

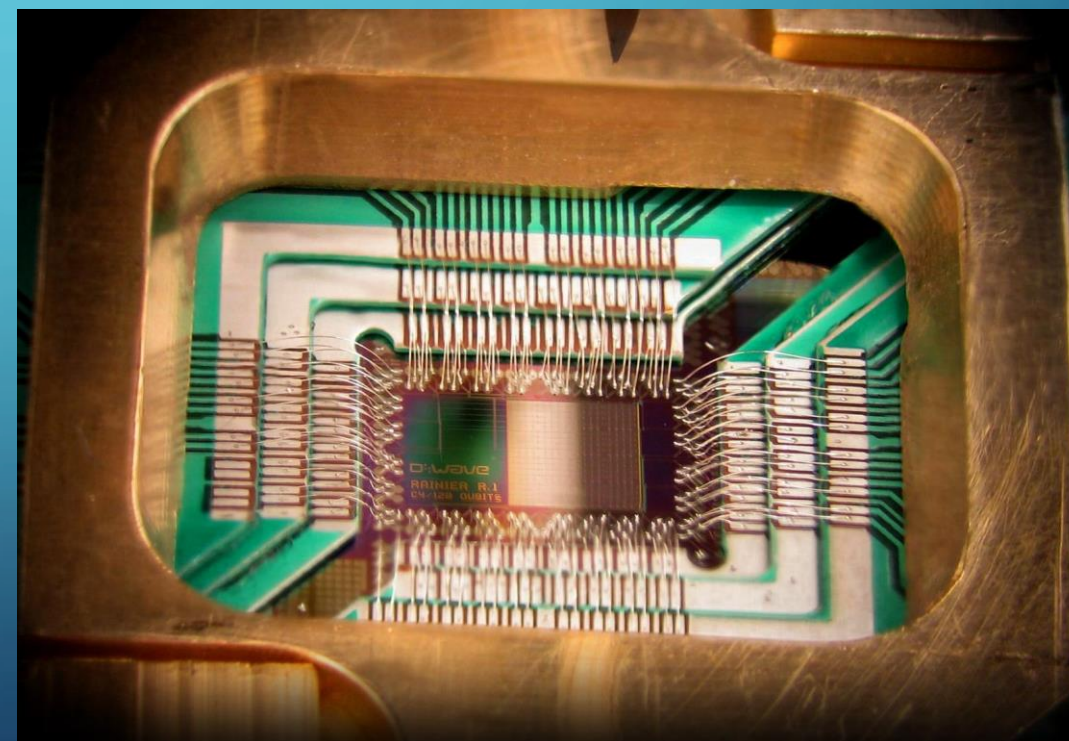
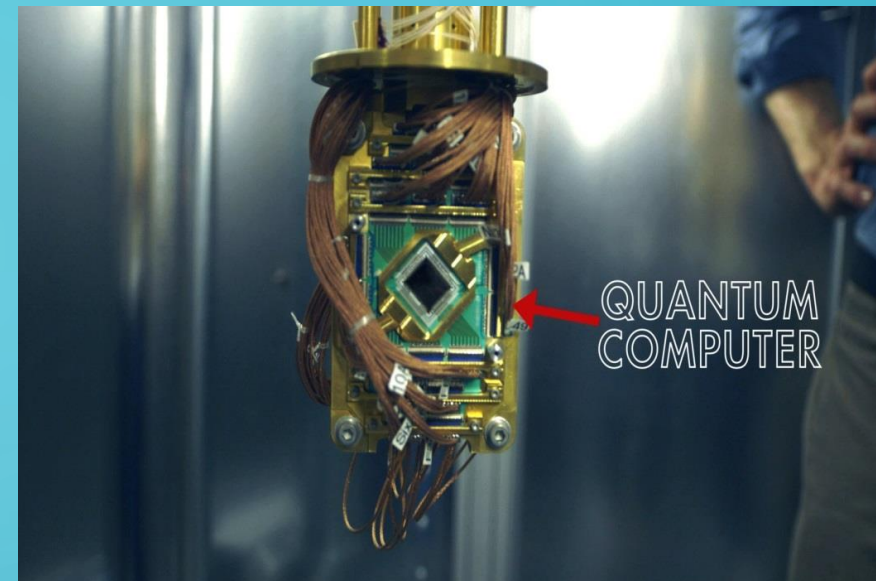


РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОРРЕКЦИИ И ИСПРАВЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТИПОВ ОШИБОК

ПОТАПОВ В.С.

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В настоящий момент наибольшую перспективу в сверхбыстрых параллельных вычислениях представляет квантовый компьютер. Идея создание такого типа устройства, осуществляющего обработку информации при помощи механизмов квантовой механики, была высказана американским физиком Р. Фейнманом в 1982 г. Квантовый компьютер способен эффективно справляться с невыполнимыми за приемлемое время задачами на классической ЭВМ. На данный момент существуют работающие прототипы квантового компьютера, однако не все квантовые алгоритмы можно реализовать на их основе. Для таких алгоритмов применяется моделирование на ЭВМ с классической архитектурой.



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В настоящее время существуют способы моделирования квантовых вычислений, которые главным образом используют математический аппарат представления квантовых вычислений. Чистое квантовое состояние (любое возможное состояние, в котором может находиться квантовая система) может быть описано при помощи уравнения волновой функции:

$$|\psi(t)\rangle = \int \psi(x,t)|x\rangle dx$$

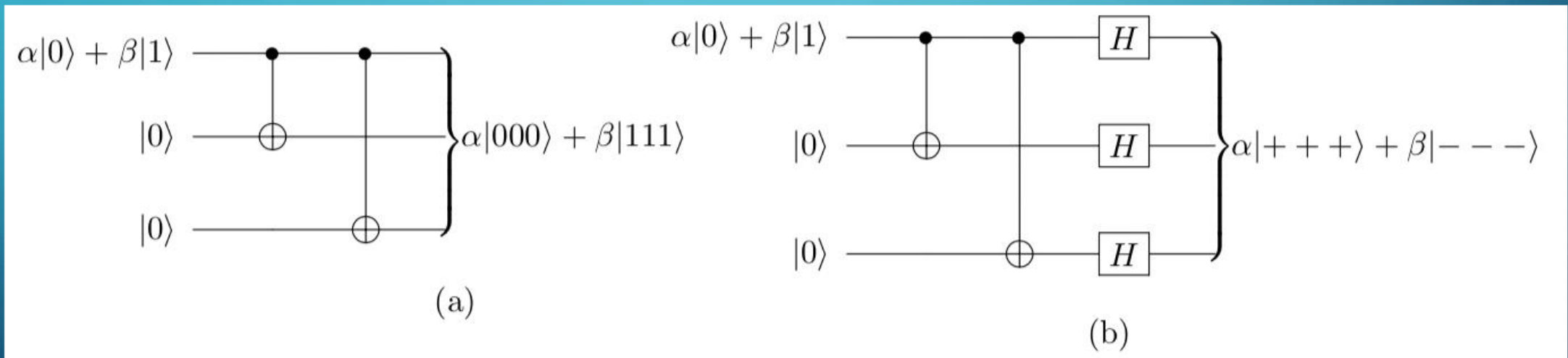
Один кубит, который описывается при помощи уравнения волновой функции, в матричной форме может быть представлен как вектор столбец вида $\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix}$. Здесь стоит заметить, что для вычислений необходимо только знать амплитуды состояний. Вектор столбец состояний представляет собой при моделировании квантовый регистр. В случае если квантовый регистр содержит более одного кубита, уравнение, для примера, описывающее квантовую систему из 2-х кубит, выглядит следующим образом:

$$|\psi\rangle = |\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle = \lambda_1|00\rangle + \lambda_2|01\rangle + \lambda_3|10\rangle + \lambda_4|11\rangle$$

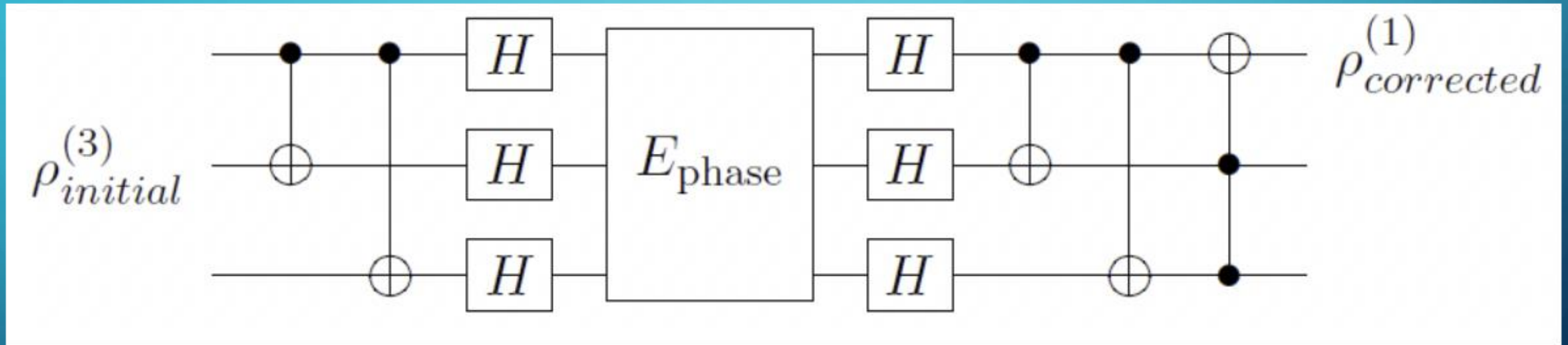
Запутанность может происходить в реальной физической системе и используется в большинстве квантовых алгоритмов, поэтому нельзя исключать данную возможность из симулятора, хотя данный подход и ведет к экспоненциальному увеличению затрачиваемой памяти. Однако на данный момент существуют алгоритмы, которые уменьшают, используемую память при моделировании и оптимизация процесса вычислений будет показана в следующих главах.

Разработка схемы коррекции и исправления квантовых ошибок

Фундаментальной единицей квантовой информации является кубит. В отличие от классического бита, кубит может существовать в когерентной суперпозиции двух его состояний, обозначаемых как $|0\rangle$ и $|1\rangle$. В квантовой информации обычно разлагают унитарные преобразования и измерения в квантовые схемы, которые представляют собой последовательности квантовых вентилей (гейтов): унитарные преобразования, которые действуют только на один или два кубита за раз. Существуют стандартные наборы квантовых вентилей, которые широко используются. На одном кубите общие гейты включают специфические вентили Адамара (H) и Фазы (S).



Классического аналога фазовой ошибки не существует, однако фазовую ошибку возможно трансформировать в классическую. Рассмотрим базис $|+\rangle = 1/2*(|0\rangle + |1\rangle)$, $|-\rangle = 1/2*(|0\rangle - |1\rangle)$. Аналогичным образом действует оператор X в базисе $|0\rangle, |1\rangle$. Используя этот факт, скорректировать или исправить данный тип ошибки можно с помощью трехкубитового кодирования $|0\rangle \rightarrow |+++ \rangle$, $|1\rangle \rightarrow |--- \rangle$. Используя схему коррекции легко составить схему исправления фазовой ошибки.



Заключение

Исправление ошибок - одна из основных задач, стоящих перед квантовыми вычислительными устройствами. И без решения данной проблемы, дальнейшие успешные разработки в этой многообещающей области станут неэффективными. В данной работе численно смоделированы коды коррекции различных видов ошибок. Проанализированы основные препятствия и трудности на пути защиты канала от шума, а также предложены некоторые методы их преодоления. Произведена реализация схем исправления двух основных типов квантовых ошибок. Продемонстрированы зависимости искажения данных от зашумленности и меры декогерентности от зашумленности в одном кубите, а также зависимость ошибки от меры и чистоты запутанности.