

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

---

название темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом  
**Применение методов параллельных вычислений для обработки  
длительных физиологических сигналов на примере полисомнографии.**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента(ки) 4 курса 4041 группы  
направления (специальности) 09.03.02. «Информационные системы и  
технологии»

код и наименование направления (специальности)

Институт физики

---

наименование факультета, института, колледжа

Ли Владислав Николаевич

---

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент, к.ф. – м

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_ дата, подпись

Сельский А.О.

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

доцент, к.ф. – м.

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_ дата, подпись

Короновский А.А.

инициалы, фамилия

Саратов 2024 год

## **Введение**

В современном информационном обществе параллельное программирование становится все более актуальным и неотъемлемым инструментом для эффективного использования вычислительных ресурсов. В свете растущих объемов данных и увеличивающейся сложности вычислительных операций, становится очевидной необходимость в разработке совершенных алгоритмов, которые могут одновременно обрабатывать информацию, эффективно распределяя работу среди множества потоков или процессов.

Целью данной работы является изучение и анализ параллельного программирования с фокусом на его применении в научно-исследовательской работе. В работе будут рассмотрены основные концепции и техники параллельного программирования, а также их применение в решении задач научных исследований. Первая часть работы посвящена обзору основных понятий и принципов параллельного программирования. Будут рассмотрены различные модели параллельных вычислений, такие как многопоточность, распределенные вычисления и гетерогенные системы. Также будет рассмотрено использование современных инструментов и библиотек для разработки параллельных программ. Вторая часть работы фокусируется на применении параллельного программирования в научно-исследовательской работе. Будут рассмотрены конкретные задачи и примеры, где параллельное программирование демонстрирует свою эффективность. Особое внимание будет уделено анализу производительности и сравнению результатов с последовательными вычислениями.

Структура ВКР включает в себя 5 глав, а именно:

1. Основные понятия и принципы параллельного программирования.

Здесь описываются библиотеки для параллельного программирования вычислительных систем с общей памятью, преимущества и недостатки

использования. И так же эта глава содержит информацию о моделях параллельной программы.

## 2. Многопоточность и процессы.

В этой главе описываются свойства операционной системы и другие среды выполнения, обеспечивающие возможность параллельной обработки нескольких задач. Подробно рассказывается о процессах и потоках, в этой главе можно узнать о свойствах платформ, стеках, регистрах, счетчиках и адресных пространствах.

## 3. Синхронизация и планирование потоков.

О важности синхронизации доступа к общим ресурсам, обработке конкурентных конфликтов и управлении потоками и процессами. Специальные подходы и требования к параллельному программированию.

## 4. Взаимное исключение потоков и возврат результата.

Здесь описываются механизмы взаимного исключения, их важность и методы применения в параллельном программировании. Возврат результатов. Лямбда функции. Правила доступа и настройка потоков.

## 5. Практическое применение метода

Проверка метода параллельного программирования на искусственной выборке, где моделируются различные сценарии использования параллельных вычислений. Применение параллельных вычислений в обработке физиологических сигналов. Детальный анализ и выявление аномалий в данных.

Итак, настоящая работа посвящена подробному изучению концепций параллельного программирования и их применению в научно-исследовательской работе. Данная работа имеет важное значение для понимания и развития современных методов вычислений и предоставляет базу для дальнейших исследований в данной области.

## **Основное содержание работы**

В эпоху научного прогресса, когда производительность и скорость вычислительных процессов становятся решающими, применение параллельных вычислений становится критически важным для достижения прорывов в исследованиях. Такой подход в разработке ПО дает возможность эффективно и оперативно решать задачи высокой сложности, прежде всего в области обработки массивов данных и выполнения сложных алгоритмических операций. Настоящее исследование сосредоточено на изучении и внедрении методов параллельного программирования в рамках научных изысканий, включая детальный анализ этапов сна по данным полисомнографии.[1]

Полисомнография является комплексным диагностическим методом, разработанным для глубокой оценки работы и взаимодействия различных систем организма человека в процессе сна. Эта процедура включает в себя непрерывную регистрацию и анализ многих физиологических параметров в течение ночи: мониторинг электрической активности мозга через электроэнцефалограмму, отслеживание движений глаз, измерение мышечной активности через электромиограмму, фиксацию сердечного ритма с помощью электрокардиограммы, а также оценку дыхательной функции, активности ног, изменений в положении тела и уровня насыщения крови кислородом. Используемые датчики крепятся к поверхности тела при помощи безопасных для кожи материалов, минимизируя дискомфорт пациента. Проведение этой процедуры требует специализированного помещения, обеспечивающего высокий уровень комфорта для испытуемого, включая оптимальный микроклимат и звукоизоляцию, что способствует естественному процессу сна. Задачей полисомнографии является детальное изучение архитектуры сна, выявление патологий, связанных с дыхательными расстройствами и двигательной активностью, а также анализ взаимосвязей между различными фазами и циклами сна. Это исследование ключевое в диагностике основной или вторичной природы нарушений сна, таких как инсомния или повышенная дневная сонливость, определяя их возможную связь с другими медицинскими

состояниями. [2]

Основная задача данного научного труда заключается в анализе основ и приёмов, используемых в параллельном программировании, с целью эффективного использования этих методик для ускорения вычислительных процессов в рамках научных проектов. Исследование представляет ценность для разнообразного кластера профессионалов, включая академических исследователей, инженеров и разработчиков ПО, занимающихся вопросами в областях науки и инженерии. В данной работе освещаются основные принципы и методики параллельного программирования. Проводится глубинный анализ для определения наиболее подходящих стратегий параллеления, с учетом спецификации алгоритмов и доступных вычислительных мощностей. Кроме того, осуществляется проектирование и рефинансирование программного обеспечения с целью увеличения его производительности и эффективности в контексте академических исследований. [3]

В каждой C++ программе автоматически существует по крайней мере один основной поток, который инициирован C++ runtime environment, исполняющийся через функцию `main()`. В дальнейшем, разработчик может инициировать дополнительные потоки, указывая другие функции в роли точек входа. Эти дополнительные потоки выполняются одновременно, в параллель с основным потоком. Известно, что завершение программы происходит с возвращением управления из функции `main()`; аналогично, когда выполнение дополнительного потока достигает конца своей входной точки, этот поток тоже завершается. Далее, мы рассмотрим, как при наличии экземпляра `std::thread`, соответствующего определённому потоку, возможно ожидание его завершения, но сначала остановимся на процессе инициализации потоков. В данной работе я занимался изучением языка программирования C++, сосредоточив внимание на практическом применении потоков, их синхронизации и механизмов взаимодействия в разнообразных контекстах. Затем необходимо было интегрировать в программу функциональные

возможности, реализовать обработку данных через ввод и вывод переменных, применить анонимные лямбда-выражения, использовать утилиты для измерения эффективности временных показателей, оптимизационные методики и механизмы синхронизации работы потоков. В процессе выполнения проекта осуществилась реализация ряда функций с применением техники многопоточности.[4]

Заболевание Паркинсона вызвано дегенерацией и утратой нейронов в специализированной области головного мозга, известной как субстанция nigra. Эти нейроны играют ключевую роль в производстве дофамина, нейромедиатора, который обеспечивает передачу сигналов между разными участками мозга, важных для регуляции и синхронизации двигательных функций.

При гибели или нарушении функционирования нейронов в субстанции nigra, происходит уменьшение производства дофамина, ключевого нейромедиатора, задействованного в регуляции моторных функций. Этот процесс влияет на базальные ганглии, структуры, критически важные для координации движений, снижая их эффективность. В конечном итоге, это приводит к замедлению двигательной активности и появлению ригидности в движениях, делая их трудными для выполнения. [5]

Апоптоз нейронов в мозге — продолжительный механизм. Клиническая картина паркинсонизма обычно становится очевидной когда происходит утрата примерно 80% допаминергических нейронов в nigre. Этиология дегенерации нейронов при этом заболевании ещё не полностью ясна исследователям. Предполагается, что этиопатогенез паркинсонизма может быть связан с комбинацией генетической предрасположенности и экзогенных факторов. Присутствуют доказательства, подтверждающие влияние генетических мутаций на повышение вероятности развития этого неврологического расстройства. Тем не менее, специфика воздействия указанных мутаций, делающих индивидуумов подверженными заболеванию,

остаётся не до конца исследованной. Генетическая трансмиссия болезни, предусматривающая передачу аллелей с мутациями от родителей к потомству, встречается крайне редко. В дополнение, существуют гипотезы о том, что экологические факторы могут способствовать риску развития паркинсонизма. К таким факторам относятся пестициды и гербициды, используемые в агрокультуре, автомобильные выбросы и индустриальные эмиссии, которые могут быть катализаторами для проявления данного неврологического расстройства. Впрочем, убедительной корреляции между экологическими агентами и паркинсонизмом на данный момент установлено не было.[6]

Наше исследование предстоит разделить на три этапа. В начале мы сосредоточимся на изучении и анализе простейших сигналов, выбранных нами для понимания, как предсказать изменения их состояний под влиянием различных внешних факторов и нагрузок. Это позволит нам освоить основы предсказаний поведения сигналов. Затем, убедившись в безошибочности нашего кода и его способности адекватно реагировать на возможные искажения, мы перейдем к работе с реальными сигналами, чтобы проверить и адаптировать наши методы в более сложных условиях. Наконец, в третьей, завершающей фазе, мы внедрим методы параллельного программирования, что позволит значительно ускорить процесс обработки данных и повысить общую производительность программы.

Тренировка на синтетических данных.

Генерируем синтетический сигнал, предварительно определив все амплитудные значения, частоту семплирования и временной интервал сигнала:

```
signal=np.cos(2*np.pi*50*t)+np.cos(2*np.pi*100*t)+np.cos(2*np.pi*200*t).
```

Затем используем Фурье-анализ для декомпозиции комплексного сигнала на элементарные вибрации, именуемые частотами. Этот процесс необходим

для детального исследования структуры сигнала и идентификации ключевых составляющих, формирующих его.

В результате выполнения преобразования Фурье и последующего построения спектра сигнала, мы получаем график, на котором частотный спектр представлен в координатах: частоты расположены по оси абсцисс, тогда как амплитуды или мощности соответствующих частотных компонент – по оси ординат. Такая визуализация предоставляет ценную информацию об индивидуальном участии различных частот в структуре общего сигнала, позволяя нам выявлять специфические частоты или частотные составляющие. Эти составляющие могут носить важную информацию о характерных особенностях или процессах, имеющих место в анализируемом сигнале, открывая путь к их детальному изучению и пониманию. Мы наблюдаем, что 50, 100 и 200 Гц являются основными составляющими нашего сигнала, которые мы определили. Все эти частоты характеризуются идентичной амплитудой мощности.[7]

Образец, где первый столбец представляет собой время и будет отображаться по оси абсцисс, а второй столбец отображает амплитуду (интенсивность) нашего сигнала и будет размещен на оси ординат. График будет ясно отображать форму сигнала. Однако детализируем его для лучшей интерпретации. На диаграмме будут четко просматриваться амплитуды, тем не менее, без выполнения Фурье-анализа, наши выводы о нем остаются ограниченными.

Стоит отметить, что у здорового индивида спектральный анализ мозговой активности выявляет доминирование дельта-волн в моменты глубокого физиологического покоя, когда преобладающие частоты колеблются в диапазоне от 0.05 до 3 Гц. Тем не менее, для формирования вывода требуется анализ множественных источников. Это потребует одинаковых процедур для разных источников. Дополнительно выполним схожие эксперименты на ЭЭГ-данных пациентов с болезнью Паркинсона. Стоит отметить, что у здорового



индивида спектральный анализ мозговой активности выявляет доминирование дельта-волн в моменты глубокого физиологического покоя, когда преобладающие частоты колеблются в диапазоне от 0.05 до 3 Гц. [8]

Тем не менее, для формирования вывода требуется анализ множественных источников. Это потребует одинаковых процедур для разных источников. Дополнительно выполним схожие эксперименты на ЭЭГ-данных пациентов с болезнью Паркинсона.

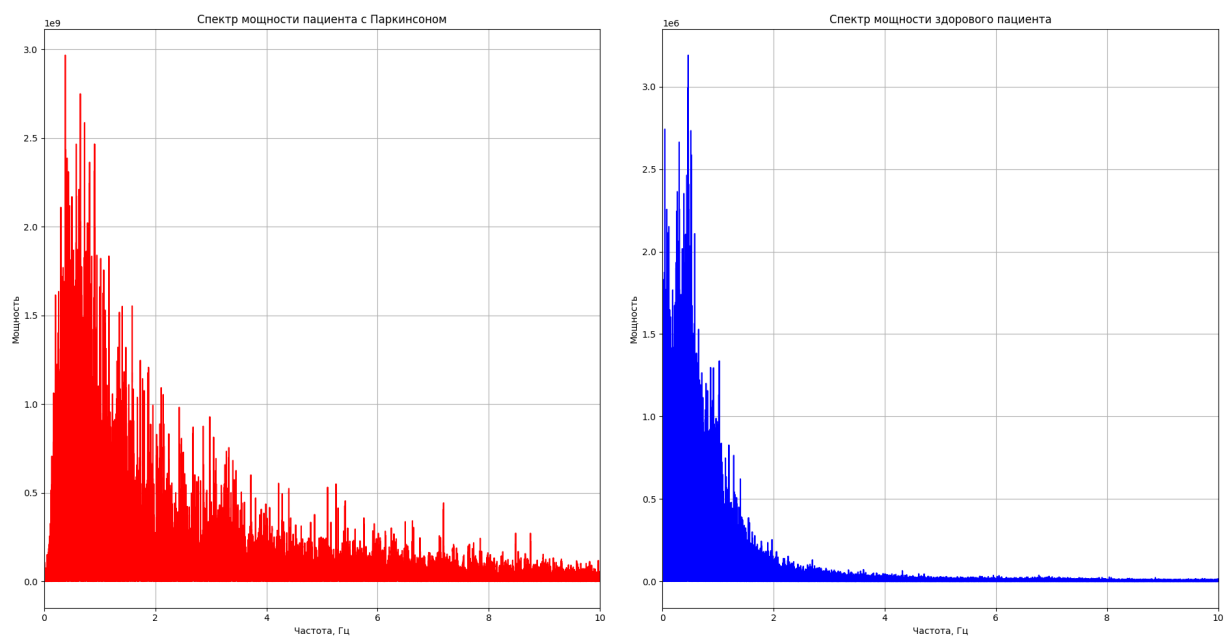


Рисунок 1.1. Спектры мощности страдающего болезнью Паркинсона и здорового пациента соответственно.

Рисунок 1.1. последовательно отображают спектры мощности сигналов мозговой активности у страдающего Паркинсоном и условно здоровым человек. Давайте выявим общие черты и проведем анализ, сопоставив данные спектры. В данном контексте очевидно, что в диапазоне бета-волн (14-30 Гц), ассоциируемом с состоянием бодрствования и активностью, анализ полисомнографических данных показывает всплески амплитуды.

К примеру, у индивида с нормальным состоянием здоровья в момент анабиоза характерен доминирующий дельта-ритм в диапазоне от 0.5 до 3 Гц, что указывает на наименьшую функциональную активность головного мозга.

Если наблюдается доминирование тета-волн с частотой 4-7 Гц, что характерно для фазы медленного сна, в течение которой мозг находится в состоянии эмоционального стресса.[9]

Научные открытия, хотя и не абсолютно точные, позволяют через аналитическую обработку данных идентифицировать и сопоставлять на основе наблюдений вероятность выявления признаков у пациентов с Паркинсоном через данные, полученные в ходе Полисомнографии.

### **Заключение**

В процессе выполнения бакалаврской работы, ориентированной на использование технологий параллельных вычислений для эффективной обработки продолжительных физиологических сигналов на примере Полисомнографии, был усвоен целый ряд значимых знаний и навыков, которые обогатили мой уровень в параллельном программировании. Занятие параллельными вычислениями открыло мне новые горизонты в понимании их особенностей и преимуществ, эффективно способствуя моему развитию в данной области.

Исследования демонстрируют, что применение техник параллельного программирования способствует значительной оптимизации анализа биомедицинских данных, включая электроэнцефалограммы (ЭЭГ), что открывает новые горизонты в областях медицинских исследований и клинической диагностики. Анализируя спектральные характеристики ЭЭГ сигналов между здоровыми индивидами и пациентами, страдающими болезнью Паркинсона, исследователи могут идентифицировать ключевые различия в частотных свойствах, что предоставляет ценные данные для диагностирования и последующего наблюдения за прогрессированием неврологических расстройств.

Анализ данных по шести каналам от одного пациента занимает в среднем 7 минут и 41 секунду, основываясь на агрегированных данных различных

испытуемых. Последовательное изучение всех данных потребовало 153 минут и 52 секунды в среднем. В то же время, применимость параллельных вычислений сократила время обработки до 16 минут и 12 секунд в среднем. Важен аспект технической оснащенности компьютера, который способен обрабатывать до 8 потоков одновременно без потери производительности. Дополнительно, на производительность не влияло стороннее программное обеспечение, а только операционная система задействовала ресурсы. Условия испытаний были стабильны и не включали факторы внешней и внутренней температуры оборудования. При многократных испытаниях была зафиксирована минимальная погрешность в 0.02%. Таким образом, применение многопоточности позволило увеличить скорость обработки данных в 9,5596 раза. Следовательно, выводы исследования убедительно свидетельствуют о высокой эффективности и целесообразности использования методов параллельного программирования в сфере научных разработок, в частности, при анализе медицинских сигналов. Продолжение исследований в этой области обещает внести вклад в создание инновационных диагностических и терапевтических подходов к борьбе с многочисленными заболеваниями.

### **Список литературы**

1. Schabus M. et al. Sleep and circadian rhythms in severely brain-injured patients—A comment //Clinical Neurophysiology. – 2018. – Т. 129. – №. 8. – С. 1780-1784.
2. Bloch K. E. Polysomnography: a systematic review //Technology and health care. – 1997. – Т. 5. – №. 4. – С. 285-305.
3. Marshall L. et al. Transcranial electrical currents to probe EEG brain rhythms and memory consolidation during sleep in humans //PloS one. – 2011. – Т. 6. – №. 2. – С. e16905.
4. Э. Уильямс. Реализация параллельного программирования на C++. Опыт в создании многопоточных приложений. // Э. Уильямс. 2017.

5. Parkinson C. N. Parkinson, the Law. – Boston : Houghton Mifflin, 1980.
6. Gazewood J. D., Richards D. R., Clebak K. Parkinson disease: an update //American family physician. – 2013. – Т. 87. – №. 4. – С. 267-273.
7. Е. П. Емельянова, А. О. Сельский, Классификация фаз REM и NREM сна с использованием метода рекуррентного анализа, Вестник университетов. Прикладная нелинейная динамика, 2023, том 31, № 5, стр. 643–649
8. Parkinson C. N. Parkinson, the Law. – Boston : Houghton Mifflin, 1980.
9. Gazewood J. D., Richards D. R., Clebak K. Parkinson disease: an update //American family physician. – 2013. – Т. 87. – №. 4. – С. 267-273.