

УДК 62-5:519.6

О.В. Шульга, О.І. Данник, Д.М. Нелюба

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ FUZZY-РЕГУЛЯТОРІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ДОРОЖНІХ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Запропонована методика застосування генетичних алгоритмів для параметричної оптимізації fuzzy-регуляторів систем управління рухом дорожніх розмічувальних машин. За допомогою моделювання в середовищі MATLAB показана ефективність застосування даної методики у порівнянні з стандартними налаштуваннями.

Ключові слова: генетичний алгоритм, параметрична оптимізація, fuzzy-регулятор, система управління, дорожня розмічувальна машина.

Вступ

При проектуванні систем управління на базі fuzzy логіки важливим етапом є вибір правил “ЯК-ЩО-ТО”, а також вибір форм функцій належності (ФН) вхідних та вихідних змінних. Правильно сформована база правил гарантує прийняття найкращого якісного рішення в конкретній ситуації. Але одночасно на точність і якість fuzzy моделі суттєвий вплив має також вигляд та форма ФН вхідних і вихідних змінних [1]. Тому налаштування fuzzy систем відбувається у декілька етапів [2, 3]:

– структурна ідентифікація fuzzy-регулятора (вибір нечітких правил “ЯКЩО-ТО”, вибір вигляду і форм ФН);

– параметричне налаштування fuzzy-регулятора (оптимізація коефіцієнтів упевненості в правилах (вагів правил), оптимізація параметрів ФН).

Зокрема, така задача виникає при проектуванні fuzzy-регулятора системи управління рухом дорожньої розмічувальної машини [4].

Аналіз попередніх досліджень. У роботі [5] була запропонована структура такого регулятора. Пошук його оптимальних параметрів можна здійснювати шляхом проб і помилок, досліджуючи різні, довільним чином вибрані параметри [6]. Однак, при застосуванні даного методу багато залишається поза увагою дослідника і процес пошуку оптимального набору параметрів може займати досить багато часу. Тому на практиці найчастіше використовуються наступні методи налаштування параметрів ФН: H_{∞} -оцінювання, застосування фільтрів Калмана, а також генетичні алгоритми (ГА) [6 – 9]. ГА дозволяють виконувати оптимізацію найбільш складних моделей завдяки здатності знаходити “досить хороше” рішення за менший час, ніж інші відомі методи пошукової оптимізації [6].

Метою роботи є розробка методики застосування генетичних алгоритмів для параметричної

оптимізації fuzzy-регуляторів систем управління рухом дорожніх розмічувальних машин.

Матеріал і результат дослідження

Спочатку розглянемо деякі терміни, важливі при роботі з ГА. Хромосома називається рядок закодованих параметрів задачі або елементів її структури, які необхідно оптимізувати. Кожна хромосома являє собою одне із можливих рішень задачі й відповідає точці багатомірного простору пошуку. Елементи хромосом називаються генами і являють собою окремі елементи вирішуваної задачі оптимізації. Множина хромосом утворює популяцію. Кожна хромосома, яка входить в популяцію, оцінюється за допомогою критерію, який називають функцією пристосованості.

Традиційний ГА складається з наступних кроків [6, 9 – 14]:

1) ініціалізація алгоритма (кодування задачі у вигляді генів і хромосом, визначення функції пристосованості, визначення умови завершення алгоритма, вибір початкової популяції хромосом);

2) оцінка пристосованості хромосом у популяції;

3) перевірка умови завершення пошуку і, при його завершенні, вибір хромосоми (рішення), яке задовольняє даній умові (кінець пошуку). В іншому випадку перехід до кроку 4;

4) селекція хромосом, тобто їх розділення на “кращі” й “гірші” з метою відбору “кандидатів” для створення нових хромосом;

5) виконання генетичних операцій. Відібрані хромосоми застосовуються для створення нових хромосом за допомогою спеціальних генетичних операторів;

6) створення нової популяції. Нову популяцію необхідно оцінити, тобто повернутися до кроку 2.

Тоді формально ГА можна описати наступним чином:

$$GA = (P^0, \lambda, l, s, p, f, t), \quad (1)$$

де $P^0 = (a^0_1, \dots, a^0_\lambda)$ – вихідна популяція; a^0_i – рішення задачі, представлене у вигляді хромосоми; λ – розмір популяції; l – довжина кожної хромосоми популяції; s – оператор відбору; p – оператор, що визначає рекомбінацію (кросовер, мутація); f – функція пристосованості; t – критерій зупинки.

Для подальшої реалізації ГА на практиці необхідно визначити кожен із вказаних параметрів для задачі параметричної оптимізації fuzzy-регуляторів з метою досягнення ними найкращих показників якості управління.

Пропонований fuzzy-регулятор описується виглядом 15 ФН (по п'ять на кожну з лінгвістичних змінних – дві вхідні й одну вихідну). Для задавання кожної ФН трикутного вигляду необхідно три дійсних числа – a , b , c . База знань запропонованого регулятора складається з 25 правил, кожне з яких має свій ваговий коефіцієнт (коефіцієнт упевненості в правилі). Таким чином, у першому наближенні fuzzy-регулятор описується 70-ма параметрами. Але число параметрів, по яким необхідно проводити оптимізацію, можна суттєво скоротити, врахувавши наступне:

– шість ФН завжди мають один із параметрів по модулю рівний ∞ (крайні терми лінгвістичних змінних);

– три ФН завжди мають один із параметрів рівний нулю (терми лінгвістичних змінних “близьке до нуля”);

– при “близьких до нуля” поперечному відхиленню і курсовому куті кут повороту керованих коліс також буде “близьким до нуля”, тобто ваговий коефіцієнт такого правила дорівнює одиниці;

– правила у базі знань є симетричними відносно нульової точки з метою однакового відпрацювання відхилення обох знаків. Відповідно вагові коефіцієнти двох симетричних правил також мають бути однаковими;

– терми вихідної і вхідних змінних fuzzy-регулятора мають бути симетричними відносно нульової точки.

Деякі автори для отримання більш гладкої поверхні відгуку fuzzy моделі рекомендують дотримуватися умови розбиття одиниці, тобто рівності одиниці суми ступенів належності для кожного із елементів області визначення [15]. Врахувавши все вище викладене, параметри ФН, які підлягають оптимізації, можна зобразити наступним чином (рис. 1).

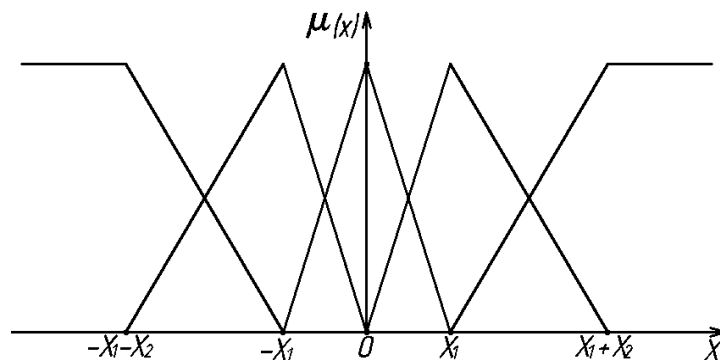


Рис. 1. Представлення параметрів ФН, що підлягають оптимізації, з урахуванням виконання умови розбиття одиниці

Остаточно fuzzy-регулятор системи управління рухом дорожньої розмічувальної машини описується 18-ма змінними (6 на ФН і 12 на базу правил).

Тепер ці змінні необхідно певним чином закодувати у хромосому. Одночасно кодування змінних при оптимізації стикається з певними труднощами, оскільки:

– кожна лінгвістична змінна має свій діапазон вимірювання, відповідно різні змінні змінюються в різних діапазонах, а для застосування оптимізаційного алгоритма необхідно, щоб всі змінні мали однаковий діапазон варіювання;

– у кожній лінгвістичній змінній має зберігатися чіткий порядок розташування її термів;

– терми мають перекривати увесь інтервал зміни змінної, тобто між термами не має бути розривів.

Перша проблема вирішується шляхом підбору для кожної лінгвістичної змінної своєї масштабної функції у результаті чого діапазони змінних стають однаковими. Труднощі, наведені в другому і третьому пунктах, вдається оминати, застосувавши таке задавання вершин ФН, як показано на рис. 1. При кодуванні параметрів fuzzy моделі використаний підхід, запропонований у [16].

Зведемо всі параметри в один вектор

$$S = (X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (2)$$

де X_1 - X_6 – параметри ФН лінгвістичних змінних, а X_7 - X_{18} – вагові коефіцієнти.

Після кодування параметрів у хромосому запускається механізм звичайного ГА, параметри якого були підібрані найбільш ефективним чином на основі проведених нами досліджень.

Критерій оптимальності здебільшого приймається у вигляді квадратичного функціонала від кількох функцій [17]:

$$I = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot f_i^2(t) dt, \quad (3)$$

де a_i – задані вагові коефіцієнти; t_0, t_1 – час початку і закінчення роботи об'єкта.

Прийнявши припущення про те, що похибка $\varepsilon(t)$ і керуючий вплив $x_y(t)$ є ергодичними випадковими процесами, функцію оптимальності (приспособаності) запишемо таким чином:

$$I = \int_{t_0}^{t_1} (a_1 \cdot \varepsilon^2(t) + a_2 \cdot x_y^2(t)) dt. \quad (4)$$

Вибір функції оптимальності у такому вигляді обумовлений підвищеними вимогами, які накладаються на точність нанесення горизонтальної дорожньої розмітки Державними будівельними нормами України, а також необхідністю мінімізації керуючого впливу з метою збереження робочого ресурсу рульового механізму.

Тоді задача оптимізації сформулюється наступним чином: відповідно до критерію оптимальності I (4) знайти такий вектор S (2), який забезпечує $I = \min$.

Моделювання роботи генетичного алгоритму проводилося в середовищі MATLAB (Genetic Algorithm Toolbox).

Функція приспособаності задавалася у вигляді m-файла, структура якого наведена на лістингу 1:

```
function y = my_fun(x)
h=[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
% Scale coefficients
j=[0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.3,0.3,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1];
x_s=h+(j-h).*x; % Scaling
data_i=[x_s]; % Logging input
dlmwrite('log.txt',data_i,'-append');
fis_temp=readfis('My_FIS.fis'); % Read FIS-file
% Modify FIS
%% Input 1
fis_temp.input(1,1).mf(1,1).params=[-1e5,-x(1)-x(2),-x(1)];
fis_temp.input(1,1).mf(1,2).params=[-x(1)-x(2),-x(1),0];
fis_temp.input(1,1).mf(1,3).params=[-x(1),0,x(1)];
fis_temp.input(1,1).mf(1,4).params=[0,x(1),x(1)+x(2)];
fis_temp.input(1,1).mf(1,5).params=[x(1),x(1)+x(2),1e5];
%% Input 2
fis_temp.input(1,2).mf(1,1).params=[-1e5,-x(3)-x(4),-x(3)];
fis_temp.input(1,2).mf(1,2).params=[-x(3)-x(4),-x(3),0];
fis_temp.input(1,2).mf(1,3).params=[-x(3),0,x(3)];
fis_temp.input(1,2).mf(1,4).params=[0,x(3),x(3)+x(4)];
fis_temp.input(1,2).mf(1,5).params=[x(3),x(3)+x(4),1e5];
%% Output
fis_temp.output.mf(1,1).params=[-1e5,-x(5)-x(6),-x(5)];
fis_temp.output.mf(1,2).params=[-x(5)-x(6),-x(5),0];
fis_temp.output.mf(1,3).params=[-x(5),0,x(5)];
fis_temp.output.mf(1,4).params=[0,x(5),x(5)+x(6)];
fis_temp.output.mf(1,5).params=[x(5),x(5)+x(6),1e5];
% Rule
is_temp.rule(1).weight=x(7);
fis_temp.rule(2).weight=x(9);
fis_temp.rule(3).weight=x(10);
fis_temp.rule(4).weight=x(11);
fis_temp.rule(5).weight=x(16);
fis_temp.rule(6).weight=x(12);
fis_temp.rule(7).weight=x(8);
fis_temp.rule(8).weight=x(13);
fis_temp.rule(9).weight=x(17);
fis_temp.rule(10).weight=x(18);
fis_temp.rule(11).weight=x(14);
fis_temp.rule(12).weight=x(15);
fis_temp.rule(13).weight=1;
fis_temp.rule(14).weight=x(15);
fis_temp.rule(15).weight=x(14);
fis_temp.rule(16).weight=x(18);
fis_temp.rule(17).weight=x(17);
fis_temp.rule(18).weight=x(13);
fis_temp.rule(19).weight=x(8);
fis_temp.rule(20).weight=x(12);
fis_temp.rule(21).weight=x(16);
fis_temp.rule(22).weight=x(11);
fis_temp.rule(23).weight=x(10);
fis_temp.rule(24).weight=x(9);
fis_temp.rule(25).weight=x(7);
writefis(fis_temp,'My_FIS.fis'); % Write FIS-file
sim('fuzzy_controller.mdl'); % Simulation
e=error.signals.values; % Result calculating
e2=e*e;
u=control.signals.values;
u2=u*u;
data_r=[e2,u2,e2+u2]; % Logging Result
dlmwrite('log.txt',data_r,'-append');
y=e2+u2; % Result
```

Лістинг 1. Структура m-файла

Висновки

У роботі запропонована методика застосування ГА для параметричної оптимізації fuzzy-регуляторів систем управління рухом дорожніх розмічувальних машин. Обраний ГА тестувався протягом 100 поколінь (по 30 хромосом у кожному поколінні), у результаті чого було знайдено найкращу хромосому, значення функції пристосованості для якої $I = 116,5$. Дане значення є набагато кращим від того, яке отримується при стандартних налаштуваннях: рівномірному розподілі ФН на робочій області й усіх вагових коефіцієнтах правил, рівних одиниці. Дану методику можна застосовувати для параметричної оптимізації fuzzy-регуляторів систем управління об'єктами схожої складності.

Список літератури

1. Membership function shape and the dynamic behaviour of fuzzy systems / S. Baglio, L. Fortuna, S. Graziani, G. Muscato // *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. – 1994. – №8. – P. 369-377.
2. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
3. Галай М.В. Використання принципів еволюційного програмування в ідентифікації нелінійних технічних систем / М.В. Галай, О.М. Скрильник // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – № 2. – С. 105-109.
4. Данник О.І. Керування рухом розмічувальної машини на базі нечіткої логіки / О.І. Данник // *Автоматика-2010: мат. XVII Міжнар. конф. з автоматичного управління, Харків, 27-29 вересня 2010 р.* – Т. 2. – С. 44-45.
5. Данник О.І. Структура нечіткого регулятора системи керування тракторією руху дорожньої розмічувальної машини / О.І. Данник, Д.М. Нелюба // *Системи озброєння і військова техніка*. – X.: ХУПС, 2011. – № 3 (27). – С. 112-116.
6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. А.В. Подвесовского и Ю.В. Тюменцева / А. Пегат. – М.: БИНОМ, 2011. – 798 с.
7. Simon D. H-infinity estimation for fuzzy membership function optimization / D. Simon // *International Journal of Approximate Reasoning*. – 2005. – Vol. 40, no. 3. – P. 224-242.

8. Simon D. Training fuzzy systems with the extended Kalman filter / D. Simon // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2002. – Vol. 132. – P. 189-199.

9. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского / Д. Рутковская, М. Пилинський, Л. Рутковський. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 452 с.

10. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы: учеб. пособие / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – Ростов-на-Дону: ООО "Ростиздат", 2004. – 400 с.

11. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 242 с.

12. Батищев Д.И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации / Д.И. Батищев, Е.А. Неймарк, Н.В. Старостин. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2007. – 85 с.

13. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Т.В. Панченко. – Астрахань: Издательский дом "Астраханский университет", 2007. – 87 с.

14. Субботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: моногр. / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

15. Brown M. Neurofuzzy adaptive modelling and control / M. Brown, C. Harris. – New York: Prentice Hall, 1994. – 508 p.

16. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний: моногр. / Ю.И. Митюшкин, Б.И. Мокш, А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.

17. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.

18. Северин В.П. Синтез нечетких систем автоматического управления генетическими алгоритмами по векторным критериям в среде MATLAB / В.П. Северин // *Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB: труды V Междунар. научн. конф. 11-13 мая 2011 г.* – X., 2011. – С. 68-92.

Надійшла до редколегії 14.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ FUZZY-РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ДОРОЖНЫХ РАЗМЕТОЧНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

А.В. Шульга, А.И. Данник, Д.Н. Нелюба

Предложена методика использования генетических алгоритмов с целью параметрической оптимизации fuzzy-регуляторов систем управления движением дорожных разметочных машин. С помощью моделирования в среде MATLAB показана эффективность использования данной методики в сравнении со стандартными настройками.

Ключевые слова: генетический алгоритм, параметрическая оптимизация, fuzzy-регулятор, система управления, дорожная разметочная машина.

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF THE MOVEMENT SYSTEM CONTROL FUZZY-CONTROLLERS OF THE ROAD MARKING MACHINES USING GENETIC ALGORITHM

O.V. Shulga, O.I. Dannik, D.M. Nelyuba

The method of parametric optimization of the movement systems control fuzzy-controllers of the road marking machines using genetic algorithm is proposed. With the help of simulation in MATLAB demonstrate the effectiveness of this method compared with standard settings.

Key words: genetic algorithm, parametric optimization, fuzzy-controller, control system, road marking machines.