

# Метод структурно-параметричного синтезу нейро-фаззі мереж

Гофман Є. О., Олійник А. О., Субботін С. О.  
Запорізький національний технічний університет, [subbotin.csit@gmail.com](mailto:subbotin.csit@gmail.com),  
<http://csit.narod.ru/>

*Abstract – A method of structural parametric synthesis of neuro-fuzzy networks is developed. The proposed method uses decision trees to build a neuro-fuzzy networks, is not highly iterative and does not require the solution of multidimensional optimization task for network parameters calculation.*

## ВСТУП

Перспективним засобом побудови діагностичних моделей [1, 2] є нейро-фаззі мережі (НФМ) [3, 4] – системи нечіткого виведення у вигляді нейронних мереж, зручні для навчання, поповнення знань, аналізу та використання. Проте побудова НФМ, як правило, пов'язана з необхідністю участі користувача, а також вимагає вирішення задачі багатовимірної нелінійної оптимізації. Крім того, часто синтезовані НФМ є досить громіздкими, що ускладнює подальше використання на практиці.

Для синтезу НФМ доцільно застосовувати дерева розв'язків (ДР) [5], оскільки у процесі побудови ДР виявляється набір інформативних ознак, що дозволяє будувати прості та зручні для подальшого використання моделі, а перевірки у ДР можуть бути використані для визначення кількості термів і параметрів розбиття.

Метою дослідження є розробка методу структурно-параметричного синтезу нейро-фаззі мереж на основі дерев розв'язків.

## ПОБУДОВА НЕЙРО-ФАЗЗІ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ДЕРЕВ РОЗВ'ЯЗКІВ

У розробленому методі синтезу НФМ пропонується використовувати ДР, що побудовано на основі заданої вибірки даних, для витягання продукційних правил вигляду «Якщо – то», обчислення параметрів функцій належності, завдання структури і налаштування параметрів елементів НФМ.

На першому етапі запропонованого методу виконується побудова бази правил типу «Якщо – то». На даному етапі за навчальною вибіркою за допомогою методів синтезу ДР будується дерево розв'язків. Далі формується набір правил  $R$  шляхом вилучення правил з ДР з використанням прямого обходу дерева: від кореня дерева до кожного вузла. При цьому кожне  $j$ -е правило формується на основі умов (перевірок) типу  $x_i \in A_{ij}$ , що відносяться до гілок ДР, розташованих на шляху від кореня до  $j$ -го листа.

Після цього виконується синтез блоків першого шару НФМ, що визначають належність розпізнаваного екземпляра до термів ознак. Для цього обчислюються ліва  $l_{ij}$  і права  $r_{ij}$  межі діапазонів значень кожної ознаки  $X_i$  в правилі  $R_j$ . Далі для кожної  $i$ -ї ознаки  $X_i$  визначається кількість інтервалів розбиття діапазону його значень  $N_i$  по всій множині правил  $R$ . Потім задаються функції належності розпізнаваного екземпляру до кожного з термів. При цьому використовуються межі чітких інтервалів  $\Delta_{ij} = [l_{ij}; r_{ij}]$ , що були знайдені раніше.

Другий шар НФМ складається з нейронів, які реалізують рядки-кон'юнкції антецедентів правил нечіткої бази знань. Виходи кожного нейрона цього шару визначають ступені

виконання умов правил для розпізнаваного екземпляру. Ступінь відповідності виконання антецедента  $j$ -го правила для розпізнаваного екземпляру розраховується за формулою (1):

$$\mu_{A_j} = \alpha_j \min \left\{ \max_{i,k} \{w_{ik}^{(2,j)}; \mu_{ik}\} \right\} \quad (1)$$

де  $\mu_{A_j}$  – ступінь виконання антецедента  $j$ -го правила для розпізнаваного екземпляру;  $w_{ik}^{(2,j)}$  – ваги нейронів другого шару, що визначають наявність зв'язку від нейронів першого шару до другого і відображають наявність  $k$ -го терму  $i$ -ї ознаки в антецеденті  $j$ -го правила. Ваги  $w_{ik}^{(2,j)}$  визначаються за синтезованим ДР як  $w_{ik}^{(2,j)} = 0$ , якщо на шляху від кореня ДР до  $j$ -го листа є умова, за якої  $i$ -та ознака потрапляє в  $k$ -й інтервал діапазону її розбиття ( $k$ -й терм  $i$ -ї ознаки присутній в описі умов  $j$ -го правила), в іншому випадку:  $w_{ik}^{(2,j)} = 1$ . Після цього визначаються параметри нейронів третього шару НФМ, які обчислюють ступені належності вхідного вектора до відповідних термів вихідної змінної, використовуючи формулу (2):

$$\mu_{y^{(t)}} = \min \left\{ \max_j \{w_j^{(3,t)}; \mu_{A_j}\} \right\} \quad (2)$$

де  $\mu_{y^{(t)}}$  – ступінь належності вхідного вектора до  $t$ -го терму вихідної змінної  $y$ ;  $w_j^{(3,t)}$  – ваги нейронів третього шару, що визначають наявність зв'язку від нейронів другого шару до третього та відображають відповідність  $t$ -го терму вихідного параметру до  $j$ -го правила нечіткої бази знань. Ваги  $w_j^{(3,t)}$  визначаються за синтезованим ДР:  $w_j^{(3,t)} = 0$ , якщо значення  $j$ -го листа ДР дорівнює  $t$ -му значенню вихідного параметра  $y^{(t)}$  з множини його значень  $D_y$ , в іншому випадку:  $w_j^{(3,t)} = 1$ . На останньому етапі виконується дефазифікація. Приведення результату в чітку форму здійснюється за допомогою нейрона четвертого шару НФМ.

Запропонований метод синтезу НФМ був реалізований у комп'ютерній програмі, за допомогою якої розв'язувалися задачі технічного діагностування та розпізнавання образів. Результати експериментів показали, що запропонований метод дозволяє швидко будувати моделі з відносно невеликим числом елементів, що мають високий рівень узагальнення.

## ВИСНОВКИ

У роботі вирішена задача автоматизації побудови нейро-фаззі мереж. Наукова новизна роботи полягає в методі структурно-параметричного синтезу нейро-фаззі мереж на основі дерев розв'язків, який для побудованого за навчальною вибіркою ДР автоматично формує нечітке розбиття ознакового простору і виділяє правила, на основі яких формує структуру мережі і визначає значення її параметрів, що дозволяє синтезувати моделі з невеликою кількістю нейроелементів, які характеризуються високим рівнем узагальнення, і не вимагає рішення задач оптимізації для налаштування значень параметрів моделі.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Субботін С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник ; під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.
- Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей : монографія / А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин ; под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботина. – Запорожье : ОАО "Мотор Сич", 2009. – 468 с.
- Nauck D. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems / D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse. – Chichester : John Wiley & Sons, 1997. – 305 p.
- Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах : монографія / В. А. Филатов, Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко и др.; под общ. ред. Е. В. Бодянского. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – 403 с.

Rokach L. Data mining with decision trees. theory and applications / L. Rokach, O. Maimon. – London : World Scientific Publishing Co, 2008. – 264 p.

