

Создание квантовых алгоритмов с помощью ChatGPT

•Подготовили:

- Соловьев Денис (Б02-208)
- Полякова Полина (Б02-202)
- Ерошкин Артём (МИСиС)

•Ментор:

- Кузьмичев Артем



Цели и ожидания

- Подобрав правильные запросы для ChatGPT, сгенерировать новые квантовые алгоритмы или сгенерировать множество идей для дальнейших исследований

Первые трудности



К сожалению, в настоящий момент не существует квантовых алгоритмов, специально предназначенных для работы с моделями языка, такими как ChatGPT. Квантовые компьютеры пока находятся на ранних этапах развития и большая часть и

Приношу извинения за возможное недопонимание. Как модель языка, моя основная задача - предоставлять информацию и помощь в рамках своих возможностей. К сожалению, в настоящее время не существует квантовых алгоритмов, специально разработанных для работы с моделями языка, такими как ChatGPT. Если у вас есть другие вопросы или нужна помощь в других областях, я буду рад помочь в рамках моих знаний.



As a language model, I must clarify that it is not within my abilities to create or implement real-world quantum algorithms. Quantum algorithms are highly complex and require specialized knowledge and expertise in quantum physics, mathematics, and computer science.



I apologize for any misunderstanding I may have caused. As an AI language model, I strive to provide accurate and helpful responses. Quantum computing is a complex and rapidly evolving field, and my responses may not always reflect the latest advancements.

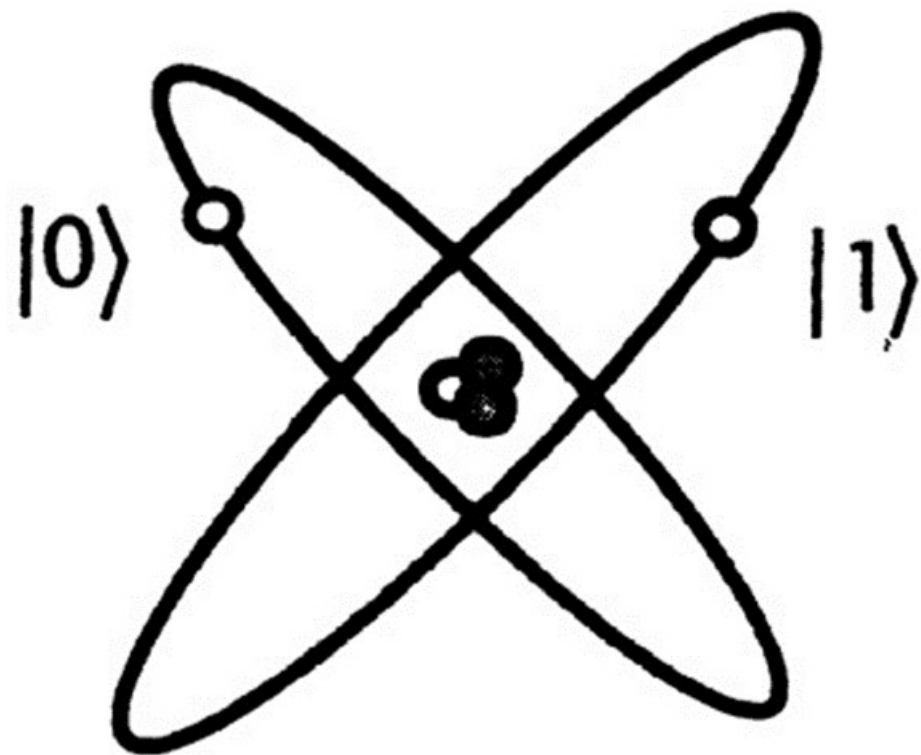
Как мы создавали запросы (prompts)?

- Вопросы напрямую "напиши квантовый алгоритм"
- Улучшение существующих алгоритмов или использование их идей
- Подробное описание конкретных задач для того, чтобы ChatGPT составила логику и реализацию алгоритма





Немного теории

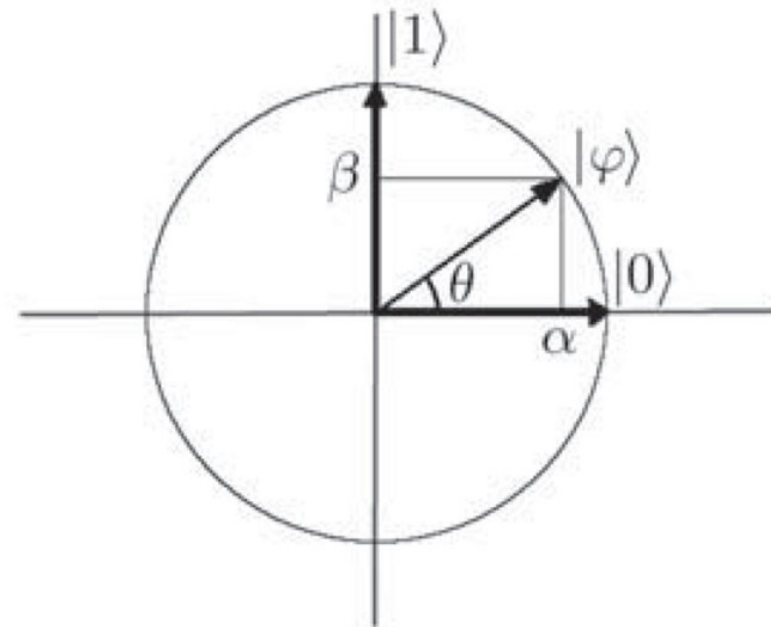


Кубит

Квантовые вычисления и квантовая информация построены вокруг понятия квантового бита (quantum bit), или для краткости кубита (qubit).

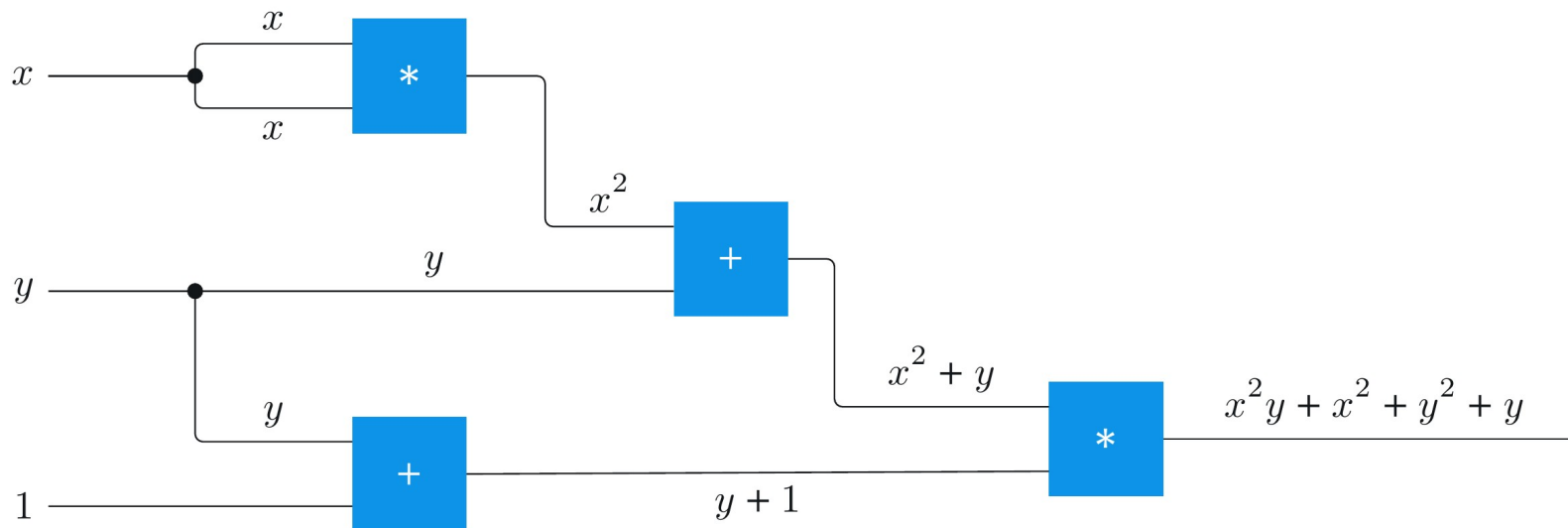
Математическая модель кубита

Состояние кубита представляет собой вектор в двумерном комплексном векторном пространстве. Коэффициенты α , β – комплексные числа.

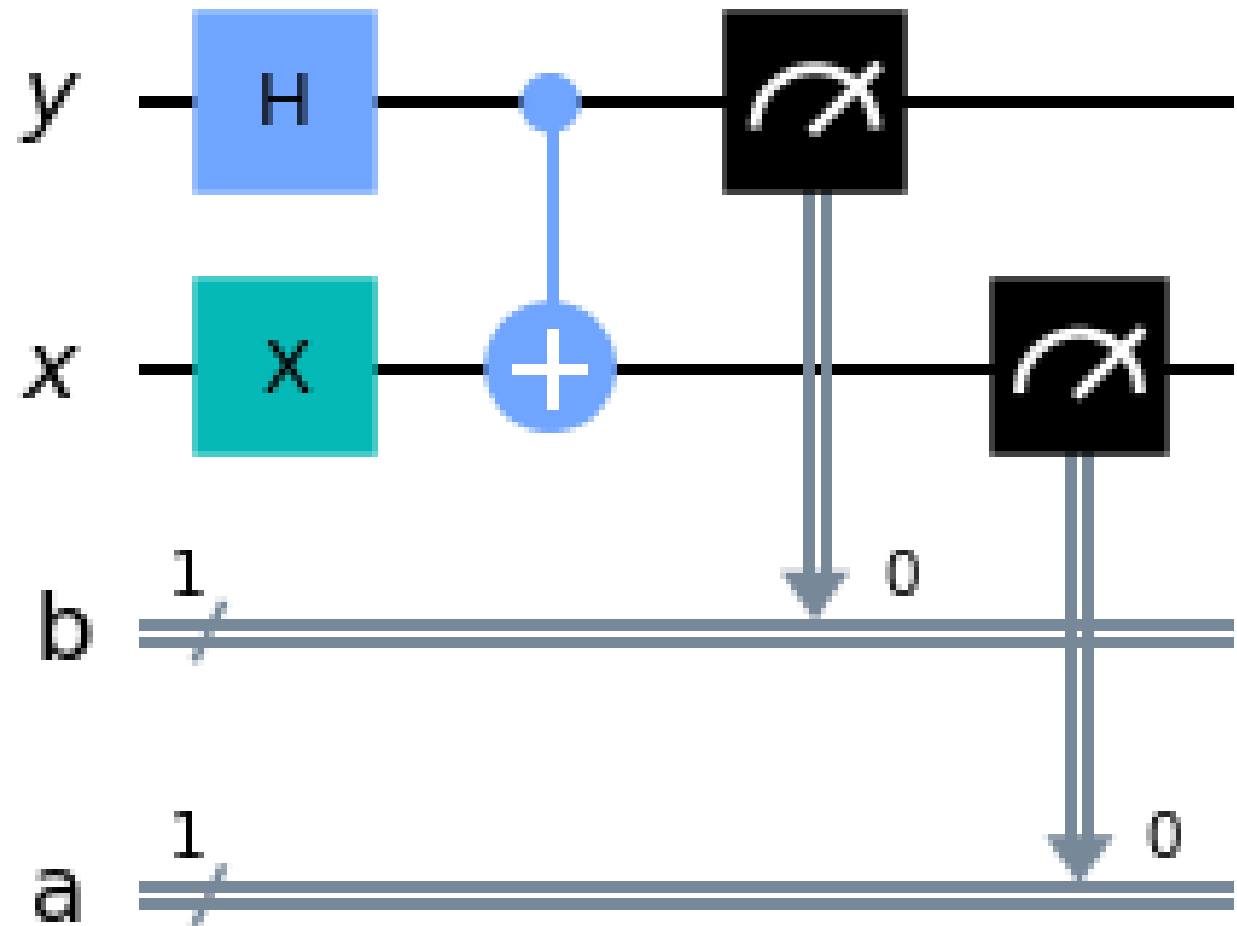


$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Цепи в компьютерных науках



Квантовые цепи



Гейт Адамара

$$H = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}.$$

$$H|0\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = |+\rangle,$$

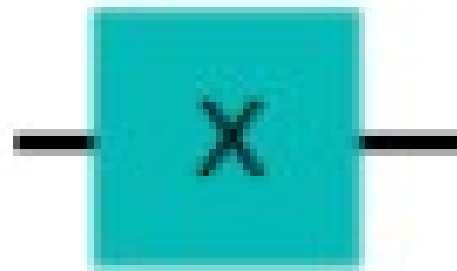
$$H|1\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = |-\rangle,$$

$$H|+\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = |0\rangle,$$

$$H|-\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle$$

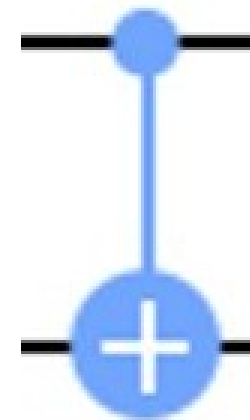
Гейт NOT

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$



$|00\rangle \mapsto |00\rangle$
 $|01\rangle \mapsto |01\rangle$
 $|10\rangle \mapsto |11\rangle$
 $|11\rangle \mapsto |10\rangle$

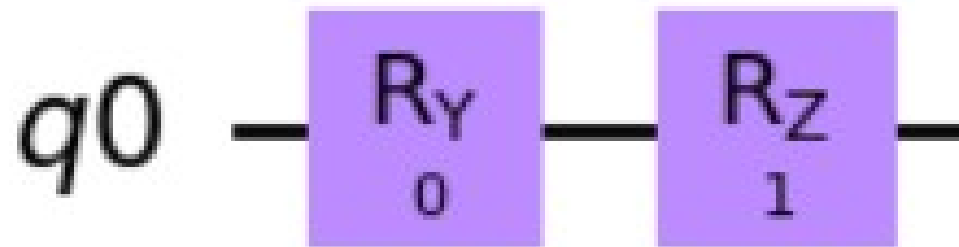
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$



Гейт CNOT

Гейты $R_x(\alpha)$, $R_y(\alpha)$, $R_z(\alpha)$

Операторы поворота



The maximum subarray problem

Постановка задачи

Нам задан массив чисел.
Требуется найти
непрерывный подмассив с
наибольшей суммой
элементов.



алгоритм квантовой приближенн ой оптимизаци и (QAOA)

Включает кодирование проблемы в квантовый гамильтониан, который является её математическим представлением.

Применяет последовательность чередующихся унитарных преобразований, известную как схема QAOA, к начальному квантовому состоянию системы. Измеряет конечное состояние системы и извлекает решение задачи оптимизации.

Основные этапы



Формулировка задачи в виде бинарной оптимизации, которую можно решить с помощью QAOA. Это включало в себя определение целевой функции, которую необходимо оптимизировать, и ограничений, которые должны быть удовлетворены.



Определение квантовой схемы, которая кодирует проблему и позволяет применять унитарные преобразования для оптимизации целевой функции.

Формулировка задачи в виде бинарной оптимизации:

- Имеем массив A длины n с элементами $A[0], A[1], \dots, A[n-1]$
- Определяем набор двоичных переменных: $x[k] \in \{0,1\}$ для $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$
- Определяем минимизируемую целевую функцию: $f(\vec{x}) = -S$, где $S = \sum A[k] * x[k]$
- Определяем ограничения:
 - а) $x[i] + x[j] \leq x[k] + 1$ для всех $i \leq k \leq j$
 - б) $\sum x[k] \geq 1$ где $k = 0, 1, 2, \dots, n$
- Сопоставляем двоичные переменных $x[k]$ с кубитами
- Кодировем целевую функцию и ограничения в виде гамильтониана, который затем эволюционирует с использованием анзаца QAOA

Код от ChatGPT для решения поставлен ной задачи

- Создаем n -кубитную квантовую схему и применяем вентили Адамара к каждому кубиту, чтобы создать равную суперпозицию всех возможных состояний.
- Применяем анзац QAOA, чтобы эволюционировать начальное состояние квантовой схемы и приблизиться к оптимальному решению. В данном случае используется **RealAmplitudes**.
- Измеряем состояния кубитов в конце схемы.
- Оптимизируем параметры анзаца QAOA с использованием классического оптимизационного алгоритма COBYLA.
- Из оптимальных параметров получаем оптимальное решение в виде бинарного вектора **optimal_solution**.
- Вычисляем максимальную сумму подмассива, соответствующую оптимальному решению.



Код не рабочий

Код содержит логические ошибки, например вектор весов различается по размерам с вектором входных данных

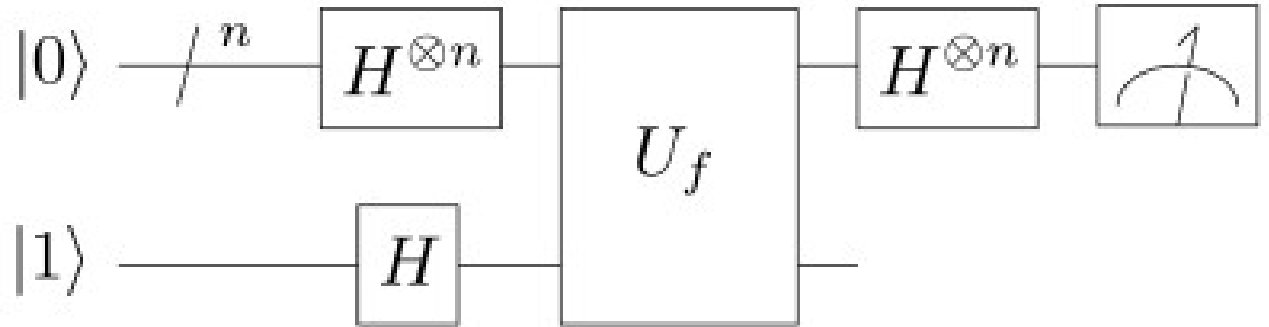
Алгоритм Дойча- Йожи

Постановка задачи

- Рассматриваются функции $f : F^n \rightarrow F$, где n произвольно. В задаче заранее известно, что f — либо константа, либо сбалансированная функция, т.е. принимает значения 0 и 1 одинаковое число раз (по 2^{n-1} раз). Сама функция f неизвестна, но к ней можно обращаться как к черному ящику: задать аргумент $x \in \{0, 1\}^n$ и получить значение $f(x)$. Нужно узнать, является функция f константой.

Алгоритм Дойча-Йожи: идея и схема

- 1) Инициализируем H в состояние $|0\rangle|1\rangle$
- 2) Применяем образование Адамара $R_{2^{n+1}} := R_{2^n} + R_2$
- 3) Применяем оператор $|a\rangle|b\rangle \mapsto |a\rangle f(a) \oplus b$, где \oplus — сумма mod 2.
- 4) Применяем преобразование Адамара к первому регистру.
- 5) Измеряем первый регистр; если получится $|0\rangle$, то f - константа, если получится какой-нибудь другой базисный вектор $|u\rangle$, $u \neq 0$, то f — сбалансированная функция.



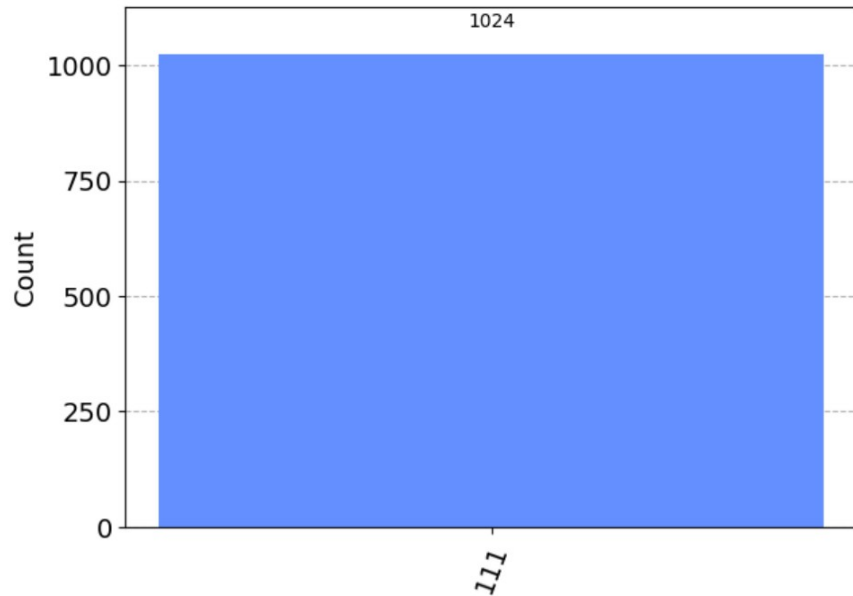
Идеи улучшения алгоритма Дойча-Йожи

Идея: используя идеи алгоритма Дойча-Йожи создать алгоритм проверки:

- На периодичность
- На монотонность
- На линейность

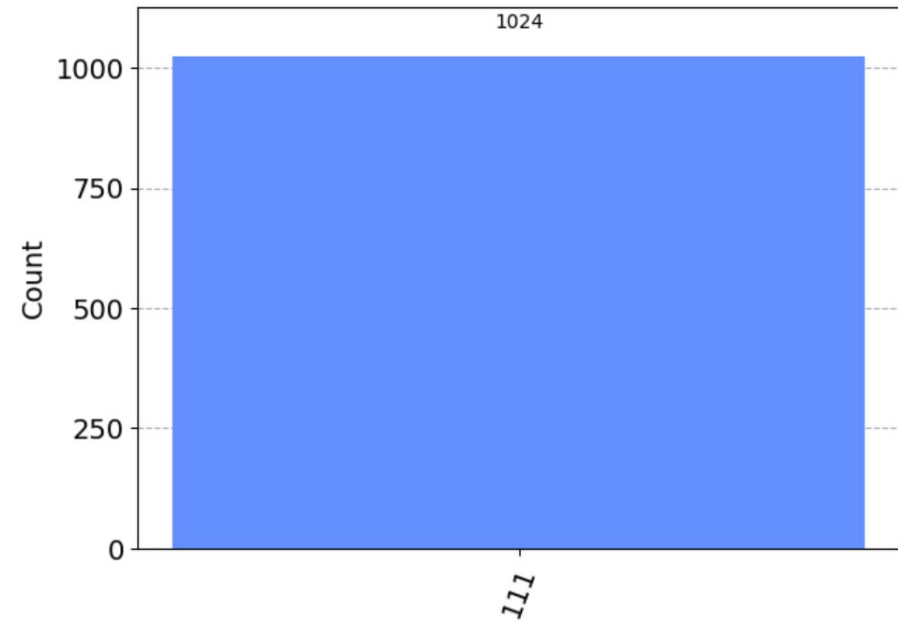
Итоги по алгоритму

```
n = 3
f = lambda x: x[0] * x[1] ^ x[2]
circuit = extended_deutsch_josza(n, f)
result = run_algorithm(circuit)
plot_histogram(result)
```



- Линейность - код запускается, но на самом деле это обычный Дойч-Йожи
- Монотонность - код запускается, однако код работает некорректно
- Периодичность - код запускается, но это снова обычный Дойч-Йожи

```
f = lambda x: x[0] ^ x[1] ^ x[2]
circuit = extended_deutsch_josza(n, f)
result = run_algorithm(circuit)
plot_histogram(result)
```



Алгоритм Бернштайна- Вазирани

Постановка задачи

Нам дана функция, зависящая от скрытой битовой строки **s**. Требуется найти зашифрованную строку.

$$f_s(x) = s \cdot x \mod 2$$

Input(x)
100...0
010...0
001...0
000...1

Классическое решение

Асимптотическая сложность - $O(n)$.

Алгоритм Бернштай на- Вазирани

Инициализируем n кубитов в состоянии 0 и 1 кубит в состоянии 1.

Применяем гейты Адамара ко всем кубитам.

Действуем оракулом на систему из n первых кубитов

Применяем гейты Адамара ко всем кубитам.

Измеряем состояние первых n кубитов.

1. The register of two qubits is initialized to zero:

$$|\psi_0\rangle = |00\rangle$$

2. Apply a Hadamard gate to both qubits:

$$|\psi_1\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)$$

3. For the string $s = 11$, the quantum oracle performs the operation:

$$|x\rangle \xrightarrow{f_s} (-1)^{x \cdot 11} |x\rangle.$$

$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2}((-1)^{00 \cdot 11}|00\rangle + (-1)^{01 \cdot 11}|01\rangle + (-1)^{10 \cdot 11}|10\rangle + (-1)^{11 \cdot 11}|11\rangle)$$

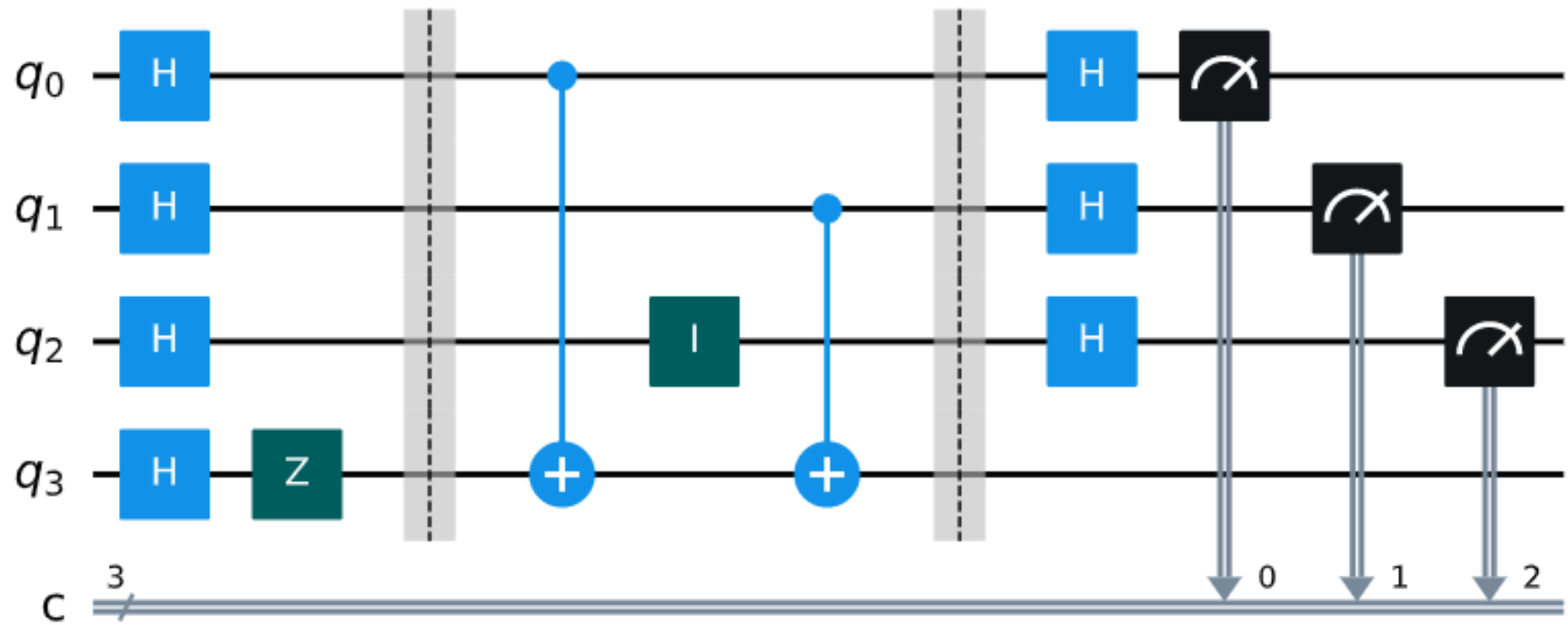
$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle - |01\rangle - |10\rangle + |11\rangle)$$

4. Apply a Hadamard gate to both qubits:

$$|\psi_3\rangle = |11\rangle$$

5. Measure to find the secret string $s = 11$

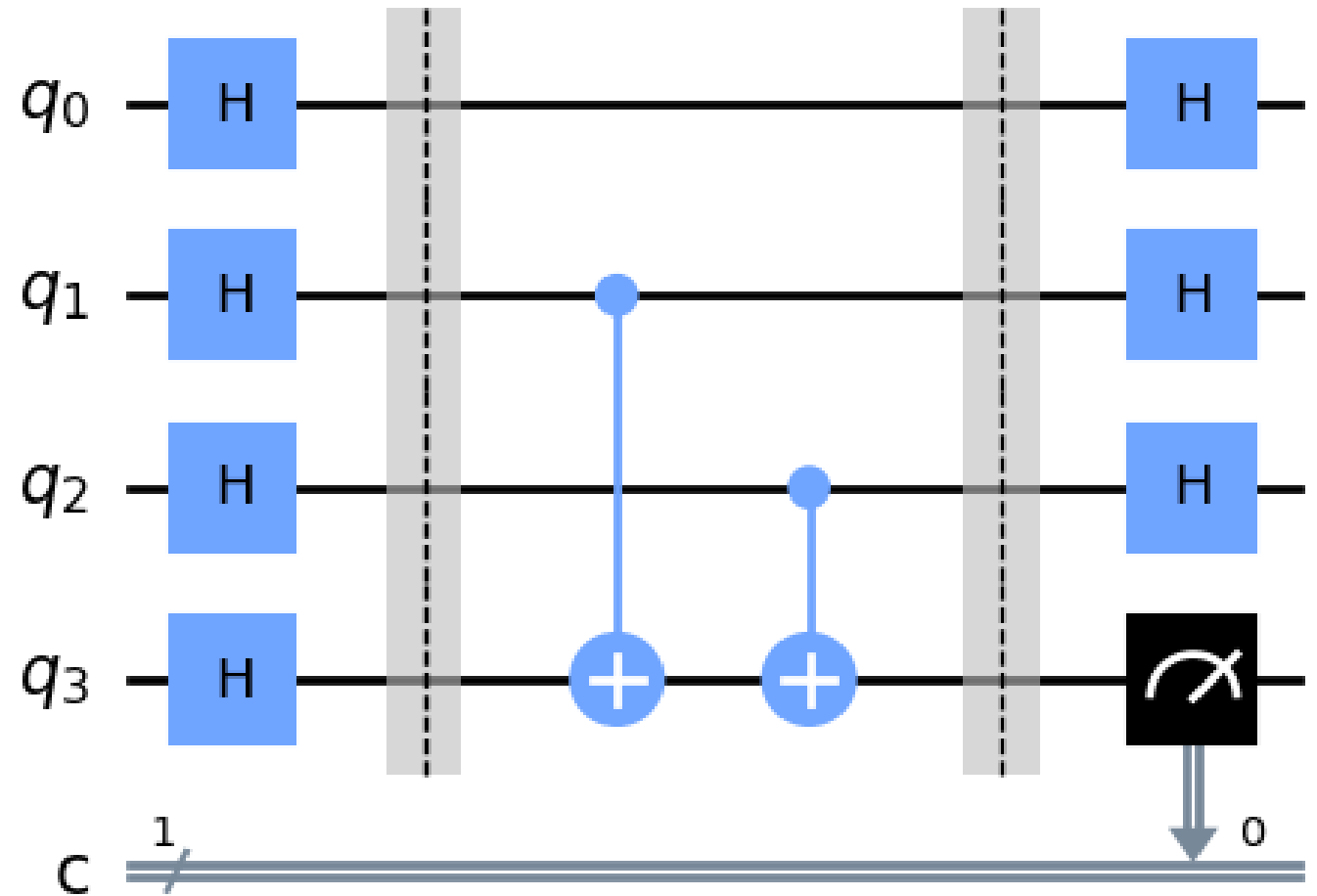
$$S = 011$$



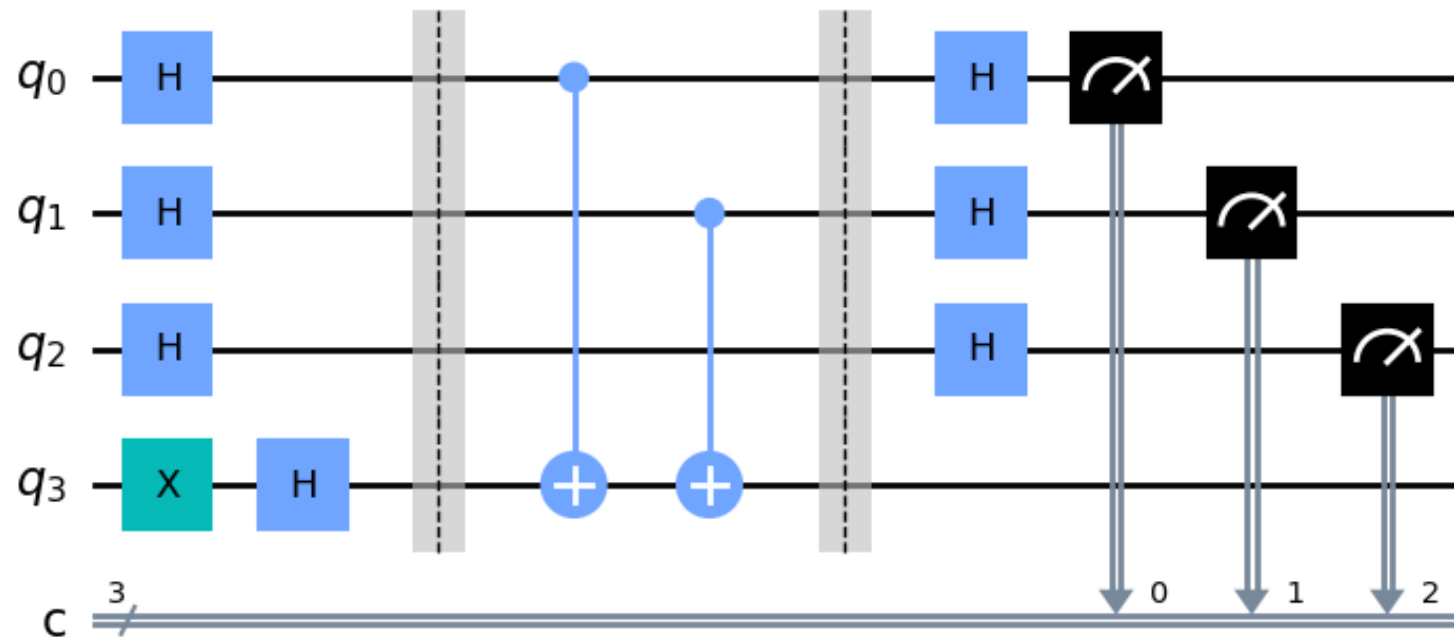
Шаги алгоритма, предложенные ChatGPT

1. Initialization: Prepare two quantum registers, one with n qubits and another with one qubit. Set the n qubits to the state $|0\rangle$ and the one qubit to the state $|1\rangle$.
2. Superposition: Apply a Hadamard gate to each qubit in the n qubit register, putting it in an equal superposition of $|0\rangle$ and $|1\rangle$.
3. Oracle: Apply the black box function to the n qubit register, with the one qubit register as the target. The black box function flips the target qubit if the corresponding bit in the hidden string is 1, and leaves it unchanged if the bit is 0.
4. Measurement: Apply a Hadamard gate to each qubit in the n qubit register again. This undoes the effect of the first Hadamard gate and puts the register back into a computational basis state.
5. Measure the n qubit register. The measurement result will be the hidden string of bits.

Неверная
имплементация
алгоритма
на Qiskit от
ChatGPT



После
исправления
ошибок



"Новый" алгоритм, придуманный ChatGPT

1. Initialization: Prepare two quantum registers, one with n qubits and another with one qubit. Set the n qubits to the state $|0\rangle$ and the one qubit to the state $|1\rangle$.
2. Superposition: Apply a Hadamard gate to each qubit in the n qubit register, putting it in an equal superposition of $|0\rangle$ and $|1\rangle$.
3. Oracle: Apply a black box function to the n qubit register that performs the following operations:
 - If the input string is the hidden string of bits, apply a phase gate to the target qubit, changing its phase from $|1\rangle$ to $-|1\rangle$.
 - If the input string is not the hidden string of bits, leave the target qubit unchanged.
4. Measurement: Measure the target qubit. If the phase of the target qubit is $-|1\rangle$, then the hidden string of bits is the input string that was used in step 3. Otherwise, the hidden string of bits is not the input string.



Главные проблемы

- Нерабочий код
- Обучена на датасетах не позднее 2021 года
- Специфичность темы
- Ограничение архитектуры
- Проблемы со справочным материалом

Выводы

- Отличный помощник в поиске информации и составлении плана работы.
- Способен анализировать предложенные алгоритмы, определять их слабые и сильные стороны, а также сравнивать с алгоритмами схожими по назначению
- Периодически выдает перспективные предложения по улучшению уже существующих алгоритмов или методике написания реализующего их кода
- Не способен создавать новые алгоритмы или полностью реализовывать предложенные им модификации уже существующих

Репозиторий с наработками: <https://github.com/shhesterka04/Quantum-Insights>

