

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАНЬ

© Кравець П., 2010

Досліджено проблему автоматизованого керування в умовах невизначеності математичної моделі системи. Запропоновано структуру системи керування на основі моделі інтелектуального агента з нечіткою логікою. Вироблення керуючих дій виконано з урахуванням експертних знань про систему, сформульованих у вигляді правил нечіткого логічного виведення рішень. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи керування з нечіткою логікою. Виконано комп'ютерне моделювання процесу нечіткого керування лінійною динамічною системою, проаналізовано отримані результати та подано рекомендації щодо практичної реалізації системи.

Ключові слова: автоматизоване керування, умови невизначеності, інтелектуальний агент, експертні знання, нечітке логічне виведення.

The problem of automated control in the uncertainty conditions of mathematical model of system is investigated. The structure of a control system on the basis of the intellectual agent model with fuzzy logic is offered. Construction of operating actions taking into account expert knowledge of system is executed. Expert knowledge in the form of rules of a fuzzy logic decision-making is formulated. Algorithmic and the software of a control system with fuzzy logic are developed. Computer modelling of fuzzy control process by linear dynamic system is executed, results of work are analysed and recommendations about practical realisation of system are presented.

Keywords: automated control, uncertainty conditions, intellectual agent, expert knowledge, fuzzy logic inference.

Вступ

Вдалі технологічні та архітектурні вирішення сучасних комп'ютерних систем у напрямку мініатюризації, зростання продуктивності, наявності засобів мережної підтримки забезпечують можливість їх застосування для автоматизації різних видів людської діяльності, наприклад, для керування науково-експериментальними комплексами, процесами виробництва продукції, транспортом, системами зв'язку, побутовою технікою та ін.

У більшості практичних застосувань модель керованої системи є невідомою [1, 2]. За відсутності засобів автоматизації оператор здійснює керування на основі власних або запозичених (експертних) знань про систему, отриманих у ході практичного експериментування з системою. Такі знання можуть бути сформульовані у вигляді продукційних правил „якщо, то”, наприклад, якщо тиск газу сильно зростає, то для його нормалізації необхідно трохи зменшити температуру нагрівача або частково відкрити скидний клапан. Емпіричні знання, як правило, мають нечітке формулювання, оперують з нечіткими лінгвістичними змінними, як то „сильно”, „трохи”, „частково” та ін. Незважаючи на це, за достатнього досвіду оператор може доволі успішно керувати системою в умовах ситуативної невизначеності або за відсутності адекватної математичної моделі.

Зібрані експертні знання можна використати для побудови інтелектуального агента – програмної моделі роботи оператора, що дасть змогу автоматизувати процес керування системою. Моделюючи функції оператора, агент наділяється антропоморфними властивостями – він має систему сенсорів для

спостереження станів середовища, інтелектуальну систему виведення рішень, яка перетворює вхідну інформацію на керуючі дії згідно із заданою метою, систему реалізації керуючих дій.

Сучасні дослідження агентно-орієнтованих систем переважно спрямовані на підвищення інтелектуальності програмних агентів, забезпечення їх оптимальної взаємодії, координації, навчання, самоорганізації [3, 4]. Ключовим питанням є забезпечення належного інтелектуального рівня агента, здатного приймати безпечні, оптимальні або адекватні поточному стану рішення при керуванні системою в умовах невизначеності. Для цього інтелектуальний агент повинен мати розвинені механізми оперування знаннями у заданій предметній галузі. Одним із таких механізмів може бути відтворення функцій роботи оператора системи на основі правил нечіткої логіки [5 – 8]. Інтелектуальний агент повинен змодельовати процес прийняття рішень людиною, спеціалістом у вибраній галузі знань.

Метою роботи є побудова моделі агента-оператора системи керування технологічним процесом на основі нечіткого логічного виведення рішень. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі: визначити проблемно-орієнтовані нечіткі множини та задати їх функції належності; на основі експертних знань про систему керування побудувати правила нечіткого логічного виведення рішень; виконати фазифікацію входів агента; застосувати операції над нечіткими множинами для вирішення правил нечіткого логічного виведення; виконати дефазифікацію виходів агента.

Система керування з нечіткою логікою

Розглянемо зображену на рис. 1 систему керування технологічним процесом, яка складається з керованої та керуючої підсистем, включених у коло зворотного зв'язку.

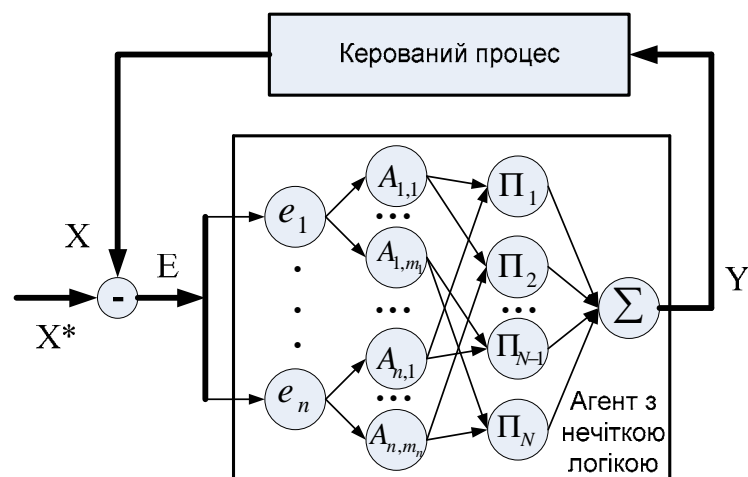


Рис. 1. Структура системи керування з нечіткою логікою

Динаміка керованого процесу описується за допомогою різницьових співвідношень:

$$S(t+1) = F[S(t), Y(t), t], S(0) = S_0,$$

$$X(t) = H[S(t), Y(t), t],$$

де $S(t)$ – p -вимірний вектор, компоненти якого визначають стан системи у дискретні моменти часу $t=1,2,\dots$, $X(t)$ – n -вимірний вектор доступних для спостереження виходів системи, $Y(t)$ – m -вимірний вектор входів системи, S_0 – початковий стан системи.

Керуючий процес генерується стратегіями інтелектуального агента, під яким розуміють активну підсистему вироблення та реалізації рішень, яка, діючи згідно із заданою метою, спостерігає виходи системи X , впливає на стани керованого процесу S за допомогою вектора керуючих дій Y та за потреби взаємодіє з іншими подібними агентами і людиною.

Модель керованого процесу апріорі не відома агенту. Для керування системою він використовує знання експертів, сформульовані у вигляді продукційних правил $\Pi: X_i \rightarrow Y_i$ над

нечіткими множинами, за допомогою яких можна моделювати невизначеності в системі з урахуванням явного або неявного впливу людського фактора.

Вироблення керуючих дій здійснюється агентом на основі бази експертних знань та правил нечіткої логіки. Система нечіткого логічного виведення агента побудована за схемою багат шарової штучної нейромережі, у якій перший шар зображає входи системи, другий – нечіткі лінгвістичні змінні, третій – правила над нечіткими змінними, четвертий – виходи правил [7, 8]. Ваги усіх зв'язків дорівнюють 1.

Нехай агент спостерігає вектор числових параметрів $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ у вигляді їх відхилення від еталонних значень X^* :

$$e_i = x_i - x_i^*, i = 1..n. \quad (1)$$

Для визначення вихідних керуючих дій агент реалізує такі функції:

- 1) фазифікація – перетворення чітких вхідних величин на нечіткі значення;
- 2) система логічного виведення – перетворення нечітких входів у нечіткі виходи.
- 3) дефазифікація – перетворення нечітких вихідних величин на чіткі значення.

Відхилення $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ перетворюються (фазифікуються) на нечіткі значення згідно з їх функціями належності. Для цього відхилення e_i за кожним параметром $x_i, i = 1..n$ має нечіткий відповідник у вигляді лінгвістичної змінної $\tilde{E}_i = \{A_{i,j} \mid j = 1..m_i\}$, яка складається з m_i термів $A_{i,j}$, кожен з яких є нечіткою множиною. Для нечітких множин існує загальноприйнята система позначень термів: N – від'ємний (Negative), Z – нульовий (Zero), P – додатний (Positive). До цих позначень додають літери S (Small – малий), M (Medium – середній), L (Large – великий). Наприклад, NL – від'ємний великий, NS – від'ємний малий, PL – додатний великий.

Нечітка або розмита множина $A_{i,j}$ визначається носієм дійсних значень R^1 у вигляді сукупності впорядкованих пар $(e, \mu_A(e))$:

$$A_{i,j} = \{e, \mu_{A_{i,j}}(e) \mid e \in R^1, 0 \leq \mu_{A_{i,j}}(e) \leq 1\},$$

де $\mu_{A_{i,j}}(e)$ – функція належності кожного e множині $A_{i,j}$.

Функція належності $\mu_A(e)$ ставить у відповідність кожному $e \in E$ дійсне число з відрізка $[0,1]$. Найпоширеніші гауссова, сигмоїдальна, поліноміальна, триангулярна та трапецеподібна функції належності. Конкретний вигляд функції визначається значеннями експертних оцінок.

Загальна форма функції належності $\mu = \mu(e, e1, e2, e3, e4)$ задається у вигляді трапеції:

$$\mu_A(e) = \begin{cases} \max(0, (e - e1)/(e2 - e1)), & e < e2 \\ \max(0, (e4 - e)/(e4 - e3)), & e > e3, \\ 1, & e \geq e2 \text{ and } e \leq e3 \end{cases} \quad (2)$$

де $e1 < e2 < e3 < e4$.

З трапецеподібної можна отримати триангулярну функцію належності при $e2 = e3$, яка набуває значення 1 тільки в одній точці і визначає нечітке число.

Фазифікація полягає у перетворенні чітких вхідних величин $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ до нечітких множин $A' = (A'_1, A'_2, \dots, A'_n)$. У більшості випадків для цього використовуються синглетонні моделі. Синглетон чіткого значення e_i є нечіткою множиною $A'_i(e, \mu_{A'_i}(e))$ з функцією належності

$$\mu_{A'_i}(e) = \begin{cases} 1, & e = e_i; \\ 0, & e \neq e_i. \end{cases} \quad (3)$$

При фазифікації чіткого входу e_i визначають ступені його відповідності кожному лінгвістичному терму $A_{i,j}$ з функціями належності $\mu_{A_{i,j}}(e)$, $j = 1..m_i$. Ці ступені є значеннями функцій належності $\mu_{A_{i,j}}(e)$ у точці $e = e_i$, або інакше – значенням $A_{i,j}(e_i)$, $i = 1..n$.

Отримані нечіткі вхідні значення системи перетворюються на вихідні на основі правил нечіткої логіки, що характерно для експертних систем прийняття рішень. Нехай система прийняття рішень здійснює перетворення значень n вхідних лінгвістичних змінних $\tilde{E} = \{\tilde{E}_i | i=1..n\}$ на вихідну лінгвістичну змінну $\tilde{Y} = \Pi(\tilde{E})$ згідно з базою правил $\Pi = \{\Pi_k | k=1..N\}$.

Правила Π акумулюють знання експертів у вигляді нечіткої імплікації $\Pi = A \rightarrow B$, яку можна розглядати як нечітку множину на декартовому добутку носіїв вхідних та вихідних розмитих множин. Процес отримання нечіткого результату B' з нечітких вхідних множин A' на основі знань $A \rightarrow B$ можна зобразити у такому вигляді

$$B' = A' \bullet \Pi = A' \bullet (A \rightarrow B),$$

де \bullet – композиційне правило нечіткого виведення.

На практиці для нечіткого виведення використовується максимінна композиція, а нечітка імплікація реалізується знаходженням мінімуму функцій належності.

Для багатовходових систем застосовується механізм логічного виведення, характерною рисою якого є використання рівнів істинності передумов правил.

Для кожного правила Π_k , $k=1..N$ визначається рівень його істинності α_{Π_k} стосовно входів. Рівень істинності є дійсним числом, яке характеризує ступінь відповідності нечітких входів системи A'_i , $i=1..n$ заданим у правилах нечітким множинам $A_{i,j}$ ($j=1..m_i$):

$$\alpha_{\Pi_k} = \min_{i=1}^n \left[\max_{R^1} (A'_i \wedge A_{i,j}) \right], \quad (4)$$

де R^1 – простір визначення входів A'_i , $i=1..n$; операція \wedge – нечітка кон'юнкція.

При використанні вхідних синглетонів механізм логічних виведень спрощується, оскільки ступінь істинності правил можна визначити на основі фазифікованих входів:

$$\max_{R^1} (A'_i(e_i) \wedge A_{i,j}) = A_{i,j}(e_i).$$

У цьому випадку рівень істинності k -го правила обчислюється за формулою:

$$\alpha_{\Pi_k} = \min_i (A_{i,j}(e_i)).$$

Вихідне значення визначається залежно від рівня істинності правила. Ступінь впевненості виведення задається функцією належності відповідного вихідного терму B_k . Використовуючи один зі способів побудови нечіткої імплікації, отримаємо нові нечіткі змінні, або відповідні ступені впевненості у значенні виходів при застосуванні відповідного правила до заданих входів. Так, на основі визначення нечіткої імплікації за Мамдані [2] як мінімуму лівої і правої частин правила маємо:

$$B'_k = \min(\alpha_k, B_k), \quad k=1..N, \quad (5)$$

де B'_k – зрізи вихідних нечітких множин на рівні α_k .

Наступним кроком нечіткого логічного виведення є агрегування виходів правил. Один з основних способів акумуляції – нечітка диз'юнкція вихідних множин, або, інакше, знаходження максимуму отриманих функцій належності. Як результат, отримаємо значення агрегованого виходу:

$$B' = \max_k (B'_k), \quad k=1..N. \quad (6)$$

Завершальним етапом нечіткого логічного виведення є дефазифікація агрегованого виходу, яка полягає у перетворенні виведених нечітких лінгвістичних змінних на їхні точні значення.

Існує декілька методів дефазифікації – середній центр, перший максимум, середній максимум, висотна дефазифікація. Наприклад, метод середнього центру визначає центр ваги нечіткої множини:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^M y_j B'(y_j)}{\sum_{j=1}^M B'(y_j)}, \quad (7)$$

де M – кількість дискретизованих значень вихідної величини, визначеної на носії нечіткої множини B' .

Отримане чітке вихідне значення використовується у контурі зворотного зв'язку для вироблення керуючих дій. Розрахунок (3)–(7) повторюється для кожного виходу агента.

Алгоритм роботи агента з нечіткою логікою

Перед реалізацією алгоритму необхідно зібрати дані про керовану систему, формування функцій належності нечітких множин та формулювання правил нечіткого логічного виведення.

Агент спостерігає за відхиленнями виходів керованої системи від еталонних значень, їх фазифікацією, обчислює виходи правил нечіткого логічного виведення, агрегує виходи правил з подальшою дефазифікацією та реалізацією керуючих дій. Алгоритм роботи агента у дискретні моменти часу $t = 0, 1, 2, \dots$ зводиться до таких дій:

1. Задати початковий момент часу $t = 0$.
2. Отримати вектор параметрів X_t від середовища.
3. Обчислити вектор відхилень E_t параметрів X_t від еталонних значень X^* згідно з (1).
4. Виконати фазифікацію, або перетворення числових відхилень E_t на нечіткі значення A' згідно з (3).
5. Для кожного правила виконати обчислення рівня істинності $\alpha_{\Pi_i}(E_t)$, $i = 1..N$ згідно з (4).
6. Обчислити зрізи вихідних нечітких множин B'_k на рівні α_k , $k = 1..N$ згідно з (5).
7. Отримати значення агрегованого виходу B' згідно з (6).
8. Виконати дефазифікацію, або перетворення нечіткого агрегованого виходу B' на чітке значення Y_t , згідно з (7).
9. Виконати дію Y_t .
10. Задати наступний момент часу $t := t + 1$ та перейти на крок 2.

Приклад нечіткого логічного виведення

Наведемо числовий приклад реалізації одного кроку алгоритму нечіткого логічного виведення для агента з двома чіткими входами $E = (e_1, e_2)$ та одним чітким виходом u . Значення входів $E = X - X^*$ є відхиленням параметрів системи $X = (x_1, x_2)$ від їх еталонних значень $X^* = (x_1^*, x_2^*)$.

Вхід e_1 описується лінгвістичною змінною $L_1^{in} = (A_{1,1}, A_{1,2})$ з нечіткими термами $A_{1,1}$ та $A_{1,2}$. Вхід e_2 описується лінгвістичною змінною $L_2^{in} = (A_{2,1}, A_{2,2})$ з нечіткими термами $A_{2,1}$ та $A_{2,2}$. Вихід u описується лінгвістичною змінною $L^{out} = (B_1, B_2, B_3)$ з нечіткими термами B_1 , B_2 та B_3 .

Нехай база нечітких правил прийняття рішень містить визначені експертами залежності між лінгвістичними змінними $L^{out} = \Pi(L_1^{in}, L_2^{in})$:

$$\Pi_1 : \text{if } L_1^{in} \text{ is } A_{1,2} \text{ and } L_2^{in} \text{ is } A_{2,2} \text{ then } L^{out} \text{ is } B_1;$$

$$\Pi_2 : \text{if } L_1^{in} \text{ is } A_{1,1} \text{ and } L_2^{in} \text{ is } A_{2,2} \text{ then } L^{out} \text{ is } B_2;$$

$$\Pi_3 : \text{if } L_1^{in} \text{ is } A_{1,2} \text{ and } L_2^{in} \text{ is } A_{2,1} \text{ then } L^{out} \text{ is } B_2.$$

Для зручності обчислень модель нечіткого логічного виведення побудуємо на основі нечітких множин з дискретним носієм:

$$C = \{z_1 / \mu_C(z_1), z_2 / \mu_C(z_2), \dots, z_M / \mu_C(z_M)\}.$$

Припустімо, що лінгвістичні терми входів описуються такими нечіткими множинами:

$$A_{1,1} = \{-50/0.4; -20/0.9; 20/0.8; 50/0.5\};$$

$$A_{1,2} = \{-50/0.3; -20/0.6; 20/0.7; 50/0.2\};$$

$$A_{2,1} = \{-30/0.6; -10/0.8; 10/0.9; 30/0.5\};$$

$$A_{2,2} = \{-30/0.1; -10/0.7; 10/0.5; 30/0.3\}.$$

Терми виходу описуються такими множинами:

$$B_1 = \{-5/0.2; 0/1; 5/0.3\};$$

$$B_2 = \{-5/0.7; 0/1; 5/0.5\};$$

$$B_3 = \{-5/0.6; 0/1; 5/0.4\}.$$

Операції визначення мінімуму та максимуму позначимо у вигляді \wedge та \vee відповідно.

Нехай на вхід агента надходять чіткі значення відхилень $E = (20, -30)$ виходів системи $X = (25, -20)$ від їх еталонних значень $X^* = (5, 10)$. Необхідно визначити відповідне входу E чітке вихідне значення y на основі бази правил Π нечіткого логічного виведення (бази експертних знань про керований процес).

Для обчислення виходу виконаємо етапи нечіткого логічного виведення:

1. Фазифікація входів на основі синглетонів:

$$A'_1 = \{-50/0; -20/0; 20/1; 50/0\};$$

$$A'_2 = \{-30/1; -10/0; 10/0; 30/0\}.$$

2. Обчислення рівнів істинності правил:

$$\alpha_1 = \min[\max(0^0.3, 0^0.6, 1^0.7, 0^0.2), \max(1^0.1, 0^0.7, 0^0.5, 0^0.3)] = \\ = \min[\max(0, 0, 0.7, 0), \max(0.1, 0, 0, 0)] = \min[0.7, 0.1] = 0.1;$$

$$\alpha_2 = \min[\max(0^0.4, 0^0.9, 1^0.8, 0^0.5), \max(1^0.1, 0^0.7, 0^0.5, 0^0.3)] = \\ = \min[\max(0, 0, 0.8, 0), \max(0.1, 0, 0, 0)] = \min[0.8, 0.1] = 0.1;$$

$$\alpha_3 = \min[\max(0^0.3, 0^0.6, 1^0.7, 0^0.2), \max(1^0.6, 0^0.8, 0^0.9, 0^0.5)] = \\ = \min[\max(0, 0, 0.7, 0), \max(0.6, 0, 0, 0)] = \min[0.7, 0.6] = 0.6.$$

3. Обчислення зрізів нечітких множин виходів правил:

$$B'_1 = \{-5/\min(0.1, 0.2), 0/\min(0.1, 1), 5/\min(0.1, 0.3)\} = \{-5/0.1, 0/0.1, 5/0.1\};$$

$$B'_2 = \{-5/\min(0.1, 0.7), 0/\min(0.1, 1), 5/\min(0.1, 0.5)\} = \{-5/0.1, 0/0.1, 5/0.1\};$$

$$B'_3 = \{-5/\min(0.6, 0.6), 0/\min(0.6, 1), 5/\min(0.6, 0.4)\} = \{-5/0.6, 0/0.6, 5/0.4\}.$$

4. Агрегування виходів:

$$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3 = \{-5/\max(0.1, 0.1, 0.6), 0/\max(0.1, 0.1, 0.6), 5/\max(0.1, 0.1, 0.4)\} = \\ = \{-5/0.6, 0/0.6, 5/0.4\}.$$

5. Дефазифікація виходу:

$$y = \frac{-5 * 0.6 + 0 * 0.6 + 5 * 0.4}{0.6 + 0.6 + 0.4} = \frac{-1}{1.6} = -0.625.$$

Отже, для заданих нечітких множин та відхилень чітких входів $e_1 = 20$ та $e_2 = -30$ після нечіткого логічного виведення агент сформує чітке вихідне значення $y = -0.625$.

Результати комп'ютерного моделювання

Виконаємо нечітке керування лінійною динамічною системою:

$$S(t+1) = FS(t) + GY(t),$$

$$X(t) = HS(t)$$

з векторами параметрів: $S = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix}$ – стани системи, $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ – входи системи (виходи агента),

$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ – виходи системи (виходи агента) та матрицями коефіцієнтів:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Виходи системи X піддаються дії випадкових завад, розподілених за нормальним законом:

$$x_i := x_i + \text{Normal}(0, d_i), \quad i = 1..2,$$

де $d_i = d \geq 0$ – дисперсія розподілу.

На вхід агента надходять поточні відхилення $E = X - X^* = [e_1 \ e_2]$ виходів системи X від еталонних значень X^* .

Розглядається спрощений варіант побудови правил нечіткого логічного виведення рішень, який ґрунтується тільки на комбінації термів N, Z, P вхідних та вихідних змінних. Система нечітких правил задається у матричному вигляді:

$$[e_1 \ e_2] \text{ is } \begin{bmatrix} N & N & N & Z & Z & Z & P & P & P \\ N & Z & P & N & Z & P & N & Z & P \end{bmatrix} \rightarrow y_1 \text{ is } [P \ P \ P \ Z \ Z \ Z \ N \ N \ N], \quad (8)$$

$$[e_1 \ e_2] \text{ is } \begin{bmatrix} N & N & N & Z & Z & Z & P & P & P \\ N & Z & P & N & Z & P & N & Z & P \end{bmatrix} \rightarrow y_2 \text{ is } [P \ Z \ N \ P \ Z \ N \ P \ Z \ N],$$

де замість арифметичної операції множення елементів матриць використовується операція *is*, а змість додавання елементів – операція *and*. Наприклад, отримане з (8) перше правило формування виходу y_1 матиме вигляд:

$$\text{if } e_1 \text{ is } N \text{ and } e_2 \text{ is } N \text{ then } y_1 \text{ is } P.$$

Операція *is* визначає відповідність лінгвістичної змінної нечіткому терму, а операція *and* – нечітке логічне множення [2].

Нечіткі множини входів та виходів агента задаються трапецевидними функціями належності $\mu = \mu(z, z1, z2, z3, z4)$ (2), значення яких подано у табл. 1.

Таблиця 1

Функції належності нечітких множин

Терми	Входи		Виходи	
	e_1	e_2	y_1	y_2
N	$\mu(e_1, -10, -5, -1, 0)$	$\mu(e_2, -10, -5, -1, 0)$	$\mu(y_1, -0.9, -0.6, -0.3, 0)$	$\mu(y_2, -0.9, -0.6, -0.3, 0)$
Z	$\mu(e_1, -1, 0, 0, 1)$	$\mu(e_2, -1, 0, 0, 1)$	$\mu(y_1, -0.3, 0, 0, 0.3)$	$\mu(y_2, -0.3, 0, 0, 0.3)$
P	$\mu(e_1, 0, 1, 5, 10)$	$\mu(e_2, 0, 1, 5, 10)$	$\mu(y_1, 0, 0.3, 0.6, 0.9)$	$\mu(y_2, 0, 0.3, 0.6, 0.9)$

Результати моделювання зображено на рис. 2–4 у вигляді графіків поточного $\delta_t = \|E_t\|$ та усередненого у часі відхилення вхідних параметрів від еталонних значень:

$$\Delta_t = \frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t \delta_\tau, \quad t = 1, 2, \dots$$

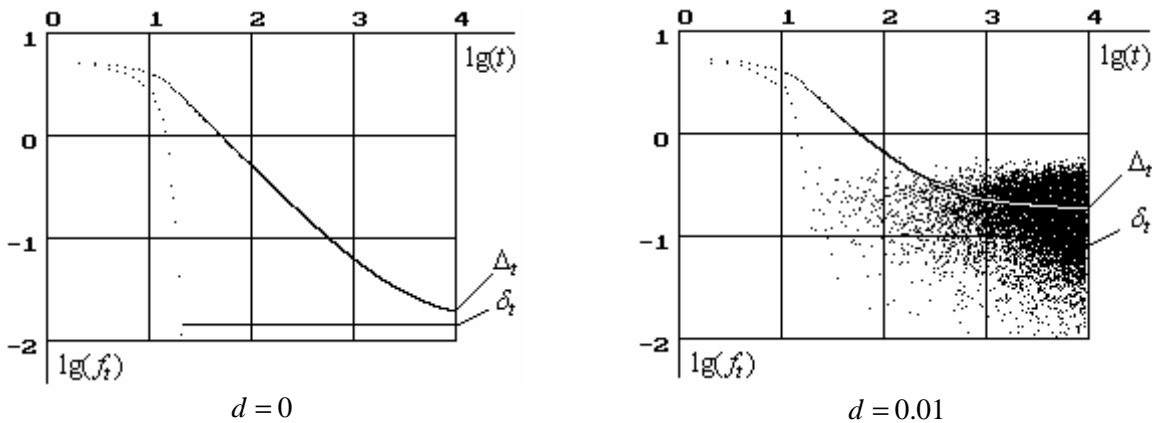


Рис. 2. Динаміка керування системою

Стабілізація поточного (при $d=0$) та зменшення середнього у часі відхилення виходів системи від еталонних значень підтверджує працездатність моделі керування з нечіткою логікою. Агент з нечітким виведенням рішень забезпечує керованість системи і при дії завад (наприклад, при $d=0.01$), які спричиняють розкид значень поточної похибки контрольованих параметрів. Ознакою керованості системи є стабілізація похибки її виходів. При цьому середня похибка набуває більшого значення, ніж у варіанті керування без завад.

На рис. 3 зображено графіки середньої похибки виходів керованої системи при дії завад, які розрізняються значенням дисперсії нормального розподілу. Із збільшенням дисперсії похибка керування системою зростає. Значне зростання дисперсії завад може призвести до втрати керованості системи (див. рис. 4). Максимальне значення дисперсії, при якому зберігається керованість системи, можна використати у якості оцінки рівня стійкості системи.

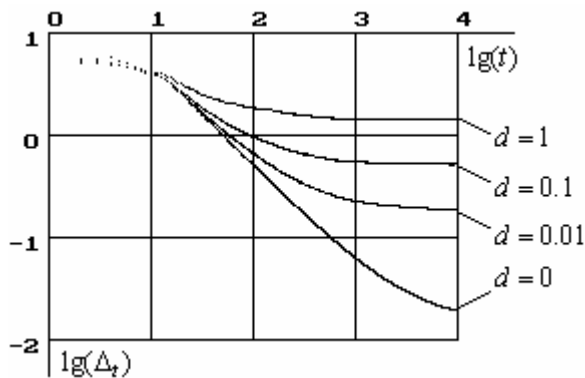


Рис. 3. Вплив завад на ефективність керування системою

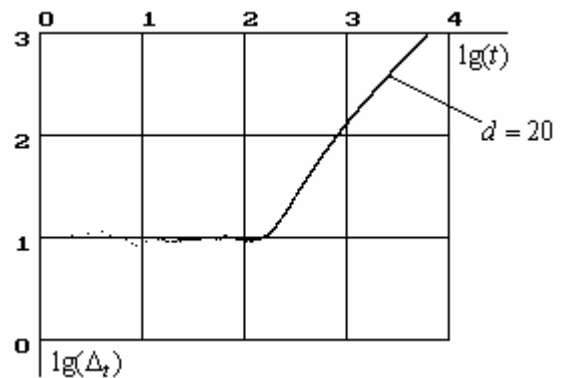


Рис. 4. Втрата керованості системи під дією інтенсивних завад

Крім дії інтенсивних зовнішніх завад, втрата керованості системи може бути спричинена неадекватністю моделі нечіткого логічного виведення. Якість та стійкість процесу керування переважно залежить від достовірності експертних знань про систему. Адекватність агентної моделі дія оператора системи визначається виглядом функцій належності нечітких множин, повнотою та несуперечливістю бази продукційних правил нечіткого логічного виведення рішень.

Висновки

1. Одним із способів керування системами в умовах невизначеності є використання інтелектуальних агентів, наділених проблемно-орієнтованими експертними знаннями у вигляді правил нечіткого логічного виведення рішень. Функції агента з нечітким логічним виведенням зводяться до перетворення чітких виходів керованої системи на нечіткі множини, визначення нечітких виходів продукційних правил, агрегування нечітких виходів правил та їх перетворення на чіткі значення.
2. Збіжність та ефективність процесу керування з нечіткою логікою визначається адекватним заданням нечітких множин, структурою та змістом правил нечіткого логічного виведення.
3. Підвищення інтелектуального рівня системи нечіткого логічного виведення можна досягнути адаптивним підстроюванням функцій належності нечітких множин, поповненням і вдосконаленням бази правил у процесі навчання.
4. Отримані результати та розроблене алгоритмічне і програмне забезпечення дають можливість налаштування для керування іншими системами відповідною спеціалізацією баз експертних знань.
5. Запропонована модель агента-оператора з нечіткою логікою можна покласти в основу проектування мультиагентних систем розподіленого штучного інтелекту.
6. Питання несуперечливості та повноти баз експертних правил, розроблення гібридних методів штучного інтелекту агентів, забезпечення умов збіжності, точності та навчання методів нечіткого логічного виведення потребують окремого розгляду та вирішення.

1. Трухаєв Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р.И. Трухаев. – М.: Наука, 1981. – 258 с. 2. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях:

Монографія / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: ТГУ, 2000.— 352 с. 3. Weiss G. *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence* / G. Weiss, editor. – Springer Verlag, Berlin, 1996. – 643 pp. 4. Wooldridge M. *An Introduction to Multiagent Systems* / M. Wooldridge. – John Wiley & Sons, 2002. – 366 p. 5. Zimmerman H. J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications* / H.J. Zimmerman. – Kluwer, Dordrecht, 1991. – 315 p. 6. Shaw I. S. *Fuzzy Control of Industrial Systems : Theory and Applications* / Ian S. Shaw. – Kluwer, Academic Publishers, 1998. – 192 p. 7. Кравець П.О. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою / П.О. Кравець, Р.В. Киркало // *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 650. – С. 115 – 124. 8. Кравець П.О. Прийняття оптимальних рішень методом навчання з нечіткою логікою / П.О. Кравець, О.М. Проданюк // *Інформаційні системи та мережі: Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 653. – С. 129 – 147.

УДК 004.925

М. Олексів

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗОБРАЖЕНЬ СЦЕНИ, ЩО МІСТИТЬ ЛІТАКИ

© Олексів М., 2010

Розглянуто математичну модель зображень літаків на довільному фоні. Запропонована модель розглядає зображення як множину текстур. Враховуються як негативні природні впливи на зображення, так і особливості зображень літаків на сцені за різних умов. Модель придатна для розроблення віконних методів опрацювання згаданих зображень.

Ключові слова: літак, сцена, модель, моніторинг.

In the article the mathematical model of a scene that contains images with airplanes is considered. This model treats image of a scene as a set of textures. It takes into consideration negative natural influences and particularities of airplane representations on a scene in different conditions. The model is suitable for mentioned images digital image processing window methods development.

Keywords: airplane, scene, model, monitoring.

Вступ

Для розроблення систем візуального моніторингу прилеглого до аеропорту простору необхідна наявність математичного апарату, який дасть змогу розв'язувати задачу візуального моніторингу прилеглого до аеропорту простору, зокрема виявлення й ідентифікації літаків. Для розроблення такого математичного апарату, своєю чергою, необхідна наявність математичної моделі зображень сцени, що містить зображення літаків на довільному фоні за різних умов. Наявність цієї моделі дасть змогу розробляти нові та покращувати існуючі методи цифрового опрацювання зображень, що містять літаки. Це, своєю чергою, підвищить надійність систем візуального моніторингу прилеглого до аеропорту простору та полегшить процес їх розроблення.

Огляд літературних джерел

До існуючих математичних моделей можна віднести моделі літаків МІГ-31 і F-16, описані у [1]. Моделі придатні для опису лише зображення літака, а не сцени загалом.