

УДК 004.89

СОВМЕСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЧЕТКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

П. С. ХАРЛАМОВ

Научный руководитель А. С. ФЕДУЛОВ, д-р техн. наук, проф.
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия

Классическая нечеткая арифметика базируется на принципе расширения, который при вычислении $y = f(x_1, \dots, x_n)$, где $X = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор входных значений x , предполагает факторизацию совместной функции принадлежности $\mu(x) = \min_i \mu_{x_i}(x_i)$. В рекуррентных процессах, где выходные переменные одного шага участвуют во входных выражениях следующего, операнды становятся статистически и функционально зависимыми. Игнорирование этой зависимости приводит к завышению ширины результирующих интервалов, что многократно усиливает накопление неопределенности.

Предлагается подход, основанный на поуровневой оценке корреляций. Для фиксированного α -среза $\in [0, 1]$ вводится ковариация нечетких переменных X_i и X_j :

$$\text{Cov}_\alpha(X_i, X_j) = \frac{1}{w_{i,\alpha} w_{j,\alpha}} \int_{[X_i]^\alpha} \int_{[X_j]^\alpha} (x - \bar{x}_{i,\alpha})(y - \bar{x}_{j,\alpha}) d\pi_\alpha(x, y), \quad (1)$$

где $\bar{x}_{i,\alpha}$ – центр α -среза; $w_{i,\alpha}$ – его ширина; π_α – условное распределение (веса, задаваемые распределением возможностей) на срезе.

Затем нормированный коэффициент попарной корреляции $p_{ij}(\alpha) \in [-1, 1]$ усредняется по уровням $\bar{p}_{ij} = \int_0^1 p_{ij}(\alpha) d\alpha$. На основе попарных корреляций строится совместное распределение возможностей $\pi(x)$:

$$\pi(x) = \min_i \mu_{x_i}(x_i) \cdot \prod_{i < j} (1 + \beta \cdot \bar{p}_{ij} \delta_{ij}(x)), \quad (2)$$

где $\beta \in [0, 1)$ – коэффициент учета зависимости; $\delta_{ij}(x)$ – индикатор согласованности направлений отклонения от модальных значений.

Соответственно, модифицированный принцип расширения вычисляет α -срезы результата (Y) как

$$[\tilde{Y}]^\alpha = [\min_{\substack{x \in [\tilde{X}]^\alpha \\ \pi_\alpha(x) \geq \alpha}} f(x), \max_{\substack{x \in [\tilde{X}]^\alpha \\ \pi_\alpha(x) \geq \alpha}} f(x)]. \quad (3)$$

Метод обеспечивает автоматический учет структурных связей без ручного задания ограничений. В рекуррентных схемах матрица $\bar{p}_{ij}$ может обновляться инкрементально, адаптируясь к изменяющейся топологии взаимодействий.