

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, аппарат нечетких множеств и нечеткой логики уже давно (более 10 лет) с успехом применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализованными. Сильные стороны такого подхода:

- описание условий и метода решения задачи на языке, близком к естественному;

- универсальность: согласно знаменитой теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско (B. Kosko) в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике;

- эффе́ктивность (связана с универсальностью), поясняемая рядом теорем, аналогичных теоремам о полноте для искусственных нейронных сетей, например, теоремой вида: для каждой вещественной непрерывной функции  $g$ , заданной на компакте  $U$  и для произвольного  $\varepsilon > 0$  существует нечеткая экспертная система, формирующая выходную функцию  $f(\mathbf{x})$  такую, что  $\sup_{\mathbf{x} \in U} \|g(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x})\| \leq \varepsilon$ , где  $\|\cdot\|$  — символ принятого расстояния между функциями.

Вместе с тем для нечетких экспертных и управляющих систем характерны и определенные недостатки:

- 1) исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым;

- 2) вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Для устранения, по крайней мере, частично, указанных недостатков рядом авторов было предложено выполнять нечеткие экспертные и управляющие системы адаптивными — корректируя, по мере работы системы, и правила и параметры функций принадлежности. Среди нескольких вариантов такой адаптации одним из самых удачных, по-видимому, является метод так называемых гибридных нейронных сетей.

Гибридная нейронная сеть формально по структуре идентична многослойной нейронной сети с обучением, например, по алгоритму обратного распространения ошибки, но скрытые слои в ней соответствуют этапам функционирования нечеткой системы. Так:

- 1-й слой нейронов выполняет функцию введения нечеткости на основе заданных функций принадлежности входов;

- 2-й слой отображает совокупность нечетких правил;

- 3-й слой выполняет функцию приведения к четкости.

Каждый из этих слоев характеризуется набором параметров (параметрами функций принадлежности, нечетких решающих правил, активационных функций, весами связей), настройка которых производится, в сущности, так же, как для обычных нейронных сетей.

В книге рассмотрены теоретические аспекты составляющих подобных сетей, именно, аппарат нечеткой логики, основы теории искусственных нейронных сетей и собственно гибридных сетей применительно к задачам управления и принятия решений в условиях неопределенности.

Особое внимание уделено программной реализации моделей указанных подходов инструментальными средствами математической системы MATLAB 5.2/5.3.