

## Отчёт о проделанной работе на кластере ИВЦ НГУ

### 1. Тема работы:

Разработка и исследование методов эволюционного синтеза нелинейных математических моделей на основе темплейтов.

### 2. Состав коллектива:

Монахов Олег Геннадьевич, ИВМиМГ СО РАН, в.н.с., к.т.н., руководитель,  
Монахова Эмилия Анатольевна, ИВМиМГ СО РАН, в.н.с., к.т.н., исполнитель.

### 3. Информация о гранте:

Работа выполняется по Программе НИР ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0005 на 2020 - 2024 гг.

### 4. Научное содержание работы:

Постановка задачи.

В рамках проекта будут разработаны и исследованы новые, основанные на основанные на вычислительном интеллекте, эволюционных вычислениях и биоинспирированных алгоритмах, методы автоматического синтеза нелинейных математических моделей на основе экспериментальных данных. Эффективность данного подхода будет теоретически исследована и экспериментально апробирована на суперЭВМ при синтезе нелинейных математических моделей, возникающих при описании природных процессов и при проектировании инфокоммуникационных сетей связи.

Современное состояние проблемы.

В рамках проекта рассматривается проблема автоматического синтеза описаний нелинейных математических моделей природных процессов и технических объектов на основе экспериментальных данных. Данная проблема решается известными методами теории индуктивного вывода, методами группового учета аргументов, методами теории искусственных нейронных сетей, методами машинного обучения и установления закономерностей, обобщения и вывода на знаниях, а также одним из перспективных направлений в данной области - методами эволюционных вычислений и генетического программирования. Традиционный подход генетического программирования страдает от слабоограниченного слепого поиска в огромных пространствах параметров для реальных прикладных проблем и имеет большие временные затраты при увеличении сложности решаемых задач. Поэтому перспективным путем сокращения трудоемкости автоматического синтеза нелинейных математических моделей является использование типовых алгоритмических структур (темплейтов, шаблонов, скелетонов) и гибридизации методов генетического программирования и биоинспирированных (природоподобных) алгоритмов оптимизации. Другим перспективным путем сокращения времени поиска решения при автоматическом эволюционном синтезе является распараллеливание эволюционных вычислений, позволяющее значительно сократить время исполнения и получить линейное ускорение на высокопроизводительных вычислительных системах.

Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы.

Разработан новый унифицированный метод метаэвристического программирования для синтеза нелинейных моделей, который использует представление хромосомы в виде вектора действительных чисел и позволяет

применить различные биоинспирированные (природоподобные) алгоритмы оптимизации при поиске моделей. Описанный подход позволяет также использовать темплейты (шаблоны, скелетоны) алгоритмов для ускорения процесса эволюционного синтеза. Исследовано влияние степени специализации темплейта на характеристики алгоритма поиска при эволюционном синтезе нелинейных моделей, заданных обыкновенными дифференциальными уравнениями с недоопределенными функциями. Были разработаны новые эффективные методы, алгоритмы и программы кодирования и декодирования математических выражений в виде векторов действительных чисел. Предложен алгоритм метаэвристического программирования с экспрессией генов для решения задачи автоматического построения нелинейных моделей (математических выражений, функций, алгоритмов и программ) на основе заданных экспериментальных данных с использованием предложенных методов кодирования и декодирования.

#### Полученные результаты.

Проведено исследование предложенного метода метаэвристического программирования для синтеза нелинейных математических моделей. Получены оценки эффективности предложенного подхода с использованием десяти различных биоинспирированных алгоритмов (генетический алгоритм - две модификации, алгоритм дифференциальной эволюции, алгоритм оптимизации роем частиц, алгоритм колонии пчел, алгоритм оптимизации на основе преподавания и обучения и его две модификации, эволюционная стратегия с адаптацией матрицы ковариаций, алгоритм поиска на основе теплопередачи) и проведено его сравнение со стандартным алгоритмом генетического программирования, алгоритмом грамматической эволюции и алгоритмом декартового генетического программирования. Проведенные эксперименты с использованием параллельных вычислений показали существенное преимущество предложенного подхода по сравнению с указанными алгоритмами как по времени поиска решения (более чем на порядок в большинстве случаев), так и по вероятности нахождения заданной функции (модели) (во многих случаях более чем в два раза). Получены оценки трудоемкости алгоритма метаэвристического программирования с экспрессией генов и показано значительное сокращение времени поиска при использовании темплейтов в процессе эволюционного синтеза. Получены экспериментальные оценки временной сложности алгоритма метаэвристического программирования с экспрессией генов при использовании четырнадцати биоинспирированных алгоритмов в процессе эволюционного синтеза и показаны его преимущества по сравнению с известными методами. Иллюстрации, визуализация результатов. Нет.

#### **5. Эффект от использования кластера в достижении целей работы.**

Эффект от использования кластера для исследования предложенного метода метаэвристического программирования при синтезе нелинейных моделей состоит в для ускорении вычислений и в доступе к лицензионному ПО (Mathematica, MATLAB).

#### **6. Перечень публикаций, содержащих результаты работы.**

1. Монахов О. Г., Монахова Э. А. Разработка метода метаэвристического программирования для синтеза нелинейных моделей // Сибирский журнал вычислительной математики, 2020, Т. 23, № 4, с. 415-429, (Web of Sci., Q3)

2. Monakhov O., Evolutionary synthesis of nonlinear models based on metaheuristic programming and templates.// Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1715, International Conference «Marchuk Scientific Readings 2020» (MSR-2020), 2021, 012010, 6 p. (Scopus)
3. O. G. Monakhov, E. A. Monakhova, Comparative Evaluation of Algorithms for Automatic Construction of Nonlinear Models Based on Metaheuristic Programming with Gene Expression // CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2965, pp. 254–259. (Scopus)
4. Монахов О. Г., Эволюционный синтез нелинейных моделей на основе метаэвристического программирования и темплейтов // Тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука Новосибирск, 19–23 октября 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2020. С.154-155
5. О. Г. Монахов, Э. А. Монахова, Сравнительная оценка алгоритмов автоматического построения нелинейных моделей на основе метаэвристического программирования с экспрессией генов. // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов X-й Международной научно-технической конференции (ИММВ-2021, Коломна, 17-20 мая 2021 г.). В 2-х томах. Т. 2. – Смоленск: Универсум, 2021. – с. 179 -189.

#### **7. Впечатления от работы вычислительной системы и деятельности ИВЦ НГУ.**

Впечатления от работы с ИВЦ НГУ однозначно положительные, особенно следует отметить квалифицированные и своевременные консультации и помощь ведущего инженера Владислава Анатольевича Калюжного.