{N-1} x_n = 1 - s_N^L$; для $V = (y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{-R}$ $\sum_{n=1}^{N-1} y_n > 1 - s_N^L$.

Обозначим $\boldsymbol{V}_{-S} := \boldsymbol{V}_{-L} \cup \boldsymbol{V}_{-R}$, $\boldsymbol{V}_{+S} := \boldsymbol{V}_{+L} \cup \boldsymbol{V}_{+R}$.

Исходное наполнение множества $\boldsymbol{V}_S$ получаем следующим образом: каждой вершине $(y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{+S}$ соответствует вершина $(y_1,..., y_{N-1}, 1 - \sum_{n=1}^{N-1} y_n) \in \boldsymbol{V}_S$.

Если $\boldsymbol{V}_{-S} = \varnothing$, имеем искомое множество $\boldsymbol{V}_S$. В противном случае следует учесть также вершины, являющиеся внутренними точками ребер параллелепипеда.

∗) Если $\boldsymbol{V}_{-R} \ne \varnothing$, выберем произвольную вершину $V = (y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{-R}$ и выполним следующее. В цикле по n от 1 до $N-1$ • рассмотрим вершину $Z = (z_1, z_2,..., z_{N-1}) := (y_1,..., y_{N-1})$ и $z_n := s_n^L$. Если $Z \in \boldsymbol{V}_{+L}$, $z_n := 1 - \sum_{1 \le k \le N-1, k \ne n} z_k - s_N^L$, $W := (z_1, z_2,..., z_{N-1}, s_N^L)$; $\boldsymbol{V}_S := \boldsymbol{V}_S \cup W$ • $\boldsymbol{V}_{-R} := \boldsymbol{V}_{-R} \setminus V$. Переход к началу ∗).

$**$) Если $\boldsymbol{V}_{-L} \neq \varnothing$, выберем произвольную вершину $V = (y_1,..., y_{N-1}) \in \boldsymbol{V}_{-L}$ и выполним следующее. В цикле по n от 1 до $N-1$ • Рассмотрим вершину $Z = = (z_1, z_2,..., z_{N-1}) := (y_1,..., y_{N-1})$ и $z_n := s_n^R$. Если $Z \in \boldsymbol{V}_{+R}$, $z_n := 1 - \sum_{1 \le k \le N-1, k \ne n} z_k - s_N^R$, $W := (z_1, z_2,..., z_{N-1}, s_N^R)$; $\boldsymbol{V}_S := \boldsymbol{V}_S \cup W$ • $\boldsymbol{V}_{-R} := \boldsymbol{V}_{-R} \setminus V$. Переход к началу $**$).

Устраняем дублирование вершин. Множество $\boldsymbol{V}_S$ сформировано и содержит от 2^{N-1} до $2^{N-1} + 2\,(N-2)$ точек.

Заключение. Представленные результаты позволяют проводить вероятностно корректное байесовское оценивание на нечетких сетях любой конфигурации. Получены условия согласованности ортогональных проекций нечеткой оценки многомерной вероятности, интерпретируемой как отношение на носителе специального вида, и определен подход к выполнению нечетких сетевых вычислений.

О.В. Верьовка

ЕПЮРНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ У НЕЧІТКИХ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕРЕЖАХ

Представлені результати дозволяють виконувати ймовірнісно коректне байєсівське оцінювання на нечітких мережах довільної конфігурації. Отримано умови узгодженості ортогональних проекцій нечіткої оцінки багатовимірної ймовірності, яку інтерпретовано як відношення на носії спеціального виду, і визначено підхід до виконання нечітких мережевих обчислень.

O.V. Verovka

ÉPURE REPRESANTATION OF INFORMATION IN FUZZY BAYESIAN NETWORKS

The results presented allow to perform the correct probabilistic Bayesian estimating on fuzzy networks of an arbitrary configuration. The consistency conditions of the orthogonal projections of probability fuzzy multidimensional estimates, interpreted as a relation on the support of a special type are derived. An approach to fuzzy network computations is defined.

1. *Мациевский С.В.* Нечеткие множества. – Калининград: Изд-во Калинингр. ун-та, 2004. – 176 с.
2. *Обработка* нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
3. *Веревка О.В.* Распространение вероятностей в нечетких древовидных байесовских сетях // Компьютерная математика. – 2012. – № 2. – С. 10 – 17.

Получено 14.02.2013

Об авторе:

Веревка Ольга Викторовна,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины.