

А.Н. Токжигитова¹, С.К. Жумагулова^{2*}, А.Е. Аубакирова³, К. Мухтаркызы⁴

¹Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан;

²Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

³Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганды, Казахстан;

⁴Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан

(*Корреспондирующий автор. E-mail: Zhumagulova_Saule@buketov.edu.kz)

¹ORCID 0000-0002-3308-5405

²ORCID 0000-0001-6587-0507

³ORCID 0009-0001-0805-317X

⁴ORCID 0000-0001-7889-4495

Параллельное программирование в базах данных: образовательные подходы и перспективы

В статье представлены результаты исследования применения технологий параллельных вычислений в базах данных для обработки информации в современных системах. Особое внимание авторами было уделено вопросам внедрения данных технологий в образовательный процесс вузов, целью которого является развитие у обучающихся навыков параллельного программирования при работе с базами данных. В работе рассматриваются методические подходы к обучению параллельным вычислениям с применением облачных платформ и квантовых вычислений. Также приведено описание разработанного авторами комплекса методического обеспечения для использования в обучении работе с базами данных, что будет способствовать развитию параллельного мышления будущих IT-специалистов. Также в статье определена роль параллельных вычислений при анализе масштабных баз данных. Авторы подчеркивают эффективность применения параллельных вычислений в работе с базами данных, так как параллельная обработка данных позволяет существенно увеличить скорость реализации сложных запросов к базам данных систем, тем самым повысить их производительность. Представленные в статье результаты анализа позволяют судить о важности внедрения параллельных вычислений в образовательный процесс вузов, а также подчеркивают необходимость разработки педагогических подходов, направленных на эффективное обучение студентов высших учебных заведений работе с базами данных.

Ключевые слова: базы данных, параллельные вычисления, методы обучения, образовательный процесс, хранилище, онлайн-платформа.

Введение

В настоящее время многопроцессорные системы активно внедряются в различные научные и производственные области, особенно в сфере информатики. Благодаря стремительному развитию этой отрасли в работе современных систем стала возможной параллельная обработка данных. Поскольку объем информации постоянно растет, требуется создание эффективных программных решений и инструментов, предназначенных как для области информатики, так и для смежных сфер.

Применение параллельных вычислений является одной из актуальных задач в процессе обучения базам данных. Данные технологии способствуют достижению результатов, для получения которых нет возможности применять иные методы, а также позволяют разрабатывать модели, генерировать данные и выполнять сложные вычислительные задачи. Кроме того, их реализация предполагает, в том числе, использование многоядерных процессоров, способных поддерживать выполнение параллельно нескольких нитей вычислений. Это позволяет осуществлять распараллеливание обработки запросов, ранжировать уровень доступа к различным областям базы данных, ускорить доступ к данным, обеспечить работу протоколов безопасности, а также распределять нагрузку на различные серверы базы данных [1].

Параллельные вычисления обеспечивают обработку значительных объемов информации в короткие сроки, что делает их ценным инструментом для решения современных задач.

Организация параллельных вычислений предполагает выполнение нескольких операций одновременно путем применения избыточных функциональных компонентов, которые позволяют разделить алгоритмы на независимые части, исполняемые параллельно. Такой подход существенно сокращает время выполнения задач, а скорость вычислений зависит от числа доступных процессоров [2].

Однако параллелизм пока не применяется широко, что может быть обосновано дороговизной таких систем в прошлом. Современные технологии, основанные на массовом производстве стандартных компонентов, снизили эту проблему, сделав многопроцессорные системы доступными практически каждому пользователю. Еще одной сложностью является необходимость преобразования традиционного последовательного подхода к вычислениям в параллельный, что требует изменений в программной и алгоритмической базах [3].

Для реализации параллельных вычислений требуется создание систем, где процессы могут выполняться независимо на разных процессорах. Необходимо также использование программного обеспечения и инструментов разработки, поддерживающих синхронизацию и управление параллельными процессами.

Важность параллельных вычислений в базах данных предопределяет необходимость их интеграции в образовательные программы высших учебных заведений, что позволит подготовить специалистов в области информационных технологий. Эти вычисления становятся важной составляющей дисциплин по программированию и информатике, изменяя алгоритмическую деятельность разработчиков за счет включения этапов параллельного программирования. Этот подход способствует развитию у студентов параллельного мышления, что, в свою очередь, помогает им овладеть методами обработки данных и разрабатывать эффективные алгоритмы.

Современные запросы общества на обработку больших объемов информации с использованием передовых технологий требуют систематического развития у студентов соответствующих навыков. Преподаватели вузов играют ключевую роль в этом процессе, поэтому для подготовки специалистов сферы информационных технологий необходимо внедрять в образовательный процесс основы параллельных вычислений [4].

Таким образом, базы данных и параллельные вычисления играют значительную роль в формировании профессиональных компетенций. Введение этой технологии в учебный процесс требует проработки методики преподавания. Анализ существующего опыта обучения выявил недостаточную разработанность педагогических и методических аспектов в данной области. Задачи организации взаимодействия параллельных процессов при существующем дефиците методической базы подчеркивают существующую потребность в использовании новых методов при обучении студентов информационных образовательных программ.

Решением может стать интеграция в учебные программы дисциплин баз данных модулей по параллельным вычислениям в базах данных. Исследование можно считать актуальным, так как оно обусловлено рядом противоречий, представленных на рисунке 1.

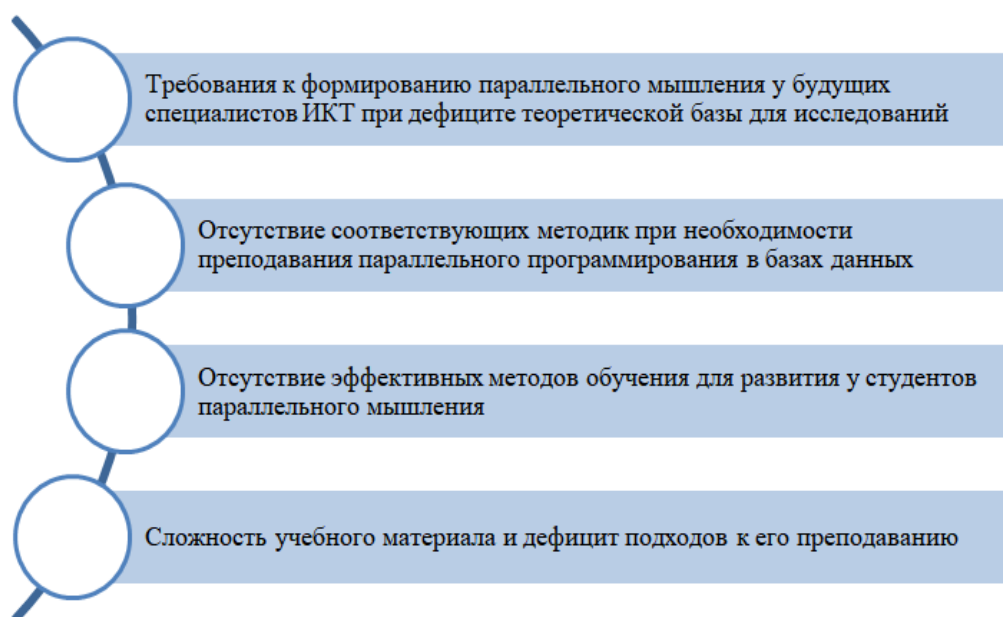


Рисунок 1. Проблемы обучения параллельному программированию в базах данных

Все эти противоречия указывают на наличие исследовательской проблемы, заключающейся в создании методики подготовки студентов к освоению параллельного программирования в базах данных, направленной на формирование и развитие их способности к параллельному мышлению.

Данная проблема может быть решена через разработку систем, которые будут анализировать аппаратное и программное обеспечение для параллельных вычислений, а также через создание методик преподавания данного материала в вузах. Применяемые сегодня технологии параллельных вычислений и работы с базами данных уже доказали свою эффективность и могут служить основой для подготовки специалистов в IT и педагогической сфере [5].

В академических исследованиях параллельные вычисления часто рассматриваются в контексте управления данными, что связано с особенностями облачных и распределенных систем, где нагрузка на узлы базы данных носит стохастический характер. Особую роль играют педагогические подходы к обучению параллельным вычислениям и базам данных. Современные методы подготовки специалистов подчеркивают важность системного обучения параллельным технологиям, однако остается недостаточно методов, направленных на формирование высокой компетентности в этой области.

Исторически идея параллельных вычислений возникла как альтернатива дорогостоящему увеличению производительности путем улучшения аппаратного обеспечения. В настоящее время метод распараллеливания вычислений требует значительных исследований для реализации эффективных многопроцессорных систем. Параллельные системы баз данных находят применение в самых разных сферах, от серверов приложений до систем поддержки принятия решений. Оптимизация параллельных запросов обеспечивает минимизацию времени выполнения задач, особенно в хранилищах данных [6].

Несмотря на актуальность темы, педагогические аспекты подготовки студентов к использованию параллельных вычислений в базах данных остаются недостаточно изученными. Основное обучение часто происходит на рабочих местах, что подчеркивает необходимость интеграции данных знаний и навыков в систему высшего образования.

Методы и материалы

Для успешного обучения студентов параллельному программированию целесообразно использовать следующие методы (рис. 2).

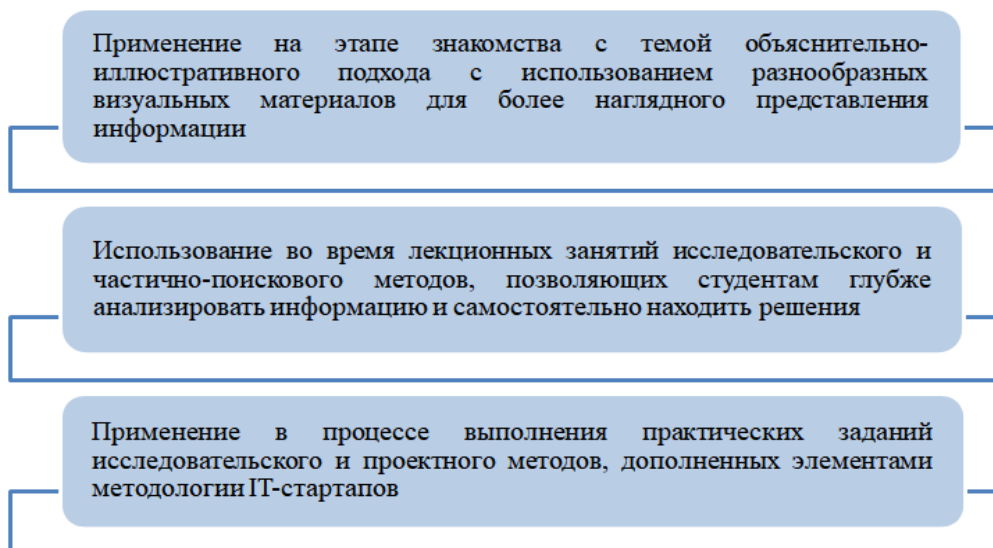


Рисунок 2. Эффективные методы обучения параллельному программированию в БД

При использовании проектного подхода акцент делается на создании программных продуктов, предназначенных для определенной предметной области. При этом обязательным компонентом является разработка баз данных с возможностью выполнения параллельных запросов. Методика IT-стартапов предполагает, что студенты, принимающие участие в стартап-проектах, создают запросы к базам данных собственных программных продуктов, используя параллельные вычисления.

Предложенные выше методические подходы способствуют развитию у студентов навыков параллельного мышления, а также формированию у них навыков работы с параллельными вычислениями в базах данных при обучении в вузе.

Предлагаемый комплекс методического обеспечения для реализации параллельных вычислений в базах данных включает:

- компьютеры в единой локальной сети;
- облачную платформу Render для работы с базами данных;
- онлайн-платформу IBM Quantum Lab для доступа к квантовым вычислениям на облачных технологиях;
- СУБД PostgreSQL для работы с удаленными серверами баз данных;
- язык Python для реализации клиентской части базы данных.

Для работы с базами данных предлагается использовать Python. Он обеспечивает высокую производительность разрабатываемых программ и отличается хорошо структурированным и легко читаемым кодом. Благодаря упрощенному синтаксису освоить Python можно за относительно короткий срок.

Архитектура данного языка имеет удобную и логичную структуру, что упрощает процесс разработки. Дополнительно широкий набор встроенных библиотек предоставляет разработчикам доступ к обширному спектру инструментов и функций. Это делает Python подходящим как для создания прикладного программного обеспечения, так и для разработки веб-сервисов [7].

Существенным преимуществом Python является наличие обширной базы библиотек, которые охватывают задачи самых разных направлений. На рисунке 3 представлены наиболее популярные из них.

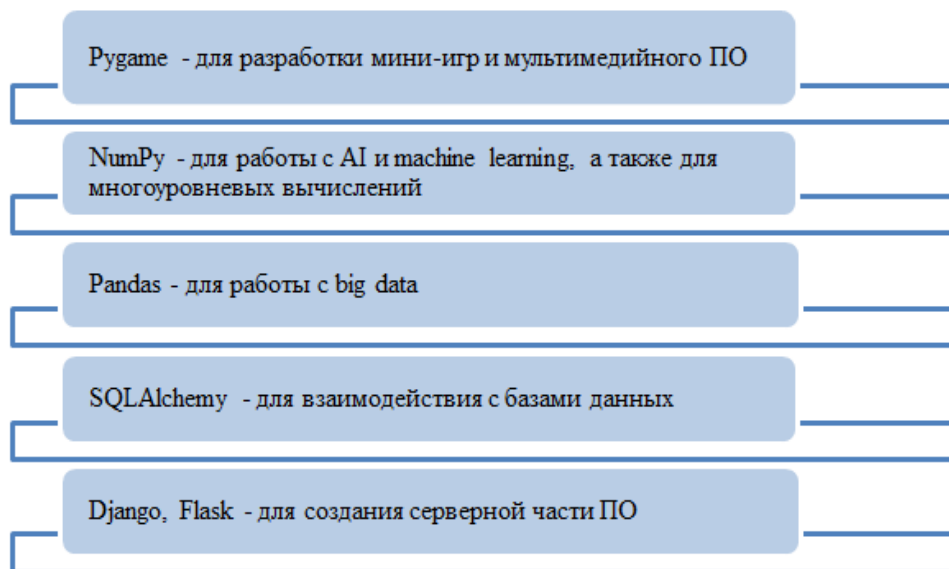


Рисунок 3. Библиотеки Python

При разработке программных приложений обучающимся для работы с базой данных предлагается использование библиотеки SQLAlchemy, а для работы с серверной частью в качестве инструмента будет использован фреймворк Django.

Для написания кода программы предлагается использование языка Python, представляющего собой удобное средство для решения задач разработки приложений и работы с базами данных.

Несмотря на то что в стандартных библиотеках Python отсутствуют встроенные инструменты, предназначенные для работы с СУБД PostgreSQL, имеется ряд библиотек, которые могут быть установлены в нем, одной из популярных среди которых является библиотека Psycopg. Данная библиотека, написанная на языке C, имеет высокую производительность, благодаря которой способна оперативно обрабатывать запросы.

Psycopg служит своего рода связующим звеном между PostgreSQL и Python, что дает возможность разработчикам эффективно использовать возможности Python и его библиотек для работы с базами данных PostgreSQL [8].

Так, библиотека Psycopg2 представляет собой один из наиболее популярных и стабильных модулей для работы с PostgreSQL, обладающий такими плюсами, как:

- использование в большинстве фреймворков Python и Postgres;
- поддержка Python 2, а также более поздних версий Python;
- применение для работы в многопоточных приложениях, в результате чего возможна работа нескольких потоков с одним подключением.

Для хранения базы данных в работе предлагается использовать облачный сервер Render.

Render является платформой облачного хостинга, которая предоставляет простой и удобный способ развертывания и управления веб-приложениями, внутренними API-интерфейсами или базами данных в облачной среде.

Особенности облачного сервиса Render представлены на рисунке 4.

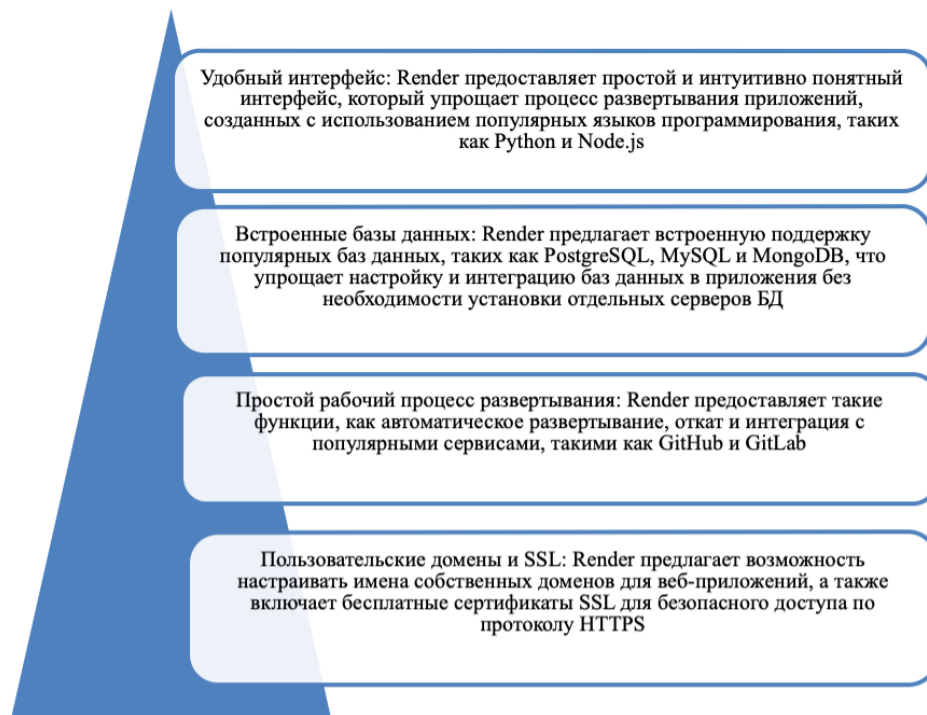


Рисунок 4. Особенности облачного сервиса Render

Render так же, как и иные облачные платформы, имеет плюсы и минусы.

Преимуществом сервиса служит простота его использования. Данный сервис имеет интерфейс, позволяющий пользователям развертывать приложения и управлять ими, при этом они могут без труда выполнять минимальную базовую настройку. Так как в Render присутствует автоматическое масштабирование, имеется возможность масштабирования приложений при необходимости сложной настройки сервиса.

Также важно отметить экономическую эффективность платформы Render, так как ее разработчики предлагают выгодную цену, куда входят уровень бесплатного пользования для отдельных проектов, а также относительно невысокая стоимость для команд. Это делает его экономически привлекательным вариантом для размещения небольших веб-приложений и масштабных коммерческих проектов.

Минусом данной платформы можно назвать ограниченную гибкость, поскольку минимальная конфигурация сервиса и простота могут являться ограничениями для сложных проектов, реализация которых требует сложных настроек.

Еще один компонент, применяемый в работе, — это IBM Quantum Lab, онлайн-платформа, обеспечивающая доступ к квантовым вычислениям с использованием облачных технологий.

Квантовые процессоры IBM основаны на сверхпроводящих трансмонных кубитах, которые размещены в холодильных установках в исследовательском центре IBM Research имени Томаса Дж. Уотсона. Пользователи могут взаимодействовать с этими процессорами через модель вычислений на основе квантовых схем, создаваемых графически в Quantum Composer или программно с использованием Jupyter Quantum Lab и языка Qiskit. Схемы можно компилировать до уровня OpenQASM для выполнения на реальных квантовых системах [9].

IBM Quantum Lab также включает комплекс обучающих программ, что делает квантовые технологии доступными для широкого круга пользователей. Даже без специальной подготовки пользователь может освоить основы работы с однокубитовыми и многокубитовыми вычислениями, а также изучить методы квантовой коррекции ошибок. Вид личного кабинета пользователя представлен на рисунке 4.

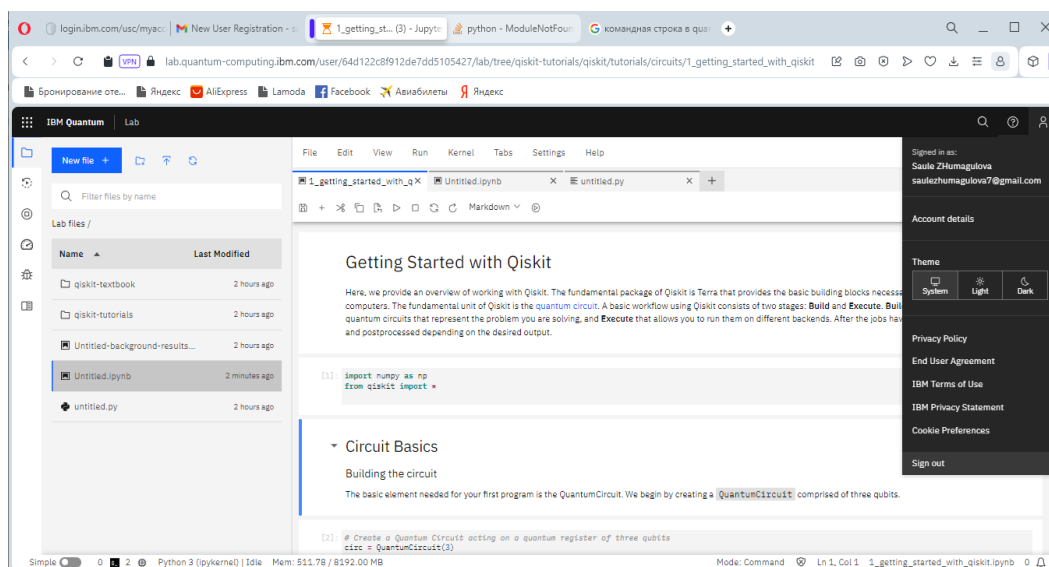


Рисунок 4. Внешний вид личного кабинета пользователя

Quantum Lab предоставляет открытый доступ к квантовому компьютеру IBM для пользователей и позволяет работать с квантовыми процессорами посредством интернета при помощи программно-аппаратного обеспечения. Зарегистрированные в ней пользователи могут осуществлять запуск базовых алгоритмов квантовых вычислений для проведения экспериментов с квантовыми процессорами, включая модели на 5, 16 и 20 кубитов.

При выполнении практических работ рекомендуется использовать квантовые компьютеры на 5 кубитов.

В то время как при работе с обычным компьютером пользователь использует двоичную логику (0 или 1), применение квантового компьютера предполагает использование для вычислений квантово-механических эффектов. Базовыми элементами квантовых компьютеров служат квантовые элементы. Данные элементы имеют три состояния, которые получили название quantum bit (qubit). В русскоязычных публикациях в их отношении чаще всего используются термины «квантовый бит» и «кубит». Данные вычислительные ячейки подразумевают наличие третьего состояния — суперпозиции первых двух. Для реализации таких квантово-механических эффектов необходимо наличие достаточно сложного оборудования, обеспечивающего работу при температурах, близких к абсолютному нулю, мощного магнитного поля, а также сложного электронного оборудования, способного по представленному алгоритму «мгновенно» менять параметры системы.

В ходе обучения параллельным вычислениям в базах данных было установлено, что минимальное время обработки запросов достигается при использовании квантового компьютера, в то время как наибольшее время затрачивается при работе с локальной базой данных.

Результаты и их обсуждение

На данном этапе изучения параллельных вычислений в базах данных главной задачей является овладение основами параллелизма посредством разработки параллельных запросов. Для оптимальной

организации практических занятий целесообразно применять репродуктивный метод, который помогает обучающимся освоить навыки написания параллельных запросов к базам данных [10].

В ходе исследования у обучающихся были сформированы следующие навыки в области параллельных вычислений в базах данных с использованием программно-аппаратного обеспечения:

- разработка параллельных вычислений в базах данных на Python;
- работа с параллельными вычислениями на локальном компьютере и компьютерах в единой локальной сети;
- применение для реализации параллельных вычислений в базах данных облачной платформы хостинга Render;
- реализация параллельных вычислений на квантовом компьютере посредством онлайн-платформы IBM Quantum Lab.

Обучающиеся, используя полученные во время занятий знания и навыки работы с параллельными вычислениями в базах данных, наряду с последовательными запросами смогут также создавать и выполнять параллельные запросы к базам данных. Кроме того, они смогут сравнивать время, затраченное на реализацию последовательных и параллельных запросов, что позволит измерить эффективность применения параллельных запросов при работе с базами данных.

На основе полученных результатов, представленных в данной статье, возможны дальнейшие исследования в данной области в целях расширения научной базы для сравнительного анализа результатов выполнения параллельных вычислений в базах данных.

Заключение

В статье были представлены методические подходы, целью которых явилось определение эффективности обучения параллельным вычислениям в базах данных при подготовке будущих специалистов ИТ-сферы.

Сегодня в ряде высших учебных заведений можно наблюдать внедрение современных технологий и методов параллельного программирования в учебный процесс с тем, чтобы создать базу для подготовки специалистов в области информационно-коммуникационных технологий. Несмотря на достигнутые в данном направлении цели, до сих пор существует проблема подготовки будущих ИТ-специалистов к работе с параллельными вычислениями в базах данных.

Таким образом, недостаток эффективных методик обучения студентов вузов применению параллельного программирования при работе с базами данных свидетельствует об актуальности исследований в данном направлении, а также о необходимости создания учебных программ, способных решать данную проблему.

Внедрение параллельных вычислений в дисциплины баз данных будет способствовать существенному повышению уровня компетенций обучающихся в данной области. Параллельное программирование должно стать неотъемлемой частью практических занятий по курсам баз данных в вузах, а также фундаментом формируемого у обучающихся параллельного стиля мышления, что в свою очередь будет способствовать созданию ими более эффективных и оптимальных решений для работы с базами данных.

Такие инновационные методы обучения, как применение облачных сред, квантовых вычислений, а также современных языков программирования, позволяют выполнять новые исследования в обучении студентов вузов параллельным вычислениям. Представленные результаты исследования доказывают эффективность применения перечисленных современных технологий в учебном процессе, а также их влияние на развитие у обучающихся умений и навыков работы с вычислительными системами в современных реалиях.

В дальнейшем необходима работа по совершенствованию методических материалов и созданию новых моделей обучения, направленных на повышение качества подготовки специалистов в области параллельных вычислений и баз данных.

Список литературы

- 1 Концепция развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023–2029 годы. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248>

- 2 Кузнецова Т.М. Искусственный интеллект и большие данные в образовании: перспективы и вызовы [Электронный ресурс] / Т.М. Кузнецова // Научные исследования и разработки. — 2021. — № 4. — С. 42–47. — Режим доступа: https://nauka-edu.ru/articles/ai_education
- 3 Федотов И.Е. О направлениях развития дисциплины параллельного программирования [Электронный ресурс] / И.Е. Федотов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2011. — № 7. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-napравleniyah-razvitiya-distipliny-parallelnogo-programmirovaniya>
- 4 Городняя Л.В. О классификациях парадигм программирования и параллельном программировании [Электронный ресурс] / Л.В. Городняя // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — № 2 (14). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-klassifikatsiyah-paradigm-programmirovaniya-i-parallelnom-programmirovaniya>
- 5 Лукин Н.А. Технологии программирования алгоритмов на архитектурах однородных вычислительных сред [Электронный ресурс] / Н.А. Лукин, А.Ю. Филимонов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. — 2017. — № 40. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-programmirovaniya-algoritmov-na-arhitekturah-odnorodnyh-vychislitelnyh-sred>
- 6 Мухамадиева К.Б. Машинное обучение в совершенствовании образовательной среды [Электронный ресурс] / К.Б. Мухамадиева // Образование и проблемы развития общества. — 2020. — № 4 (13). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obucheniye-v-sovershenstvovanii-obrazovatelnoy-sredy>
- 7 Kamberovic M. Personalized Learning Systems for Computer Science Students: Analyzing and Predicting Learning Behaviors Using Programming Error Data [Electronic resource] / M. Kamberovic, S. Krivic, A. Delic, S. Szedmak, V. Ljubovic // UMAP 2023 — Adjunct Proceedings of the 31st ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization. — 2023. — P. 76–91. — Access mode: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3563359.3597400>
- 8 Zhao W. Development and Assessment of a New Approach to Teaching Parallel Databases [Electronic resource] / W. Zhao, M. Serik, S.K. Zhumagulova // International Journal of Engineering Education. — 2023. — No. 39(5). — P. 1207–1215. — Access mode: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85177982330&origin=recordpage>
- 9 Alwaqdan M. Investigating Teachers' Perceptions of Artificial Intelligence Tools in Education: Potential and Difficulties [Electronic resource] / M. Alwaqdan // Education and Information Technologies. — 2025. — Vol. 30. — P. 2737–2755. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12903-9>
- 10 Соловьев В.М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы. Часть 1. Квантовые компьютеры [Электронный ресурс] / В.М. Соловьев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. — 2015. — № 4. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kvantovye-kompyutery-i-kvantovye-algoritmy-chast-1-kvantovye-kompyutery>

А.Н. Токжигитова, С.К. Жумагулова, А.Е. Аубакирова, К. Мухтарқызы

Деректер базасындағы параллельді бағдарламалау: білім беру тәсілдері мен перспективалары

Мақалада заманауи жүйелердегі ақпаратты өңдеу үшін мәліметтер базасында параллельді есептеу технологияларын қолдануды зерттеу нәтижелері келтірілген. Авторлар жоғары оқу орындарының білім беру процесіне осы технологияларды енгізу мәселелеріне ерекше назар аударды, оның мақсаты білім алушылардың деректер базасымен жұмыс істеу кезінде қатар бағдарламалау дағдыларын дамыту. Жұмыста бұлтты платформалар мен кванттық есептеулерді қолдана отырып, параллельді есептеулерді оқытудың әдістемелік тәсілдері қарастырылды. Сондай-ақ болашақ IT-мамандардың параллельді ойлауын дамытуға ықпал ететін мәліметтер базасымен жұмыс істеуді оқытуда қолдану үшін авторлар әзірлеген әдістемелік қамтамасыз ету кешенінің сипаттамасы келтірілген. Мақалада масштабты мәліметтер базасын талдаудағы параллельді есептеулердің рөлі де анықталған. Авторлар мәліметтер базасымен жұмыс жасауда параллельді есептеулерді қолданудың тиімділігін атап көрсетеді, өйткені деректерді параллельді өңдеу жүйелер дерекқорларына күрделі сұраныстардың орындалу жылдамдығын едәуір арттыруға, сол арқылы олардың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Мақалада келтірілген талдау нәтижелері университеттердің білім беру процесіне параллельді есептеулерді енгізудің маңыздылығын бағалауға мүмкіндік береді, сонымен қатар жоғары оқу орындарының студенттерін мәліметтер базасымен жұмыс істеуге тиімді оқытуға бағытталған педагогикалық тәсілдерді әзірлеу қажеттілігін көрсетеді.

Кілт сөздер: деректер базасы, параллельді есептеу, оқыту әдістері, білім беру процесі, қор, онлайн платформа.

A.N. Tokzhigitova, S.K. Zhumagulova, A.E. Aubakirova, K. Mukhtarkyzy

Parallel programming in databases: educational approaches and perspectives

The article presents the results of a study on the use of parallel computing technologies in databases for information processing in modern systems. The authors paid special attention to the issues of introducing these technologies into the educational process of universities, the purpose of which is to develop students' parallel programming skills when working with databases. The paper discusses methodological approaches to teaching parallel computing using cloud platforms and quantum computing. There is also a description of a set of methodological support developed by the authors for use in training in working with databases, which will contribute to the development of parallel thinking of future IT specialists. The article also defines the role of parallel computing in the analysis of large-scale databases. The authors emphasize the effectiveness of using parallel computing in working with databases, since parallel data processing can significantly increase the speed of complex queries to systems databases, thereby increasing their performance. The results of the analysis presented in the article demonstrate the importance of introducing parallel computing into the educational process of universities, and also emphasize the need to develop pedagogical approaches aimed at effectively teaching students of higher educational institutions to work with databases.

Keywords: databases, parallel computing, learning methods, educational process, storage, online platform.

References

- 1 Kontseptsiiia razvitiia vysshego obrazovaniia i nauki v Respublike Kazakhstan na 2023–2029 gody [Concept for the development of higher education and science in the Republic of Kazakhstan for 2023–2029]. *adilet.zan.kz*. Retrieved from <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248> [in Russian].
- 2 Kuznetsova, T.M. (2021). Iskusstvennyi intellekt i bolshie dannye v obrazovanii: perspektivy i vyzovy [Artificial intelligence and big data in education: prospects and challenges]. *Nauchnye issledovaniia i razrabotki — Scientific Research and Development*, (4), 42–47. Retrieved from https://nauka-edu.ru/articles/ai_education [in Russian].
- 3 Fedotov, I.E. (2011). O napravleniiakh razvitiia distsipliny parallelnogo programmirovaniia [On the directions of development of the parallel programming discipline]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie — Modern Information Technologies and IT Education*, (7). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/o-napravleniyah-razvitiya-distcipliny-parallelnogo-programmirovaniya> [in Russian].
- 4 Gorodnaia, L.V. (2016). O klassifikatsiiakh paradigm programmirovaniia i parallelnom programmirovanii [On classifications of programming paradigms and parallel programming]. *Obrazovatelnye resursy i tekhnologii — Educational Resources and Technologies*, 2(14). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/o-klassifikatsiyah-paradigm-programmirovaniya-i-parallelnom-programmirovanii> [in Russian].
- 5 Lukin, N.A., & Filimonov, A.Yu. (2017). Tekhnologii programmirovaniia algoritmov na arkhitekturakh odnorodnykh vychislitelnykh sred [Technologies for programming algorithms on homogeneous computing environment architectures]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitelnaia tekhnika i informatika — Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*, (40). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-programmirovaniya-algoritmov-na-arhitekturah-odnorodnykh-vychislitelnykh-sred> [in Russian].
- 6 Mukhamadieva, K.B. (2020). Mashinnoe obuchenie v sovershenstvovanii obrazovatelnoi sredy [Machine learning in improving the educational environment]. *Obrazovanie i problemy razvitiia obshchestva — Education and Problems of Social Development*, 4(13). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-sovershenstvovanii-obrazovatelnoy-sredy> [in Russian].
- 7 Kamberovic, M., Krivic, S., Delic, A., Szedmak, S., & Ljubovic, V. (2023). Personalized Learning Systems for Computer Science Students: Analyzing and Predicting Learning Behaviors Using Programming Error Data. *UMAP 2023 — Adjunct Proceedings of the 31st ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, 76–91. Retrieved from <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3563359.3597400>
- 8 Zhao, W., Serik, M., & Zhumagulova, S.K. (2023). Development and Assessment of a New Approach to Teaching Parallel Databases. *International Journal of Engineering Education*, 39(5), 1207–1215. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85177982330&origin=recordpage>
- 9 Alwaqdani, M. (2025). Investigating teachers' perceptions of artificial intelligence tools in education: potential and difficulties. *Education and Information Technologies*, 30, 2737–2755. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12903-9>
- 10 Solovev, V.M. (2015). Kvantovye kompiutery i kvantovye algoritmy. Chast 1. Kvantovye kompiutery [Quantum computers and quantum algorithms. Part 1. Quantum computers]. *Izvestiia Saratovskogo universiteta. Novaia seriia. Seriia: Matematika. Mekhanika. Informatika — Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics*, (4). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/kvantovye-kompyutery-i-kvantovye-algoritmy-chast-1-kvantovye-kompyutery> [in Russian].

Information about the authors

Tokzhigitova A.N. — PhD, Associate Professor of the Faculty of Computer Science, Toraighyrov university, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: tokzhigitova.an@teachers.tou.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-5405>

Zhumagulova S.K. (contact person) — PhD, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Science, Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: Zhumagulova_Saule@buketov.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6587-0507>

Aubakirova A.E. — Senior Lecturer at the Department of Cybersecurity and Artificial Intelligence, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: asem.aubakirova@ktu.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0805-317X>

Mukhtarkyzy K. — PhD, Assistant Professor at the Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan; e-mail: kaussar.mukhtakyzy@kaztbu.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7889-4495>