

# РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕСТОВЫХ СТМ-ПРОФИЛОГРАМ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А. В. Тюриков, Р. А. Мухаметов, М. В. Тарасов, Д. В. Гудцов

Институт прикладной механики УрО РАН

г. Ижевск

## Введение

Задача распознавания результатов исследования методами сканирующей туннельной микроскопии в настоящее время является актуальной, так как изображение, формируемое сканирующим туннельным микроскопом (СТМ) в атомных масштабах, имеет сложное квантовофизическое происхождение. Интерпретация СТМ-изображений ультрадисперсных частиц кластерных материалов (УДЧ КМ) затруднена, поскольку взаимодействие атомов различного типа с поверхностью подложки носит индивидуальный характер. Поэтому для исследования УДЧ КМ с применением СТМ необходимо создание методов и средств распознавания частиц на поверхностях, позволяющих достоверно интерпретировать результаты СТМ-эксперимента. Одним из наиболее интенсивно развивающихся методов управления на основе неполных или нечетких данных является нечеткая логика. Основным недостатком использования классических знаний теории управления состоит в том, что математические модели получаются громоздкими и сложными, и устройства, встраиваемые в технику, не могут справиться с такими вычислениями. В то же время нечеткая логика позволяет создать упрощенную модель, требующую меньших вычислений.

Кроме того, не все задачи можно реализовать с помощью строгой математической модели, особенно, когда знания о работе системы не формализованы, а их носителем является какой-либо эксперт. В этом случае нечеткая логика позволяет работать с интуитивно понятными терминами с помощью лингвистических переменных. Лингвистическая переменная в теории нечетких множеств - переменная, которая может принимать значения фраз из естественного или искусственного языка. Например, лингвистическая переменная «скорость» может иметь значения: высокая, средняя, очень низкая и т. д. Фразы, значение которых принимает переменная, в свою очередь, являются именами нечетких переменных и описываются нечетким множеством. Записать данные в таком виде для эксперта не представляет особой сложности, ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №2 2008

в то же время их можно легко использовать в системе, основанной на нечеткой логике.

Успешное применение методов нечеткой логики для распознавания каротажных диаграмм [1] послужило предпосылкой для постановки задачи использования нечетких правил вывода Мамдани-Заде при распознавании СТМ-изображений ультрадисперсных частиц [2]. Однако в практическом плане целесообразно провести проверку работоспособности этих методов для СТМ-изображений тестовых образцов, которые обычно реализуются на графитной подложке и представляют профили с разным видом сечений (рисунк 1).

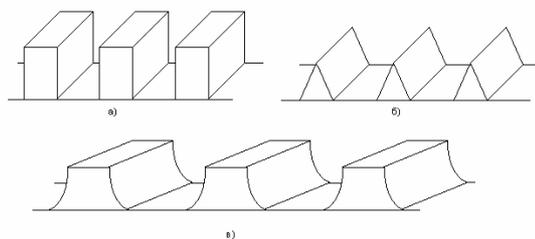


Рисунок 1 – Профили тестовых изображений: а – с прямоугольным сечением; б – с треугольным; в – с параболическим

Основной задачей при использовании нечеткой логики является формирование базы знаний. База знаний обычно представляется в виде совокупности нечетких предикатных правил. Для распознавания СТМ-изображений предложена база знаний, в виде набора нечетких предикатных правил:

$$P_1(k) : \text{если } (f_k^1 \text{ есть } F_k^{(11)}) \text{ и } (f_k^2 \text{ есть } F_k^{(12)}) \text{ и } \dots \\ \dots \text{ и } (f_k^N \text{ есть } F_k^{(1N)}), \text{ тогда } u = Y_1; \quad (1)$$

$$P_K(k) : \text{если } (f_k^1 \text{ есть } F_k^{(K1)}) \text{ и } (f_k^2 \text{ есть } F_k^{(K2)}) \text{ и } \dots \\ \dots \text{ и } (f_k^N \text{ есть } F_k^{(KN)}), \text{ тогда } u = Y_K;$$

где  $k$  - номер точки;  $N$  - количество методов;  $K$  - количество правил, которое равно количеству возможных классов образцов;  $f_k^i$  - входные переменные;  $F_k^{(ij)}$  и  $Y_i$  - функции принадлежности;  $u$  - имя переменной вывода;  $k=1..M$  - номер точки отсчета в дискретном пред-



Таблица 1 – Коэффициенты для деффузификации входных данных

x	0	1	2	3	4
$v = x/8$	0	0.125	0.25	0.375	0.5
$\alpha_i$	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
$u = x2/16$	0	0.0625	0.25	0.5625	1
$\alpha_i$	0.035	0.035	0.1	0.1	0.1

### Результаты и их обсуждение

На основе метода был проведен вычислительный эксперимент. Для формирования базы необходимо определить значения коэффициентов  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  для эталонных функций. Результаты расчетов коэффициентов для проведения вычислительного эксперимента приведены в таблице 1.

В проведенном вычислительном эксперименте принятие решения о принадлежности входного сигнала к одному из эталонов произведено на основе поиска максимума для вычисленных  $\gamma_i(y)$  ( $i=1,2$ ). Очевидно, что идеально распознается сигнал, совпадающий с одним из эталонов. При распознавании сигнала  $[0, 0.1, 0.25, 0.3, 0.5]$  решение принято в пользу линейной функции  $x/8$ .

В случае, если результаты оказываются неудовлетворительными, есть способы для их улучшения. Например, можно переставить функции  $Y$  в соответствии с их степенью важности. Также большую роль играет коэффициент  $\alpha_i$ : в зависимости от него можно настраивать степень допустимости отклонений точки входного сигнала от заданной точки образца.

Рассмотренный метод позволяет проводить вычислительные эксперименты с минимальными временными затратами. Результаты, полученные на модельных сигналах, дают возможность производить «калибровку» метода для работы с профилограммами СТМ-изображений, получаемых в реальном СТМ-эксперименте.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лусников Р.Г., Цепелев В.П. Модель литологического расчленения разреза на основе нечеткой логики // Информационные технологии в инновационных проектах: Труды IV Международной научно-технической конференции (Ижевск, 29-30 мая, 2003 г.) – В 4 ч. – Ч. 2. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003, с.48-50.
2. Тюриков А.В. и др. Распознавание СТМ-изображений ультрадисперсных частиц с использованием методов нечеткой логики // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства: труды III научно-технической конференции (Ижевск, 14-15 апреля 2006 г.) – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. – с.406-411.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344с.