

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.421

Кухарчук  
Игорь, Витальевич

Эффективные алгоритмы в модели  
квантовых ветвящихся программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 03 Вычислительные машины и системы

---

Научный руководитель  
Самаль Дмитрий Иванович  
кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2016

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Потребности человечества ставят перед техникой всё более сложные задачи, с которыми классический компьютер зачастую или вовсе не может справиться в силу своей архитектуры, или должен потратить на поиск решения достаточно времени, чтобы наша планета закончила своё существование.

Квантовые вычисления благодаря своей архитектуре и стилю выполнения вычислений способны улучшать результаты работы традиционного компьютера, понижая временную сложность найденных алгоритмов от экспоненциальной до логарифмической характеристики. На текущем этапе развития современных технологий квантовые вычисления могут быть и уже выполнены в виде сопроцессоров для классических реализаций. Идёт интенсивное наращивание количества кубитов, которыми оперирует сопроцессор.

Стоит осознавать, что принцип работы квантового сопроцессора отличается от работы классического, а это означает, что все существующие алгоритмы не могут быть использованы в их каноническом виде.

Так как готовая модель квантовых вычислений на текущем этапе лишь формируется, это означает, что высока вероятность того, что адаптированные алгоритмы станут не лучшими реализациями с течением времени. Благодаря новым найденным механизмам появляется возможность улучшить уже анонсированные квантовые реализации.

Проделанная работа в рамках данной диссертации позволяет использовать в квантовых вычислениях ещё три алгоритма к имеющимся в квантовом зоопарке.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Целью данной диссертации является применение прикладной модели квантовых вычислений к одному из существующих классических алгоритмов.

Задачами исследования для достижения поставленной цели являются:

- ознакомление с концепцией вероятностных программ,
- изучение базовых понятийного аппарата квантовых вычислений,
- апробация программных технологий и средств работы с квантовым сопроцессором,
- исследование квантового зоопарка,
- разработка алгоритма, применимого к квантовым вычислениям и способного работать на квантовом сопроцессоре.

Объектом исследования являются квантовые вычисления.

Предметом исследования является прикладная реализация квантовых явлений и их модель физической реализации.

Новизна полученных результатов. Существует квантовый зоопарк алгоритмов, который содержит теоретические изыскания и построения квантовых алгоритмов. Часть алгоритмов из данного списка реализовано в качестве инструкций к квантовому сопроцессору.

В результате проведённого исследования было усовершенствовано два квантовых алгоритма и впервые предложен один. Проектирование алгоритмов осуществлялось с выбранными начальными ограничениями, которые позволяли пренебречь некоторыми недостатками, появляющимися в результате их работы. Кроме теоретического обоснования, каждый из предложенных алгоритмов реализован и протестирован.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся три модели усовершенствования алгоритмов.

Первый из них представляет собой модифицированный алгоритм факторизации Шора. Для показательного примера выбирается факторизация числа 33, которая, согласно предложенному алгоритму, требует 22 кубита для реализации. На текущем этапе развития квантовый компьютер может физически оперировать квантовыми процессами лишь в пределах 16 кубитов. Это значит, что факторизовать число 33 при помощи квантового компьютера не представляется возможным. Однако предлагается сократить количество основных и вспомогательных кубитов до 10 в общем количестве. Данное предложение основано на том, что период функции находится намного раньше, чем значение выбранного к факторизации числа. Положительным эффектом является то, что так поставленная задача может быть решена при помощи текущей физической реализации квантового компьютера. Отрицательным эффектом является то, что в случаях, когда период не сможет уложиться в выбранное количество вспомогательных кубитов по размеру, результат не будет получен. Также за счёт квантовых явлений уменьшается точность

вычислений, однако используя метод цепных дробей её можно поднять до приемлемого уровня.

Второй алгоритм для решения задачи коммивояжёра представляет улучшение квантового алгоритма за счёт использования его в связке с генетическим алгоритмом. Данное решение позволяет достичь полиномиальной сложности по времени, однако в качестве негативного эффекта экспоненциальная сложность по используемой памяти и невысокая точность получения конечного результата. Вторым негативным эффектом можно пренебречь, так как решение задачи с точки зрения пользователя может частично отличаться от наилучшего. Для решения поставленной задачи использовался механизм, когда квантовая подпрограмма является частью генетического алгоритма. Задачей квантовой подпрограммы является устранение недостатков генетического алгоритма, в частности – быстрой вырождаемости.

Третий алгоритм представляет собой решение задачи двумерной упаковки в квантовых вычислениях. Для реализации частью алгоритма использовался квантовый параллелизм и алгоритм поиска Гровера. Положительным эффектом является полученная скорость и точность конечного решения. Основным и ключевым недостатком стоит отметить то, что квантовый алгоритм в результате своей работы выдаёт список предложенных к упаковке на каждом уровне прямоугольников, а не их расположение, как делается в случае классических реализаций. Это свидетельствует о том, что необходимо будет затратить дополнительные вычислительные ресурсы на то, чтобы расположить их в контейнере.

Апробация результатов диссертации. Результаты, полученные посредством исследования области квантовых вычислений, были рассмотрены на семинаре кафедры электронных вычислительных машин в январе 2015 года. Результаты оптимизации первого алгоритма были представлены на 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в апреле 2015 года. Результаты работы второго алгоритма были представлены на конференции «Информационные технологии и системы» в октябре 2015 года. Результаты работы алгоритма двумерной упаковки были отражены на семинаре кафедры электронных вычислительных машин в ноябре 2015 года, а также в сборнике статей 53-ей конференции «Технические науки – от теории к практике» в декабре 2015 года.

Опубликованность результатов исследования. Результаты, полученные на протяжении работы над диссертацией, опубликованы в 2 сборниках в качестве статей и в виде 1 тезиса.

Структура и объём диссертации. Диссертация выполнена на 62 страницах, включая 1 приложение информационного характера. Включает в себя 6 глав, 19 иллюстраций, 13 таблиц, 39 формул, 38 библиографических источников.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В данном списке перечислены основные результаты по главам:

– В главе 1 был проведён обзор концепций ветвящихся программ, дано определение, базовые термины. Произведена локализация изучаемой области.

– В главе 2 был представлен понятийный аппарат квантовых вычислений, изучены техники представления квантовой информации в классической модели.

– В главе 3 рассмотрены базовые алгоритмы квантового зоопарка, апробирована реализация квантовых вычислений при помощи традиционных компьютеров.

– В главе 4 предложена оптимизация алгоритма факторизации Шора, рассмотрен базовый вариант и его недостатки в модели текущих физических реализациях компьютеров. Проанализированы и подобраны необходимые коэффициенты запуска алгоритма.

– В главе 5 предложена оптимизация решения задачи коммивояжёра при помощи генетических алгоритмов. Проанализирован ряд классических, генетических и квантовых аналогов. Произведено сравнение полученной производительности по времени и памяти. Выделены недостатки и достоинства предложения в сравнении с имеющимися аналогами.

– В главе 6 предложен алгоритм двумерной упаковки в контейнер на основе алгоритма knapsack 0-1, ключевой особенностью которого в классической реализации является не только упакованные предметы, но и возвращение списка этих предметов на каждой итерации, что и было использовано в качестве ключевого аргумента для выбора этого алгоритма основной квантовой реализации. Также произведены замеры результатов производительности и качества найденного решения в сравнении с классическими аналогами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате подготовки диссертации были изучены основные положения квантовых вычислений с точки прикладного использования имеющихся разработок.

Также было спроектировано и реализовано три алгоритма. Разработанные алгоритмы на данном этапе могут быть использованы на физических реализациях с квантовым сопроцессором. Каждая из данных модификаций создавалась на основе существующих проблем классических алгоритмов путём их решения с помощью нетрадиционной модели вычислений.

Наряду с полученными преимуществами данные алгоритмы имеют и ряд недостатков, некоторыми из которых являются вероятностная модель и наличие лишь частичного решения поставленной задачи, то есть отсутствие результата в том виде, в котором его предоставляет классическая реализация.

Существует возможность устранения недостатков при последующих модификациях, однако данные цели находятся за пределами поставленных задач и на текущем этапе имеющегося результата в данных прикладных задачах достаточно для использования. Наиболее значимым результатом является апробация прикладных средств реализации классических алгоритмов на квантовых компьютерах. В течение разработки диссертации данный результат был достигнут.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Кухарчук И.В. Факторизация числа посредством модифицированного алгоритма Шора / И.В. Кухарчук // Материалы 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2015. – с.33

Кухарчук И.В. Симбиоз квантовых вычислений и генетических алгоритмов / И.В. Кухарчук // Сборник статей конференции «Информационные технологии и системы – 2015». – 2015. – с.248

Кухарчук И.В. Алгоритм двумерной упаковки в квантовых вычислениях / И.В. Кухарчук // Сборник статей ЛШ конференции «Технические науки – от теории к практике». – 2015. – с.30

Библиотека БГУИР