

С. Д. Штовба, д.т.н., проф., А. В. Нагорна, асп., Р. О. Тилець

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІБРИДНОЇ НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ З РІЗНОРІДНИМИ ПРАВИЛАМИ

Розглядається гібридна нечітка база знань з правилами різних форматів [1]. Це дозволяє описувати досліджувану залежність в різних зонах факторного простору за допомогою нечітких правил найбільш релевантного формату. Наприклад, в області малих значень факторів впливу ( $x_1$  та  $x_2$ ) відома така лінійна залежність між входами та виходом –  $y = 3x_1 + 7x_2 - 3$ , а в області великих значень факторів впливу тільки відомо, що вихідні значення дуже високі. Тоді цю інформацію можна представити гібридною нечіткою базою знань з одним правилом Сугено та одним правилом Мамдані:

If  $x_1 = \text{Низький}$  and  $x_2 = \text{Низький}$ , then  $y = 3x_1 + 7x_2 - 3$ ;

If  $x_1 = \text{Високий}$  and  $x_2 = \text{Високий}$ , then  $y = \text{Дуже високий}$ .

Нами розроблено алгоритми логічного виведення за гібридною нечіткою базою знань для таких 3 випадків:

1) коли, в результаті логічного виведення за кожним правилом утворюється нечітка множина на неперервному носії, тобто коли базу знань складають лише правила у форматі Мамдані та Ларсена;

2) коли, в результаті логічного виведення за кожним правилом утворюється сингтонна нечітка множина, тобто коли базу знань складають сингтонні правила та правила у форматі Сугено і Цукамото;

3) коли, наявні правила з першого та другого випадків, тобто в базі знань є правила у форматі Мамдані чи Ларсена та сингтонні правила, або правила у форматі Сугено чи Цукамото.

Для першого випадку в результаті імплікації за кожним правилом отримуємо нечітку множину на неперервному носії. Далі проведемо їх агрегування, шляхом об'єднання отриманих нечітких множин. І останньою процедурою буде дефаззифікація результуючої нечіткої множини.

Для другого випадку в результаті імплікації за кожним правилом отримуємо пару чисел – кількісне значення вихідної змінної та ступінь належності. Далі об'єднуємо їх в одну нечітку множину на дискретному носії. І останньою процедурою буде дефаззифікація результуючої дискретної нечіткої множини.

Для третього випадку за правилами Мамдані та Ларсена на виході отримуємо нечітку множину на неперервному носії. В програмних пакетах з проектування нечітких систем цей неперервний носій дискретизують і отримують дискретну універсальну множину з потужністю на рівні 100 [2]. За правилами Сугено, Цукамото чи за сингтонними правилами на виході отримуємо нечітку множину на дискретному носії, потужність якої дорівнює кількості правил. Зазвичай кількість таких правил не перевищує 10. Якщо об'єднати вихідні неперервну та дискретну нечіткі множини та провести дефаззифікацію, то її результат майже не залежатиме від правил Сугено, Цукамото чи сингтонних правил. Це відбувається через те, що в результуючій нечіткій множині кількість елементів, що надійшли з дискретного носія буде на 1-2 порядки менше, ніж тих, що надійшли від неперервного носія. В зв'язку з цим пропонується принцип рівноважливості правил. За ним правила з однаковими ступеням виконання забезпечують однакові внески в формування чіткого вихідного значення.

Ідентифікація залежностей на основі гібридної нечіткої бази знань здійснюється аналогічно до процедур ідентифікації на основі бази нечітких правил одного типу [2]. Переваги застосування гібридних нечітких баз знань ілюструється на прикладі задачі ідентифікації паливної ефективності автомобіля (Auto MPG) з UCI Machine Learning Repository.

Список літературних джерел:

1. Штовба С.Д. Логічне виведення по нечіткій базі знань з різномірними правилами / С.Д. Штовба, А.В. Нагорна / Тези доп. XX Міжнар. конференція з автоматичного управління "Автоматика – 2013" (25–27 вересня 2013 р., Миколаїв). – 2013. – С. 330-331.

2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Штовба С.Д. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.