

## Разработка метода квантового преобразования цвета и вычисление негатива квантового изображения

*С.М. Гушанский, Н.М. Коробейникова, В.С. Потапов*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** В данной статье исследуются последствия применения квантовых вычислительных систем в области обработки изображений. Рассматривается основное преобразование, связанное с обработкой серого уровня, такое, как негатив изображения. В статье показано, как эта операция может быть выражена с помощью квантового формализма. Имеет ли квантовая обработка изображений (в некоторых аспектах или некоторых конкретных приложениях) преимущество перед классической обработкой изображений в реалистичных сценариях еще предстоит выяснить. Это зависит от решения ряда задач, некоторые из которых уникальны для квантовой обработки изображения, таких как выделение признаков квантового изображения. Некоторые из них являются общими для квантовых алгоритмов, например, обработка шумов. Выявление одного из них значительно ускорит исследования этого поля.

**Ключевые слова:** кубит, квантовая схема, запутанность, регистр, квантовое распознавание, гейт, параллелизм, интерференция, квантовый компьютер, распознавание.

### Введение

В современном мире большое количество аспектов жизни так или иначе связано с применением компьютерной техники [1] и обработкой данных. С каждым годом растут объемы обрабатываемой информации, как и вычислительные мощности систем. Но бесконечный прирост мощности в привычных нам вычислительных системах [2] невозможен. Ещё в далеком 1981 году физик Ричард Фейнман говорил о том, что ветвь развития вычислительной техники, базирующейся на двоичной логике, рано или поздно придёт в тупик. И человечество потеряет возможность всё так же эффективно и быстро контролировать экспоненциально растущие объемы данных.

### Основные понятия квантовой теории информации

В классической теории информации ЭВМ оперируют с битами, которые могут быть в двух разных состояниях - нуля или единицы. В квантовых же вычислениях существует понятие квантового бита (кубита),

---

содержащего в себе суперпозицию (взаимосвязь) нуля и единицы. Пусть имеем вычислительную систему, состоящую из двух базисных состояний  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ . Приравняем эти базисные состояния с двумя ортогональными векторами (10) и (01) соответственно. Один кубит, который описывается при помощи уравнения волновой функции, в матричной форме может быть представлен как вектор столбец вида  $[\alpha \ \beta]^T$ . 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 как  $|\psi\rangle = |\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle = \lambda_1|00\rangle + \lambda_2|01\rangle + \lambda_3|10\rangle + \lambda_4|11\rangle$ , где  $\lambda_1 = \alpha_1\alpha_0$ ,  $\lambda_2 = \alpha_1\beta_0$ ,  $\lambda_3 = \beta_1\alpha_0$ ,  $\lambda_4 = \beta_1\beta_0$ . Или в матричной форме как вектор столбец вида  $[\lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \ \lambda_4]^T$ . В общем случае квантовый регистр описывается как  $|\psi\rangle = |\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\rangle = |\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle \otimes \dots \otimes |\psi_n\rangle$ , где  $\psi_i$ ,  $i=1\dots n$  волновые функции отдельно взятых кубит, а  $n$  – общее количество кубит в моделируемой квантовой системе.

### **Преобразование цвета и вычисление негатива квантового изображения**

Квантовый формат изображения – это основная тема квантовой обработки изображений. Решетка кубита, вектор кет и FRQI (гибкое представление квантовых изображений) [3] – это три основных формата квантовых изображений. Решетка кубита – первый формат квантового изображения, предложенный Венегас-Андрака. Он предположил, что если частоту значений (значение цвета) световой волны можно сопоставить с амплитудой вероятности кубита, то значение пикселя  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца могут быть сохранены в амплитудном угле и все изображение может быть представлено в виде строки кубитов.

$$|pixel_{i,j}\rangle = \cos \frac{\theta_{i,j}}{2} |0\rangle + \sin \frac{\theta_{i,j}}{2} |1\rangle, \quad (1)$$

Суть схемы представления заключается в отображении пространственной информации изображения до амплитуды одного кубита без использования квантовых свойств суперпозиции и запутанности. FRQI, предложенное в [4] было обновленной версией решетки кубита с использованием суперпозиции квантовых состояний. Схема по-прежнему сопоставляет значение оттенков серого каждого пикселя с амплитудой, при этом вводя вспомогательный кубит для обозначения пространственного положения каждого пикселя. Все изображения подготовлены в большое квантовое суперпозиционное состояние. Уравнение (2) изображает квантовое изображение размером  $2^n \times 2^n$ , где  $i$  можно рассматривать как индикатор положения пикселей.

$$|image\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{i=0}^{2^{2^n}-1} (\cos \theta_i |0\rangle + \sin \theta_i |1\rangle) \otimes |i\rangle \quad \theta_i \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]. \quad (2)$$

Был предложен расширенный метод для полярных координат и замененных пикселей пространственного положения с полярными диаметрами и полярными углами [5]. Руан выразил значение серого пикселя как  $|0\rangle + e^{i\theta}|1\rangle$ , заменяя  $\cos \theta|0\rangle + \sin \theta|1\rangle$ , в котором хранится значение серого, которое фактически заменило ZOX вращение плоскости на сфере Блоха с поворотом на угол  $\theta$  в XOY. Основная идея всех этих расширенных схем состоит в том, чтобы подготовить изображение в состояние квантовой суперпозиции с точки зрения информации о пространственном распределении пикселей, которая отличается от FRQI.

**Преобразование цвета.** Преобразование цвета относится к изменению значения пикселя изображения, например обработка полутонов изображений [6]. Если такие изменения могут быть восстановлены, то водяной знак изображения, случайный цвет блоки, шифрование / дешифрование

изображений и т. д., можно рассматривать как эту категорию. С точки зрения действующего объема трансформации цвета, его также можно разделить на глобальную операцию и локальную операцию. Используя аналогичный анализ выше, можно увидеть, что глобальное преобразование цвета достигает экспоненциального ускорения по сравнению с классическим аналогом и локальное управление быстрее, чем его классический аналог. Поскольку квантовое преобразование Фурье [7] обратимо и экспоненциально быстрее, чем классическое преобразование Фурье, оно широко используется в водяных знаках [8] изображений и шифровании / дешифровании изображений.

**Вычисление негатива квантового изображения.** Является основной операцией обработки изображений, которая удобна при попытке улучшить белые или серые детали, встроенные в темные области изображения, особенно в случае, когда на изображении много доминирующих черных областей. Это может быть достигнуто с помощью следующего преобразования  $s = T(r) = L - 1 - r$ , где  $r$  и  $s$  – значения пикселей до и после обработки. Квантовая схема [9], которая выполняет эту операцию, может быть построена с использованием NOT-гейта, как показано на рис. 1.

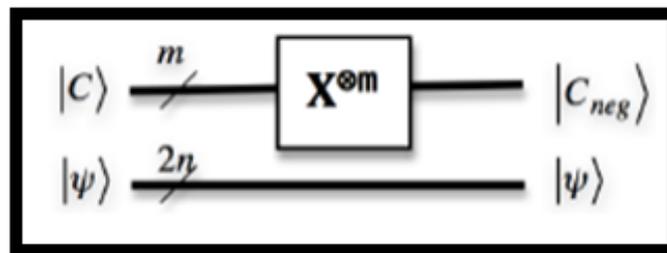


Рис. 1. – Квантовая схема, реализующая изображение негатива

Квантовый аналог классического NOT гейта помечен как  $X$  и может быть определен как  $X|0\rangle = |1\rangle$  и  $X|1\rangle = |0\rangle$ . Квантовый NOT-гейт действует как его классический аналог, хотя, в отличие от классического случая, его

действие линейно: состояние  $[10] \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  преобразуется в соответствующее состояние  $\beta|0\rangle + \alpha|1\rangle$ .

По сравнению с классической обработкой изображений, квантовая обработка далеко не достаточна как по глубине, так и по ширине. «Квантовое преимущество», заявленное в некоторых опубликованных статьях, также было подвергнуто сомнению многими учеными; ядро этих сомнений заключается в том, «как получить квантовое изображение, работая результативно и точно». Эти исследования пытаются получить результаты операции квантового изображения путем восстановления классических изображений с помощью измерений, не имеющих практического значения.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-07-01082.**

### Литература

1. Душкин Р.В. Квантовые вычисления и функциональное программирование. Москва, 2014. 33 с.
2. Магомадов В.С. Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5424.
3. Как, S. On Quantum Neural Computing // Inf. Sci. – 1995. – Vol. 83. – P. 143 – 160.
4. Gilles Brassard, Peter Høyer, Michele Mosca, Alain Tapp "Quantum Amplitude Amplification and Estimation". arXiv:quant-ph/0005055.
5. Бабаш А.В., Шанкин Г.П. Криптография. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 512 с.
6. Кац В.Г., Чен П. Квантовый анализ / Перевод с англ. Попеленского Ф.Ю. и Тотровой Ж.Г. М.: МЦНМО, 2005. 128 с.
7. Marshall, A. Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. Mass Spectrom Rev 17, 1 – 35.

8. Филатов В.А., Козырь О.Ф. Модель поведения автономного сценария в задачах управления распределенными информационными ресурсами. Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771).

9. Шарый С.П. Курс вычислительных методов. Учеб. пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2014, 279 с.

10. Werner, R. F. Quantum states with Einstein – Podolsky – Rosen correlations admitting a hidden-variable model // Phys. Rev. A. – 1989. – Vol. 40. – P. 4277.

### References

1. Dushkin R.V. Kvantovyye vychisleniya i funktsional'noye programmirovaniye. [Quantum computing and functional programming]. Moskva, 2014, 33 p.

2. Magomadov V.S. Inzhenernyy vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5424](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5424).

3. Kak, S. Inf. Sci., 1995. Vol. 83. pp. 143-160.

4. Gilles Brassard; Peter Høyer; Michele Mosca; Alain Tapp (2000-05-15). arXiv:quant-ph/0005055.

5. Babash A.V., Shankin G.P. Kriptografiya [Cryptography]. M.: SOLON-R, 2002. 512 p.

6. Kats V.G., Chen P. Kvantovyy analiz [Quantum analysis]. Perevod s angl. Popelenskogo F.Yu. i Totrovoy Zh. G. M.: MTsNMO, 2005. 128 p.

7. Marshall, A. Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. Mass Spectrom Rev 17, 1-35.

8. Filatov V.A., Kozyr O.F. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771).

9. Sharyj S.P. Kurs vychislitel'nyh metodov. Ucheb. Posobie [The course of computing methods. Tutorial]. Novosibirsk: Novosib. gos. un-t., 2014, 279 p.

---



10. Werner, R. F. Phys. Rev. A., 1989. №40. pp. 4277.