

ЛОГИКА ВНУТРИ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

Василевич В.В., Хорошун Д.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мащитько М.С. – канд. философских наук, доцент

Аннотация. Данная работа содержит в себе попытку разобраться с логическим наполнением квантовых компьютеров и их основными чертами отличия от классических. Таковыми мы посчитали принцип работы, ход вычислений, логические операнды и возможность изучить подробно ход внутренних процессов. В ходе изучения материалов нами было отмечено, что к квантовым компьютерам неприменим принцип детерминированности, бинарная логика, и результаты их вычислений дают лишь некоторую, пусть и довольно большую, вероятность правильного ответа.

На данном этапе развития потенциал современных кремниевых компьютерных технологий практически исчерпан: еще большее уменьшение компонентов устройств приведет к тому, что вещество начнет проявлять волновые свойства, а также в нем начнет действовать принцип неопределенности Гейзенберга. Таким образом перед учеными становится вопрос, куда же двигаться дальше. Одним из возможных направлений и путей дальнейшего развития являются квантовые технологии. Уже сейчас множество лабораторий и компаний задействовано в разработке и модифицировании квантовых компьютеров, а также в написании алгоритмов для них. Ввиду того, что логика квантового компьютера существенно отличается от логики классических вычислительных машин, которые, скорее всего, в скором времени войдут в наши жизни возникает необходимость в понимании тонкостей этого вопроса. В этой работе мы бы хотели разобраться, в чем заключаются основные отличия логики квантового компьютера от логики классического.

Основной принцип работы квантового компьютера хорошо известен и базируется на возможности квантового элемента находиться в двух состояниях одновременно (так называемый принцип суперпозиции), что по сути исключает идемпотентность выводов. Чтобы объяснить это состояние, обратимся к автору одного из самых известных квантовых алгоритмов. Приведем здесь прямую цитату Шора: «Если измерить состояния машины (по отношению к данному (гильбертову. – В.В.) базису) на любом конкретном шаге вычислений, то вероятность обнаружить систему в базисном состоянии $|S_i\rangle$ будет $|a_i|^2$; однако измерение состояния машины спроектирует ее в наблюдаемый базисный вектор $|S_i\rangle$. Поэтому наблюдать состояние машины можно только в конце вычислений». Соблюдение унитарности вычислительного процесса конкретно означает сохранение суммы

$$\sum_i |a_i|^2 = 1$$

на каждом шаге вычислительного процесса.

Главным отличием между квантовым и обычным компьютером (имеется в виду любая современная вычислительная техника, в том числе и суперкомпьютеры) мы считаем именно принципы их работы. Для всех современных компьютеров справедливо утверждение, что если задать некое начальное состояние системы и пропустить через заданный алгоритм, то результат вычислений будет повторяться из раза в раз, сколько бы мы не перезапускали данную программу или последовательность действий. Данный принцип работы называется детерминированным. Определенная последовательность шагов ведет к определенному результату. Этот принцип неприменим к квантовым компьютерам, так как они работают на принципе вероятностей. Это

означает, что в результате выполнения заданного алгоритма с определенным начальным состоянием мы получим выборку из вероятностного распределения конечных реализаций алгоритма не исключая вероятные ошибки. Чтобы увеличить вероятность правильного ответа, а в идеале и максимально приблизить результат к единице необходимо многократно повторить заданный алгоритм для нашего начального состояния. Говоря о стремлении результата к единице мы имеем в виду статистический анализ разброса N результатов, в котором один из этих результатов стремится к единице, в то время, как остальные - к бесконечно малым величинам.

Если мы говорим о процессе вычислений внутри квантового компьютера, то для нее справедлива следующая последовательность шагов: 1) установка некоторого необходимого для наших целей начального состояния кубитов; 2) изменение заданного состояния путем некоторых преобразований по сути соответствующим логическим операциям (или так называемым гейтам); 3) измерения конечного состояния системы, т.е. результатов работы компьютера. Одной из существенных отличительных черт работы квантового компьютера является также то, что мы можем измерить и проверить лишь результат работы и никогда не можем рассмотреть или отследить процессы внутри алгоритма, так как в процессе его выполнения вся система находится в состоянии суперпозиции.

Если в классическом компьютере используются логические вентили-базовые элементы цифровых схем, которые выполняют элементарные логические операции (к примеру, «И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ», побитовые сдвиги, побитовое отрицание), задача которых состоит в простом преобразовании входных логических сигналов в выходные, то в квантовом компьютере квантовые вентили преобразуют сигналы из входных в выходные по определенным законам. Простейшими однокубитными вентилями являются тождественное преобразование, отрицание, фазовый сдвиг. Стоит отметить, что квантовые логические операции не всегда имеют тот же смысл, что и классические, несмотря на схожие названия.

Так как бинарная логика и алгоритмы основанные на ней неприменимы к квантовым компьютерам, использующим квантовые вентили, для них создаются, основанные на квантовых преобразованиях, особые алгоритмы. Разработкой таких занимается множество ученых и список квантовых алгоритмов постоянно пополняется. Все они пишутся на базе классических компьютеров, имитирующих логику работы квантовых со связностью всех со всеми, после чего они перекомпилируются, чтобы отвечать особенностям архитектуры конкретных процессоров. Это делается для того, чтобы к моменту появления пригодного к промышленной эксплуатации универсального квантового компьютера максимально упростить написание программ для него.

Логика квантового компьютера разительно отличается от логики классического. Она по сути является небинарной, для нее нехарактерен принцип детерминированности. Работа с квантовыми однокубитными и многокубитными логическими операндами, как и разработка цельных квантовых алгоритмов требует значительной теоретической подготовки.

Список литературы.

1. ИКС Медиа, ИКС №2 2020, [Электронный журнал] статья «На пороге посткремния» Н.Носов от 05. Июля 2020 г. Режим доступа: <https://www.iksmedia.ru/articles/5684388-Na-poroqe-postkremniya.html>
2. Шор П. Полиномиальные по времени алгоритмы разложения числа на простые сомножители и нахождения дискретного логарифма для квантового компьютера // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Том II Ижевск, 1999. С. 208.
3. Электронный философский журнал Vox. Выпуск 20 (декабрь 2016), статья «Понятие квантовой логики: математические и философские аспекты» Антипенко Л.Г., Институт философии РАН. Режим доступа: <http://vox-journal.org>
4. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2018. Quantum Computing: Progress and Prospects. Washington, DC: The National Academies Press. P.3-3.1.5