

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Шайхисламова Дениса Ильгизовича «Исследование и разработка методов для сравнительного анализа суперкомпьютерных приложений на основе технологий интеллектуального анализа данных», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Современные суперкомпьютеры зачастую используются неэффективно, что приводит к простоям вычислительных ресурсов, замедлению вычислительных расчетов и, в конечном итоге, к финансовым потерям. Причин неэффективной эксплуатации суперкомпьютеров может быть много – неоптимальная работа менеджера ресурсов, некорректно настроенное программное обеспечение, деградация оборудования с течением времени, и так далее. Одна из наиболее частых причин заключается в низкой эффективности выполнения пользовательских приложений, запускаемых на суперкомпьютере.

Существует немало инструментов для профилирования, трассировки и отладки параллельных приложений, которые помогают повышать их производительность. Однако для того, чтобы их можно было применять, необходимо знать о том, что эффективность приложения на данном оборудовании недостаточно высока. При этом на практике оказывается, что многие пользователи не знают, что в их приложениях присутствуют проблемы с производительностью; подобной информацией часто не обладают и системные администраторы суперкомпьютеров.

Поэтому чрезвычайно актуальной является задача постоянного анализа потока заданий, выполняющихся на суперкомпьютере, с целью обнаружения проблем с производительностью в этих заданиях. Существуют различные подходы к проведению подобного анализа, и одним из перспективных направлений является выявление схожих приложений, поскольку это позволяет получать полезную информацию о новых приложениях на основе имеющихся данных о ранее запущенных и уже изученных заданиях. Однако существующие на данный момент исследования в этом направлении нацелены либо на анализ приложений определенного типа, либо на решение некоторой узконаправленной задачи (например, на выявление схожих фаз исполнения внутри одного приложения). Решение более общей задачи выявления

схожих приложений без привязки к их типу позволяет выполнять широкий спектр задач, таких как прогнозирование характеристик заданий, построение рекомендательной системы для выявления проблем с производительностью или обнаружение групп приложений с определенными свойствами.

Ключевой частью работы Д.И. Шайхисламова является разработка двух методов выделения схожих приложений. Общая идея работы методов заключается в следующем: изначально формируется база знаний о ранее запущенных заданиях, и затем для каждого нового задания выполняется поиск заданий из базы знаний, схожих с новым заданием по интересующим характеристикам. При этом сами алгоритмы определения схожести заданий в двух методах кардинально отличаются. Первый метод основан на анализе статической информации об именах функций и переменных, собираемых из исполняемых и объектных файлов приложений. Полученная информация обрабатывается с помощью нейросетевой модели Doc2Vec для преобразования исходных данных о задании в вектор фиксированной длины. После этого вычисляется расстояние между двумя векторами, соответствующих двум заданиям, что и позволяет оценивать их схожесть. Второй, динамический метод использует данные мониторинга, которые собираются с заданной регулярностью на вычислительных узлах во время выполнения пользовательских заданий. Эти данные описывают производительность каждого задания в виде многомерного временного ряда, и для сравнения двух заданий применяется метод на основе алгоритма Dynamic Time Warping, которые позволяет сравнивать подобные ряды.

Реализация и апробация двух данных методов на суперкомпьютере петафлопсного уровня «Ломоносов-2» показала высокую точность их работы, что позволяет применять их на практике для решения конкретных задач, направленных на повышение эффективности работы суперкомпьютеров. В рамках данной работы были выбраны и успешно решены три подобные задачи: обнаружение использования программных пакетов в приложениях, выявление групп схожих заданий, а также прогнозирование значений метрик оценки производительности приложений.

Первая задача направлена на автоматическое обнаружение прикладных пакетов для проведения вычислительных расчетов (таких как LAMMPS, NAMD и GROMACS) в заданиях, запускаемых пользователями. На практике эта информация зачастую отсутствует, например, в случае собственной сборки пользователем нужного пакета. При этом информация о популярности применения пакетов важна для администраторов суперкомпьютера, поскольку позволяет оценить необходимость

более эффективной настройки централизованно установленных пакетов, дальнейшей закупки лицензий, а также поддержки тех или иных версий пакетов. Для решения этой задачи в рамках суперкомпьютера «Ломоносов-2» использовался статический метод, и с его помощью удалось обнаружить в среднем на 15% больше заданий, использующих программные пакеты (до 80% в зависимости от пакета), по сравнению с исходным решением, применяемым на данном суперкомпьютере.

Цель второй задачи заключалась в автоматическом обнаружении схожих групп в потоке суперкомпьютерных заданий, что может применяться, например, для обнаружения заданий со сбоями, группировке однотипных заданий для облегчения их анализа, поиска новых используемых пакетов или версий. Для решения этой задачи был предложен двухэтапный алгоритм. На первом этапе выполняется иерархическая кластеризация с применением статического метода выделения схожих приложений, что позволяет выполнить первичное, более «грубое» разбиение заданий на группы. На втором этапе в рамках каждой выделенной группы выполняется кластеризация с применением динамического метода, что позволяет получить более «тонкое» финальное разбиение.

В рамках третьей задачи был успешно разработан и реализован алгоритм для прогнозирования значений оценок эффективности использования вычислительных ресурсов, предложенных ранее в НИВЦ МГУ. Данные оценки не всегда могут быть вычислены напрямую, и прогнозирование их значений для тех заданий, у которых оценки недоступны, позволяет решить данную проблему. Прогнозирование выполняется на основе интегрального подхода, использующего оба предложенных метода выделения схожих приложений. Данное решение позволяет прогнозировать значение оценок для 89% пользовательских заданий, при этом средняя ошибка невелика и заметно меньше погрешности при вычислении оценки напрямую.

Все предложенные алгоритмы и методы были реализованы в виде программного решения на языке Python. Экспериментальная оценка качества предложенных методов проводилась на суперкомпьютере петафлопсного уровня производительности «Ломоносов-2». По результатам экспериментального исследования, предложенный комплекс алгоритмов и их реализаций показал высокую точность работы и практическую значимость, а также возможность портирования на другие суперкомпьютерные системы.

При выполнении диссертационной работы Д.И. Шайхисламов продемонстрировал обширные теоретические знания и практические навыки в

рассматриваемых предметных областях, показал свою способность к принятию самостоятельных решений, а также инициативность и целеустремленность. Полученные в диссертации результаты являются новыми и были получены лично автором. Их достоверность подтверждается экспериментально на суперкомпьютере петафлопсного уровня производительности «Ломоносов-2», а также публикацией полученных результатов в 4 рецензируемых российских и международных научных изданиях. Результаты данной работы использовались для выполнения 1 гранта РФФИ и были доложены на 7 конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертация Шайхисламова Дениса Ильгизовича является законченным исследованием и удовлетворяет всем требованиям, Положения о присуждении научных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Рекомендую к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей работу Шайхисламова Дениса Ильгизовича «Исследование и разработка методов для сравнительного анализа суперкомпьютерных приложений на основе технологий интеллектуального анализа данных».

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,  
заведующий лабораторией анализа  
суперкомпьютерных систем и приложений,  
НИВЦ МГУ имени М.В. Ломоносова  
119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 4  
Телефон: +7-910-473-80-60  
Адрес электронной почты: [vadim@parallel.ru](mailto:vadim@parallel.ru)

Воеводин Вадим Владимирович

Подпись Воеводина Вадима Владимировича заверяю

кандидат физико-математических наук,  
ученый секретарь,  
НИВЦ МГУ имени М.В. Ломоносова

Суворов Владимир Викторович

Дата: 07.11.2025