

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

Аметова Г. Е.

Докторант, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,
г. Ташкент, Узбекистан

РЕЗЮМЕ

В этой статье рассказывается, как технологии квантовых вычислений могут радикально изменить процесс обработки изображений. Их вычислительная мощность и возможности параллельной работы помогают быстро и эффективно решать сложные задачи. С развитием этой технологии в будущем квантовые алгоритмы могут стать новым стандартом обработки изображений. проанализированы квантовые алгоритмы обработки изображений.

Ключевые слова: изображений, квантовые вычисления, алгоритм, обработка изображений, классификация, визуализация

Introduction

ВВЕДЕНИЕ

Обработка изображений — это процесс выполнения определенных операций над изображением для извлечения полезной информации. Классификация, извлечение признаков, распознавание образов и проекция — это некоторые из методов обработки изображений. Медицинская визуализация, видеонаблюдение, дистанционное зондирование, робототехника, дополненная и виртуальная реальность, биометрия, распознавание символов, развлечения и т. д. Квантовые вычисления позволяют обнаруживать границы на изображении за время (n) , где n — количество пикселей в изображении. Это намного быстрее, чем классический алгоритм обнаружения границ, занимающий время $O(n^2)$, а в худшем случае — даже $O(2^n)$ Кроме того, они способны обрабатывать большие наборы данных. Различные методы квантовой визуализации, включая гибкое квантовое представление изображений (FRQI), улучшенную квантовую визуализацию (NEQR) и квантовое вероятностное кодирование изображений (QPIE), лежат в основе современных технологий. Эти методы используют уникальные свойства квантовых вычислений для кодирования изображений с более высоким качеством и оптимизированным способом.

Такие концепции, как кубитные решетки и представление в реальном времени, обеспечивают высокую эффективность в квантовой обработке изображений. В данной статье анализируются различные методы квантовой визуализации, обсуждаются их преимущества, ограничения и практическое применение. Эти технологии особенно важны в областях обработки изображений, компьютерной графики и искусственного интеллекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Квантовые вычисления основаны на совершенно иных принципах, чем традиционные вычисления. В то время как обычные компьютеры используют биты, квантовые компьютеры используют квантовые биты, или кубиты. Кубиты обладают такими свойствами, как суперпозиция и квантовая запутанность, которые позволяют им обрабатывать очень большие объемы данных параллельно.

Классические компьютеры. Растровые или битовые форматы и векторные форматы изображений являются наиболее распространенным способом представления изображений на классических компьютерах. Изображения на классических компьютерах могут храниться различными способами. Простейшим из них могут быть матрицы значений интенсивности, присутствующих в каждом пикселе изображения.



Квантовые компьютеры. Подобно классическому компьютеру, квантовый компьютер имеет множество способов представления изображений. К ним относятся:

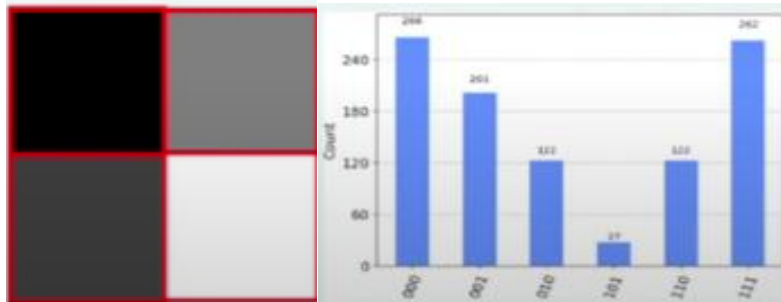
- гибкий метод представления квантовой визуализации (FRQI);
- усовершенствованный метод квантовой визуализации (NEQR);
- квантовый вероятностный метод кодирования изображений (QPIC);
- решетка кубитов (Qubit Lattice);
- представить реальный (Real Ket Representation).

Гибкий способ представления квантовых изображений. (FRQI). Метод гибкого квантового представления изображений (FRQI) требует наименьшего количества кубитов для кодирования изображения, но восстановить исходное изображение из квантового состояния может быть сложно. В случае FRQI нам нужен $2n + 1$ кубит, где размер изображения $2^n \times 2^n$ принимается за единицу.

$\theta_0, 00\rangle$	$\theta_1, 01\rangle$
$\theta_2, 10\rangle$	$\theta_3, 11\rangle$

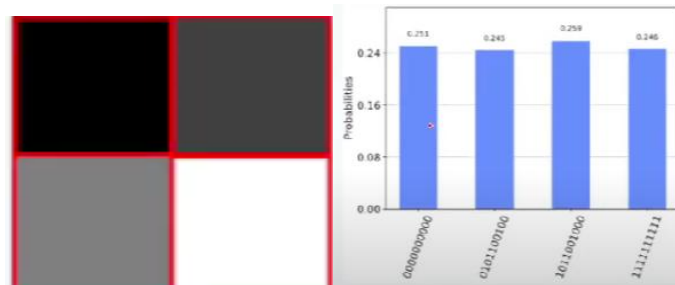
2x2 для изображения

$$|I(\theta)\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{i=0}^{2^{2n}-1} (\cos \theta_i |0\rangle + \sin \theta_i |1\rangle) \otimes |i\rangle \quad (1)$$



Улучшенная квантовая визуализация (NEQR). NEQR точнее, чем FRQI, и может использоваться для более легкого восстановления исходного изображения из квантового состояния. Однако для кодирования изображения требуется больше кубитов, чем для FRQI. Мы можем использовать два регистра: один для позиции пикселя, а другой для значения серого (или цвета). Для масштаба 255 мы можем представить наше изображение 2x2 как (2)

$$|I\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{y=0}^{2^{2n}-1} \sum_{x=0}^{2^{2n}-1} |f(y,x)\rangle |yx\rangle \quad (2)$$



Расположение	Двоичный массив	Межцветовая промежуточность
$ 00\rangle$	$ 00000000\rangle$	0- черный
$ 01\rangle$	$ 01100100\rangle$	100- Темный оттенок
$ 10\rangle$	$ 11001000\rangle$	200- Светлый оттенок
$ 11\rangle$	$ 11111111\rangle$	255- Белый

1-таблица. Этот метод демонстрирует преимущества квантовых вычислений в сжатии и оптимизации изображений и является важным шагом на пути к практическому применению квантовых технологий.

Квантово-вероятностное кодирование изображений (QPIE). QPIE позволяет значительно компактнее представлять данные изображения, требуя значительно меньших кубитов

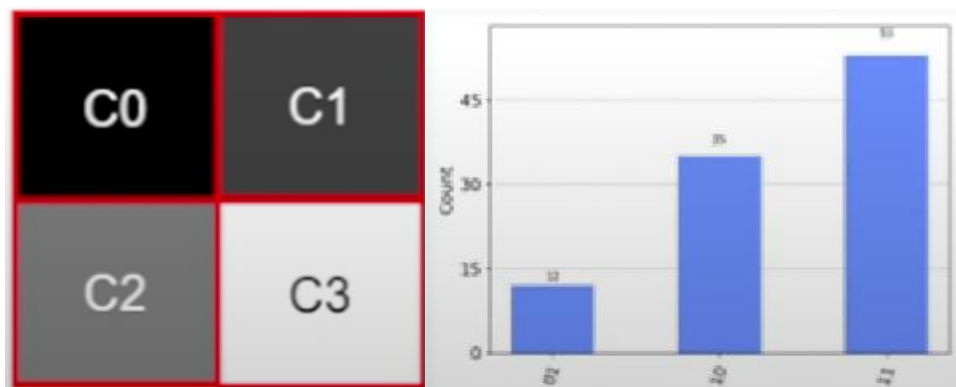
$n = \lceil \log_2 N \rceil$. Этот метод, в отличие от традиционного кодирования изображений, использует амплитуды вероятности квантовых состояний. В этом процессе изображение эффективно и компактно представляется путем его нормализации таким образом, чтобы сумма квадратов всех амплитуд вероятности равнялась 1. Интенсивность пикселей преобразуется в амплитуды вероятности квантовых состояний. Изображение представляется в квантово-вероятностном формате.

$$I = (I_{yx})_{N_1 \times N_2} \quad c_i = \frac{I_{yx}}{\sqrt{\sum I_{yx}^2}} \quad (3)$$

С помощью (3) изображение 2×2 может быть представлено состоянием кубита. Используя $|\text{Im } g\rangle = c_0|00\rangle + c_1|01\rangle + c_2|10\rangle + c_3|11\rangle$, изображение можно представить

состоянием n кубитов. Из этого получается $|\text{Im } g\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} c_i|i\rangle$. В этом случае

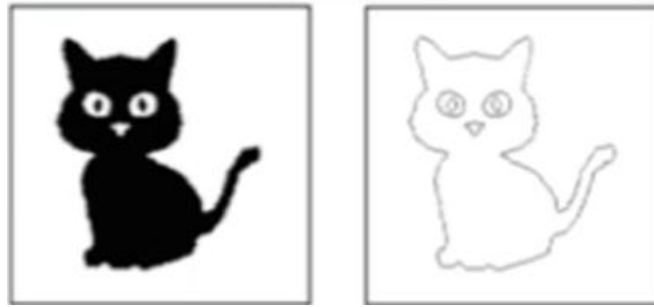
изображение можно представить следующим образом:



Решетка кубитов — это структура, используемая для организации и хранения кубитов (квантовых битов) в квантовых вычислениях. Кубиты являются основной единицей квантовых вычислений, и помимо своих состояний, то есть значений «0» и «1», они также могут существовать в состояниях суперпозиции. Решетка кубитов — это упорядоченная система кубитов для эффективного и оптимизированного выполнения квантовых изображений или квантовых вычислений.

Представление в виде действительных кетов — это подход, используемый в квантовой механике для представления изображений и данных. Квантовые системы представляют свои состояния с помощью векторов кетов ($|\psi\rangle$), которые являются математической моделью квантовой механики. Представление в виде действительных кетов позволяет нам представлять квантовые состояния, то есть состояние квантовой системы, с помощью действительных чисел.

Обнаружение границ изображения с помощью вентиля Адамара. Обнаружение краев — важный метод для выявления компонентов изображения. Классические алгоритмы обнаружения краев в основном основаны на вычислении градиентов изображения.



QHED (Quantum Hybrid Entanglement Distribution)—это подход, используемый в области квантовой связи и квантовой передачи данных. Он обозначает гибридный метод распределения квантовой запутанности. Алгоритм QHED использует операцию вентиля Адамара для обнаружения края изображения. Для младшего значащего бита LSB необходимо использовать вентиль H, который задается формулой (4) для унитарной (двухкубитной) операции.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Для обнаружения границы изображения с помощью вентиля Адамара (QPIE) изображение необходимо поместить в квантовый регистр, содержащий значения пикселей, закодированные с использованием квантово-вероятностного метода кодирования (5).

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_0 + c_1 \\ c_0 - c_1 \\ c_2 + c_3 \\ c_2 - c_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

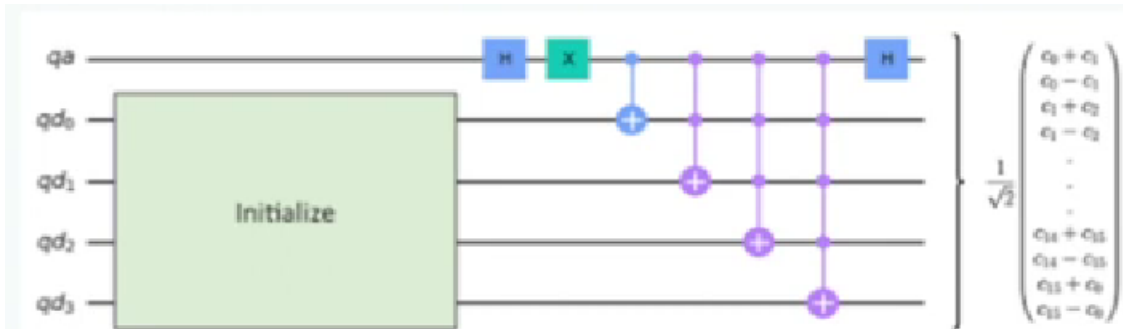
Теперь у нас есть доступ к градиенту между интенсивностями соседних пикселей, где $(c_i - c_{i+1})$ равно. Чтобы получить градиент между парами четных и нечетных пикселей, мы добавляем к нему вспомогательный кубит и H-вентиль. Мы можем изменить состояние с $(c_0, c_0, c_1, c_1, c_2, c_2, \dots, c_{N-2}, c_{N-2}, c_{N-1}, c_{N-1})^T$ на $(c_0, c_1, c_1, c_2, c_2, c_3, \dots, c_{N-2}, c_{N-1}, c_{N-1}, c_0)^T$. Используя унитарный вентиль, состояние (сдвиг амплитуды) становится (6).

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Если мы применим вентиль Н к вспомогательному кубиту, мы получим значения горизонтального градиента (7) для всех возможных пар соседних кубитов.

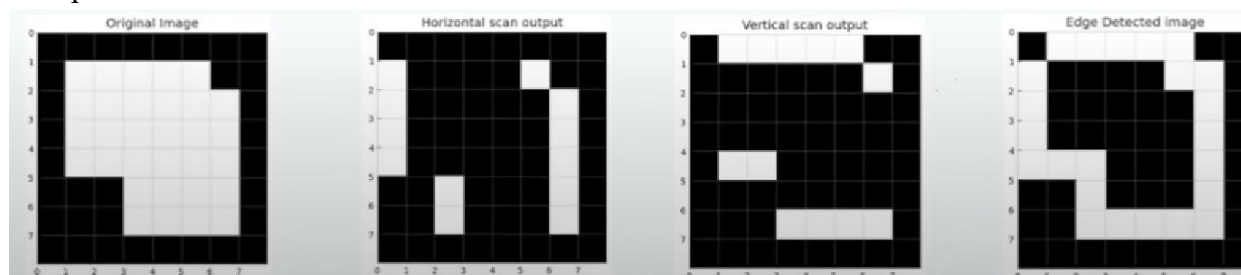
$$|\text{Im } g\rangle \otimes \frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_0 \\ c_1 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{N-2} \\ c_{N-2} \\ c_{N-1} \\ c_{N-1} \end{bmatrix} (I_{2^n} \otimes H) \begin{bmatrix} c_0 \\ c_0 \\ c_1 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{N-2} \\ c_{N-2} \\ c_{N-1} \\ c_{N-1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} c_0 + c_1 \\ c_0 - c_1 \\ c_1 + c_2 \\ c_1 - c_2 \\ c_2 + c_3 \\ c_2 - c_3 \\ \vdots \\ c_{N-2} + c_{N-1} \\ c_{N-2} - c_{N-1} \\ c_{N-1} + c_0 \\ c_{N-1} - c_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Для получения изображения с вертикальным краем сканирования выполняется транспонирование матрицы изображения. Транспонирование означает замену строк и столбцов матрицы изображения местами. Это помогает, например, изменить изображение с вертикального на горизонтальное.



Мы берем транспонированную матрицу изображения и делаем то же самое с вертикальным сканированием, затем горизонтальное и вертикальное сканирование объединяются с помощью классической постобработки для создания изображения с

полностью определенными краями. В результате, все края изображения определяются с помощью вертикального и горизонтального сканирования, и изображение дополнительно улучшается. Этот процесс может использоваться в обработке изображений, например, в компьютерной графике или системах распознавания изображений.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье анализируются различные методы квантовой визуализации и их свойства. Метод гибкого квантового представления изображения (FRQI) позволяет представлять изображение в одном квантовом состоянии и обеспечивает эффективное кодирование цветовой информации. Метод улучшенного квантового представления изображения (NEQR) создает дополнительные возможности для повышения качества и четкости изображения.

Метод квантового вероятностного кодирования изображения (QPIC) основан на квантовой теории вероятностей и направлен на сжатие и оптимизацию изображений. Решетка кубитов играет важную роль в упорядоченном хранении и обработке данных изображения. Представление в реальном времени используется для эффективного кодирования и обработки изображений с помощью квантовых алгоритмов.

Развитие квантовых вычислений и технологий квантовой визуализации расширяет возможности практической реализации этих методов. Эти методы имеют большое значение в областях искусственного интеллекта, обработки изображений и квантовых алгоритмов и в будущем могут служить альтернативным решением традиционным методам кодирования изображений.

Список использованных источников

1. Yan.F, Zhang.Y, Gao.F. (2020). Flexible Representation of Quantum Images (FRQI) and Its Applications. *Quantum Information Processing*, 19(3), 112–125.
2. Le.P. Dong.Q, Hirota.K. (2011). NEQR: A Novel Enhanced Quantum Representation of Digital Images. *Quantum Information Processing*, 10(1), 63–84.
3. Wang.J,Wang.L, Zhang.X. (2018). Quantum Probability Image Encoding and Its Applications in Image Processing. *IEEE Transactions on Quantum Computing*, 5(2), 204–217.
4. Zhou.R, Li.H, Wang.Q. (2022). Qubit Lattice Structure for Efficient Quantum Image Processing. *Journal of Quantum Computing*, 7(4), 301–316.
5. Liu.C, Zhang.H, Xu.D. (2019). Real Ket Representation and Its Role in Quantum Image Processing. *Quantum Machine Learning Journal*, 12(2), 98–112.

6. Nielsen.M.A, Chuang.I.L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press.
7. Benenti.G, Casati.G, Strini.G. (2019). Principles of Quantum Computation and Information: Basic Concepts. World Scientific Publishing.