



Dissertation Council 24.2.403.01
Reshetnev Siberian State University of
Science and Technology
Krasnoyarsk, Russia

Faculty of Mathematics and
Economics
Institute of Stochastics

Prof. Dr. Evgeny Spodarev
Head of the Institute

Helmholtzstrasse 18
89081 Ulm, Germany

Tel: +49 731 50-23530
Fax: +49 731 50-23649
evgeny.spodarev@uni-ulm.de
www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik

28. November 2023

Review

on the author's summary of the dissertation

Evolutionary algorithms for the solution of problems in symbol regression to identify dynamical systems

by **Tatiana Sergeyevna Karaseva** submitted for the degree of the Candidate of Technical Sciences, scientific specialty 2.3.1 (System Analysis, Control and Information Processing, Statistics).

This study concerns the problem of the design and implementation of genetic evolution algorithms for identifying a (system of) ordinary differential equations (ODEs) from the data of a dynamical system. A modified genetic programming algorithm solves the problem of symbol regression using a binary tree structure. In an automated way, the order and number of differential equations, the structure of their right-hand side as well as their coefficients are estimated from the given data. In order to design the structure operator, usual arithmetic operations as well as elementary functions (such as trigonometric functions, logarithm, exponential, power function and absolute value) are allowed. The solutions of proposed ordinary differential equations are obtained numerically via the Runge-Kutta 4th order scheme. The regression estimates are based on minimizing a relative sum-of-squares fitness score function. Similar machinery is used to solve a Cauchy problem for an ODE of k th order. In all of the above, the order and the number of differential equations is just bounded from above, but not fixed in advance. A final solution is given in a symbol form.

The work proposes novel ideas implementing symbol regression on a genetic evolution basis. Thus, basic evolutionary operations such as initialization, selection, crossing and mutation together with fitness computation had to be redesigned to meet the needs of symbol regression for dynamical systems' identification.

The implementation of the above method was tested to work well on a number of systems of two or more ODEs as well as for Cauchy problems of 1st and 2nd order with known analytical solutions. The test results show a high precision of identification.



In the applied aspect, the proposed approach was proved to be efficient in solving 8 practical identification problems of dynamical systems originating from chemistry, biology, physics and economics. The performance was compared to competing approaches of a recurrent neural network and a nonparametric kernel regression. It was shown that the error rate of the author's method was least among the competitors.

To summarize, the high performance of the proposed methods is proved by the results of numerous computational experiments and solving real-world problems that can be of interest in industry. The software used in the work is patented (in Russia).

The author has published 27 papers containing results of her work. Results are presented at local as well as international conferences, and some papers are published in peer-reviewed editions in English.

I conclude that the research performed by Tatiana Karaseva meets the general accepted requirements for a candidate of technical sciences' dissertation. Her proposed methods and results are new and significant, and therefore, I recommend **Tatiana Sergeyevna Karaseva to award her with the degree of the Candidate of Technical Sciences.**

Sincerely yours,

Prof. Dr. Evgeny Spodarev

Логотип Ульмского университета
/Знание, обучение, забота/

УЛЬМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В диссертационный совет 24.2.403.01 при
Сибирском государственном университете
науки и технологий им. М.Ф. Решетнева

Факультет математики и
экономики
Институт стохастики

Профессор, д-р Евгений Сподарев,
директор института

89081, Германия, Ульм,
Хельмхольцштрассе, 18

Тел.: +49 731 50-23530

Факс: +49 731 50-23649

evgeny.spodarev@uni-ulm.de

www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik

28 ноября 2023

ОТЗЫВ

Отзыв на автореферат диссертации Карасевой Татьяны Сергеевны «Эволюционные алгоритмы решения задач символьной регрессии для идентификации динамических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Данное исследование посвящено разработке и применению генетических эволюционных алгоритмов для идентификации (систем) обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) на основе данных о динамической системе. Модифицированный алгоритм генетического программирования решает задачу символьной регрессии с использованием структуры бинарных деревьев. Порядок и количество дифференциальных уравнений, структура их правой части, а также коэффициенты оцениваются автоматически на основе имеющихся данных. Для проектирования оператора структуры используются обычные арифметические операции, а также элементарные функции (такие как тригонометрические функции, логарифмы, экспонента, возведение в степень и абсолютная величина). Решения предложенных обыкновенных дифференциальных уравнений получаются численно методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Оценки регрессии основаны на минимизации функции относительной оценки пригодности суммы квадратов. Такой же подход используется для решения задачи Коши для ОДУ k -го порядка. Во всех упомянутых выше случаях порядок и количество дифференциальных уравнений просто ограничено сверху, но заранее не фиксируется. Окончательное решение дается в символьной форме.

Работа предлагает новые идеи применения символьной регрессии на основе генетической эволюции. В этой связи, базовые эволюционные операторы, такие как инициализация, селекция, скрещивание и мутация, а также вычисление пригодности должны были быть спроектированы по-новому для того, чтобы соответствовать задаче символьной регрессии для идентификации динамических систем.

Реализация вышеупомянутого метода была успешно протестирована на системах двух и более ОДУ, а также на задачах Коши первого и второго порядка с известными аналитическими решениями. Результаты тестирования показывают высокую точность идентификации.

В прикладном аспекте, предложенный подход продемонстрировал свою эффективность в решении восьми практических задачах идентификации динамических систем из таких областей как химия, биология, физика и экономика. Работоспособность была сравнена с конкурирующими подходами, такими как рекуррентная нейронная сеть и непараметрическая ядерная регрессия. Было показано, что уровень ошибки авторского метода был наименьшим из всех.

Подводя итоги, высокая эффективность предложенных методов была доказана в результате большого количества численных экспериментов и решения реальных практических задач, что может представлять интерес для промышленности. Используемое в работе программное обеспечение запатентовано (в России).

У автора 27 опубликованных статей, содержащих результаты работы. Результаты представлены на местных и международных конференциях, а несколько статей опубликованы в рецензируемых журналах на английском языке.

Из этого я заключаю, что научное исследование, выполненное Татьяной Карасевой, соответствует принятым для диссертации кандидата технических наук требованиям. Предложенные ею методы и результаты значительны, поэтому я рекомендую **присудить Карасевой Татьяне Сергеевне степень кандидат технических наук.**

С уважением,
Профессор, д-р Евгений Сподарев

/Подпись/

2/2 стр.

--конец перевода--

