

УДК 004.89

LU-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВЫХ ОПЕРАЦИЙ НЕЧЕТКОЙ АРИФМЕТИКИ

П. С. ХАРЛАМОВ

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

В задачах многошагового нечеткого моделирования стандартный принцип расширения Л. Заде приводит к неконтролируемому расширению носителей результирующих нечетких чисел. Уже через несколько итераций вышеуказанное лишает результаты семантической значимости.

Пусть нечеткое число $\tilde{X}$ в LU-форме задается парой параметризованных функций $\{x_L(\alpha), x_R(\alpha)\}$, где $\alpha \in [0, 1]$, $x_L(\alpha)$ и $x_R(\alpha)$ соответствуют левой и правой границам α -среза. Функции удовлетворяют условиям:

- $x_L(\alpha)$ не убывает, $x_R(\alpha)$ не возрастает;
- $x_L(1) = x_R(1)$, соответствующее модальному значению;
- $\text{supp}(\tilde{X}) = [x_L(0), x_R(0)]$ компактно.

На практике ветви аппроксимируются полиномами степени d (формулы (1) и (2)), что сводит представление нечеткого числа к вектору коэффициентов $p = [a_0, \dots, a_d, b_0, \dots, b_d]^T \in R^{2(d+1)}$, где a_j – коэффициент левой ветви; b_j – коэффициент правой ветви.

$$x_L(\alpha) = \sum_{j=0}^d (a_j \alpha^j); \quad (1)$$

$$x_R(\alpha) = \sum_{j=0}^d (b_j \alpha^j). \quad (2)$$

В LU-базисе бинарные операции выполняются поуровнево с последующей параметрической реконструкцией. Для сложения и вычитания, сохраняющих монотонность ветвей, результирующие коэффициенты вычисляются аналитически. Для нелинейных операций применяются численные схемы оптимизации на сетке α -уровней с последующей регрессией в полиномиальный базис.

Ключевое преимущество LU-формы заключается в том, что ширина носителя $w(\tilde{X}) = x_R(0) - x_L(0)$ и форма функции принадлежности становятся явными функциями параметров, что позволяет применять градиентные методы регуляризации и адаптивного сжатия без нарушения выпуклости и нормальности.