

Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова

Загрязнение воздуха тяжелыми металлами представляет серьезную опасность для здоровья человека. В рамках международной программы UNECE ICP Vegetation в 2022 г. были продолжены исследования по мониторингу и прогнозированию процессов загрязнения воздуха, проводимые в ЛИТ совместно с ЛНФ. В ходе выполнения работ были апробированы различные статистические и нейросетевые модели, обученные на реальных данных по загрязнению воздуха и данных дистанционного зондирования Земли. Показатели исследований по загрязнению Владимирской, Ярославской и Московской областей были использованы для создания прогноза загрязнения во всем Центральном регионе России. Получены многообещающие результаты при прогнозировании концентрации девяти тяжелых металлов — средняя точность моделей превысила 89 %. Построены детализированные карты загрязнения алюминием, железом и сурьмой в Центральном регионе России.

Uzhinskiy A., Vergel K. Central Russia Heavy Metal Contamination Model Based on Satellite Imagery and Machine Learning // *Comput. Opt.* 2023. V.47, No. 1. P. 137–151; doi:10.18287/2412-6179-CO-1149

Предложен принципиально новый подход к численному решению задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений — метод МБЭ-ПК (метод базисных элементов — «предиктор–корректор») на основе многочленов в форме базисных элементов (МБЭ-многочлены), разработанных ранее в ЛИТ. В отличие от явных методов Рунге–Кутты, Адамса и др., непригодных для решения жестких задач, схема, построенная на основе МБЭ-многочленов, может решать такие задачи. В МБЭ-ПК используется явная схема «предиктор–корректор». Вычисление прогноза на очередном шаге осуществляется с помощью двух МБЭ-многочленов пятой степени, связанных дополнительными условиями при двойном обращении к правой части уравнения. Погрешность метода регулируется длиной шага h и управляющим параметром K , $0 < K < 1$. Такая схема обеспечивает пятый порядок точности и устойчива при вычислениях с предельно малым шагом ($h = 10^{-17}$, 10^{-15}). Результаты анализа асимптотически точной оценки погрешности по схеме Ричардсона на последовательности измельчающихся сеток подтвердили пятый порядок точности метода. Устойчивость МБЭ-многочленов к вычислениям с чрезмерно малым шагом подтверждается испытанием метода тестом для

Meshcheryakov Laboratory of Information Technologies

Atmospheric heavy metal contamination poses a real threat to human health. Within the UNECE ICP Vegetation, the research on monitoring and predicting air pollution processes, carried out at MLIT together with FLNP, was underway in 2022. In the course of the work, different statistical and neural network models, which were trained on real atmospheric contamination data and remote sensing data, were tested. Indicators from air pollution surveys in the Vladimir, Yaroslavl and Moscow Regions were used to create a contamination prediction for the entire Central Russia region. Promising results were obtained in predicting the concentrations of nine heavy metals, with an average accuracy of the models exceeding 89%. Detailed maps of Al, Fe, and Sb contamination in the Central Russia region were made.

Uzhinskiy A., Vergel K. Central Russia Heavy Metal Contamination Model Based on Satellite Imagery and Machine Learning // *Comput. Opt.* 2023. V. 47, No. 1. P. 137–151; doi:10.18287/2412-6179-CO-114

A fundamentally new approach to the numerical solution of the Cauchy problem for ordinary differential equations, i.e., the BEM-PC (basic element method “predictor–corrector”) method, based on polynomials in the form of basic elements (BEM polynomials), developed earlier at MLIT, was proposed. In contrast to the explicit methods of Runge–Kutta, Adams and others, which are unsuitable for solving stiff problems, the scheme based on BEM polynomials allows solving such problems. The BEM-PC method uses an explicit “predictor–corrector” type scheme. The calculation of the prediction at the next step is carried out using two BEM polynomials of the fifth degree, connected by additional conditions and the double calculation of the right side of the equation. The error of the method is regulated by the step length h and the control parameter K , $0 < K < 1$. Such a scheme provides the fifth order of accuracy and is stable in calculations with extremely small steps ($h = 10^{-17}$, 10^{-15}). The results of the analysis of an asymptotically accurate error estimate according to the Richardson scheme on a sequence of shredding grids confirmed the fifth order of accuracy of the method. The stability of BEM polynomials to computations with excessively small steps is verified

жесткой задачи и решениями других нетривиальных задач.

Дикусар Н.Д. Численное решение задачи Коши на основе метода базисных элементов // Математическое моделирование. 2023. Т. 35, № 5.

Предложено достаточно простое и эффективное гибридное MPI+OpenMP распараллеливание метода рядов Тейлора с многократной точностью, позволяющее при необходимости использовать сколь угодно большой вычислительный ресурс. Для распараллеливания алгоритма объединяются параллельные MPI и OpenMP технологии вместе с библиотекой GMP (GNU Multiple Precision) и специальной библиотекой MPIGMP. Этот подход к распараллеливанию не зависит от стратегии выбора размера шага по времени (фиксированный или адаптивный). Несмотря на то, что тестовая модель представляет собой классическую систему Лоренца, предлагаемая стратегия распараллеливания носит довольно общий характер и может быть применена также к большому классу хаотических динамических систем для получения решений с требуемой точностью на больших интервалах по времени.

Hristov I. et al. Parallelizing Multiple Precision Taylor Series Method for Integrating the Lorenz System // BGSIAM 2020: Advanced Computing in Industrial Mathematics. Studies

in Computational Intelligence. 2023. V.1076. P.56–66; <https://doi.org/10.1007/978-3-031>.

Исследованы возможности робастного управления динамически неустойчивыми нелинейными объектами управления с реализацией на встраиваемых процессорах классической архитектуры. Описана стратегия проектирования интеллектуальных систем управления на основе технологий квантовых и мягких вычислений. В этом подходе математический формализм квантовой механики используется для построения новых алгоритмов квантового управления, успешно моделируемых на компьютерах классической архитектуры. Алгоритмы используют схему квантового нечеткого вывода — из баз знаний (включающих параметры функций принадлежности и множества нечетких правил), принадлежащих отдельным нечетким регуляторам, извлекается скрытая квантовая информация, на основе которой создается новая робастная база знаний. При этом исходные производственные правила и их количество в исходных неточных базах знаний не меняются. Этот процесс демонстрирует синергетический эффект квантовой самоорганизации — из двух ненадежных баз знаний нечеткого регулятора создается (в режиме реального времени) робастная база знаний квантового нечеткого регулятора. Этот

by testing the method with a test for a stiff problem and solving other non-trivial problems.

Dikusar N.D. Numerical Solution of the Cauchy Problem Based on the Basic Element Method // Math. Model. 2023. V. 35, No. 5.

A fairly simple and efficient hybrid MPI+OpenMP parallelization of the multiple precision Taylor series method, which enables one to use an arbitrarily large computational resource, is proposed. To parallelize the algorithm, MPI and OpenMP parallel technologies are combined together with the GMP (GNU Multiple Precision) library and the special MPIGMP library. This parallelization approach does not depend on the stepsize strategy (fixed or adaptive). Although the test model is the classical Lorenz system, the proposed parallelization strategy is rather general and can also be applied to a large class of chaotic dynamical systems in order to obtain long-term mathematically reliable solutions.

Hristov I. et al. Parallelizing Multiple Precision Taylor Series Method for Integrating the Lorenz System // BGSIAM 2020: Advanced Computing in Industrial Mathematics. Studies

in Computational Intelligence. 2023. V.1076. P.56–66; <https://doi.org/10.1007/978-3-031>.

The possibilities of the robust control of dynamically ill-defined nonlinear control objects with the implementation on embedded processors of classical architecture are investigated. The strategy for designing intelligent control systems based on quantum and soft computing technologies is described. In this approach, the mathematical formalism of quantum mechanics is used to construct new quantum control algorithms successfully modeled on classical computers. The algorithms apply a quantum fuzzy inference scheme; i.e., hidden quantum information is extracted from knowledge bases (including the parameters of membership functions and a set of fuzzy rules) belonging to individual fuzzy controllers, on the basis of which a new robust knowledge base is created. At the same time, the original production rules and their number in the original imperfect knowledge bases do not change. This process demonstrates the synergetic effect of quantum self-organization; namely, from two imperfect knowledge bases of a fuzzy controller, a robust knowledge base of a quantum fuzzy controller is created (online). This effect is purely

эффект имеет чисто квантовую природу и использует скрытую квантовую информацию, извлеченную из классических состояний. Разработанная технология повышает надежность интеллектуальных когнитивных систем, функционирующих в непредвиденных ситуациях управления, например, при взаимодействии коллектива роботов различных типов. На множестве примеров различных систем продемонстрировано эффективное внедрение схемы квантового нечеткого логического вывода в качестве готового программируемого алгоритмического решения для систем нижнего исполнительного уровня управления. Разработанные алгоритмы и стратегия проектирования впоследствии были успешно применены к разработке интеллектуальной системы управления охлаждением сверхпроводящих магнитов в рамках проекта NICA.

Ulyanov S. V., Reshetnikov A. G., Zrelova D. P. Industrial Robotic Intelligent Robust Control System: Applying Quantum Soft Computing Technologies and Quantum Software Engineering in Unpredicted Control Situations // *Software & Systems*. 2023. V. 36, No. 1. P. 197–206; doi: 10.15827/0236-235X.141.197-206.

quantum in nature and uses hidden quantum information extracted from classical states. The developed technology enhances the reliability of intelligent cognitive systems functioning in unforeseen control situations, for example, when interacting with an ensemble of robots of various types. The effective implementation of a quantum fuzzy inference scheme as a ready-made programmable algorithmic solution for systems of the lower executive level of control is demonstrated on a variety of examples of different systems. The developed algorithms and design strategy were subsequently successfully applied to the development of an intelligent cooling control system for superconducting magnets within the NICA project.

Ulyanov S. V., Reshetnikov A. G., Zrelova D. P. Industrial Robotic Intelligent Robust Control System: Applying Quantum Soft Computing Technologies and Quantum Software Engineering in Unpredicted Control Situations // *Software & Systems*. 2023. V. 36, No. 1. P. 197–206; doi: 10.15827/0236-235X.141.197-206.