

Реализация квантового алгоритма обнаружения границ объектов и краев изображения

С.М. Гушанский, В.С. Потапов

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: Данная статья посвящена решению задачи исследования и разработки методов функционирования квантовых алгоритмов и моделей квантовых вычислительных устройств. Квантовый алгоритм, реализованный в работе, позволяет произвести преобразование классического изображения в квантовое состояние, выделения границ и преобразование полутонового изображения в бинарное, показывает возможности квантовой теории информации в интерпретации классических задач. Целью работы является компьютерное моделирование квантового алгоритма для решения задачи преобразования классического изображения с использованием квантовых вычислительных средств и методов, изучение существующих алгоритмов распознавания образов и создание эффективной модели распознавания с помощью свойств и методов квантовых вычислений. Актуальность данных исследований заключается в математическом и программном моделировании и реализации квантового алгоритма для решения классов задач классического характера. Научная новизна данного направления в первую очередь выражается в постоянном обновлении и дополнении поля квантовых исследований по ряду направлений, а компьютерная симуляция квантовых физических явлений и особенностей слабо освещена в мире.

Ключевые слова: квантовый алгоритм, квантовый бит, модель квантового вычислителя, квантовая схема, запутанность, квантовая схема, регистр, квантовое распознавание, гейт, параллелизм, интерференция, квантовый компьютер.

Введение

Типичной задачей обработки изображений является распознавание границ (изменений интенсивности) между двумя соседними областями на изображении. Эта задача важна не только для цифровой обработки изображений, но также используется мозгом: было показано, что мозг обрабатывает визуальную информацию, реагируя на линии и ребра разными нейронами, что является важным шагом во многих задачах распознавания образов. Классически методы обнаружения краев полагаются на вычисление градиентов изображения различными типами фильтровальных масок. Следовательно, все классические алгоритмы требуют вычислительной сложности не менее $O(2^n)$, потому что каждый пиксель нужно обработать.

Квантовый алгоритм обнаружения границ объектов и краев изображения

Квантовый алгоритм предложен, чтобы обеспечить экспоненциальное ускорение по сравнению с существующими алгоритмами выделения ребер. Однако этот алгоритм включает операцию копирования и квантовый черный ящик [1] для расчета градиентов всех пикселей одновременно. Преобразование Адамара [2] на последнем кубите [3] меняет их на новые коэффициенты $c_{b_1 \dots b_{n-1} 0} \pm c_{b_1 \dots b_{n-1} 1}$. Для n -кубитного входного состояния [4]

изображения $|f\rangle = \sum_{k=0}^{N-1} c_k |k\rangle$, имеет выходное состояние изображения $|g\rangle = (I_{2^{n-1}} \otimes H)|f\rangle$ как

$$I_{2^{n-1}} \otimes H : \begin{bmatrix} c_0 \\ \dots \\ c_{N-2} \\ c_{N-1} \end{bmatrix} \mapsto \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_0 + c_1 \\ \dots \\ c_{N-2} + c_{N-1} \\ c_{N-2} - c_{N-1} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Здесь нас интересует разность $c_{b_1 \dots b_{n-1} 0} - c_{b_1 \dots b_{n-1} 1}$: если два пикселя принадлежат одной области, их интенсивности значений идентичны и разница исчезает, в противном случае их разница не равна нулю, что указывает на границы области. Информация о краях в четной позиции может быть извлечена путем измерения последнего кубита. При условии, что результат измерения последнего кубита равен 1, состояние первых $n - 1$ кубитов кодирует границы. Следовательно, эта процедура дает горизонтальные границы между пикселями в позициях 0/1, 2/3 и т. д. Чтобы получить также границы между оставшимися парами 1/2, 3/4 и т. д., применяем n -кубитную амплитуду [5] перестановки в состояние входного изображения, дающего новое состояние изображения $|f'\rangle$ с его нечетными (четными) элементами, равными четным (нечетным) элементам входной

единицы $|f\rangle$. Квантовая перестановка амплитуды может эффективно выполняться за $O(\text{poly}(n))$. Применяв однокубитное вращение Адамара к этому новому состоянию изображения $|f'\rangle$, получаем оставшуюся половину разностей. После применения гейта Адамара к последнему кубиту нового состояния изображения, получим состояние $(c_0 + c_1, c_0 - c_1, c_1 + c_2, c_1 - c_2, c_2 + c_3, c_2 - c_3, c_3 + c_0, c_3 - c_0)$. Измеряя последний кубит, получаем приведенное состояние $(c_0 - c_1, c_1 - c_2, c_2 - c_3, c_3 - c_0)$, содержащее полную информацию о границах. С кодировкой изображений по разным ориентациям, обнаруживаются соответствующие границы, например, сканирование строки (столбца) по вертикали (горизонтально). Этот алгоритм квантового обнаружения края Адамара генерирует квантовое состояние, кодирующее информацию о границе.

Определение границ объектов и краев изображения

Рассмотрим ряд пикселей $a = [0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0]$ и разность ближайших соседних пикселей $\Delta a = [a_1 - a_0, a_2 - a_1, \dots, a_n - a_{n-1}, a_0 - a_n]$, $\Delta a = [0, 0, 1, 0, 0, -1, 0, 0, 0]$. Δa принимают ненулевые значения там, где есть изменения (края) в исходном изображении a (рис. 1). Вентиль Адамара оказывает следующее влияние на нулевое и единичное базисные состояния кубита $H|0\rangle \rightarrow (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$, $H|1\rangle \rightarrow (|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$.

Рассмотрим двухпиксельное изображение, представленное с помощью одного кубита $|i\rangle = a_0|0\rangle + a_1|1\rangle$, где a_0 пропорционально значению пикселя 0, a_1 пропорционально значению пикселя 1. Теперь a также сообщает нам вероятность [6] нахождения кубита в состоянии $|0\rangle$ или $|1\rangle$, когда его измеряем. Найдем кубит в состоянии $|0\rangle$ с вероятностью a_0^2 , либо в состоянии $|1\rangle$ с вероятностью a_1^2 .

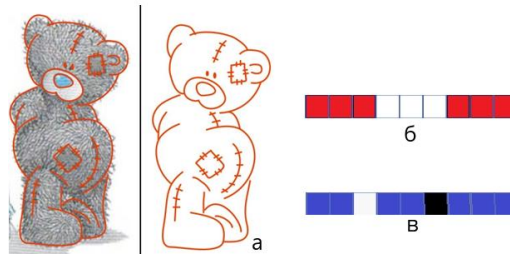


Рис. 1. – (а) Численное моделирование алгоритма (слева). Ввод – изображение 256×256 (справа). Выходное изображение, кодирующее информацию о краях; (б) Строка пикселей используемого изображения а; (в) Строка пикселей используемого изображения Δa

Когда применяем квантовые вентили Адамара к состоянию изображения, оно преобразуется в новое состояние $H|i\rangle = Ha_0|0\rangle + Ha_1|1\rangle$. Теперь, если измерим кубит, вероятность нахождения его в состоянии $|0\rangle$ равна $P(0) = (a_0 + a_1)^2 / 2$, а вероятность найти его в состоянии $|1\rangle$ равна $P(0) = (a_0 - a_1)^2 / 2$. Изображение (рис. 2) начинается как матрица [7] значений в определенных положениях пикселей. Если два пикселя имеют одинаковое значение, тогда $a_0 - a_1 = 0$, поэтому $P(1) = 0$.

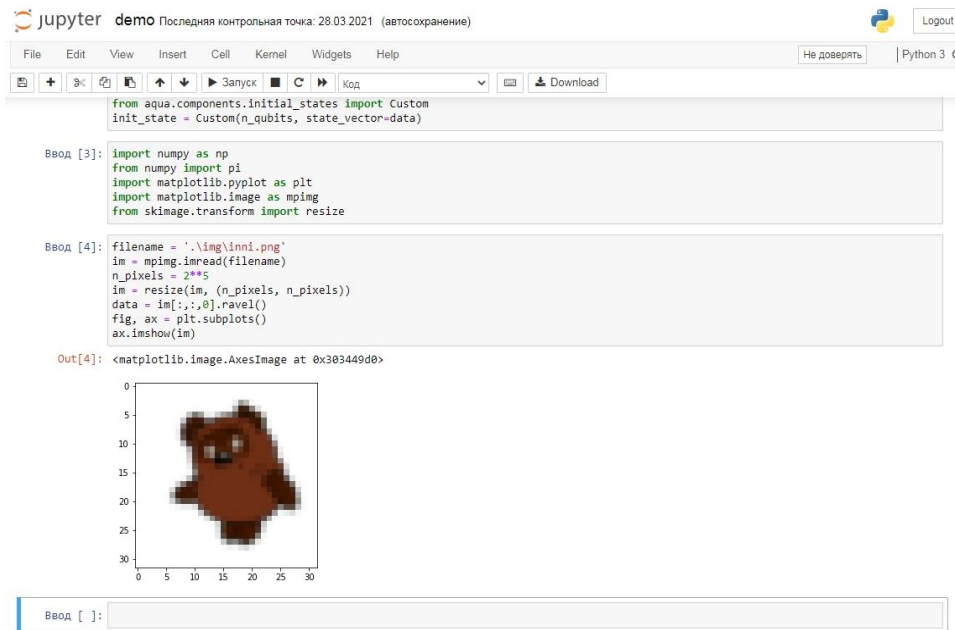


Рис. 2. – Получение первого цветового канала изображения и растягивание его для формирования вектора-столбца

Если два пикселя имеют разные значения, то $P(1) > 0$. Это ключ к разгадке того, что квантовые вентили Адамара можно использовать для обозначения краев изображения. Распутаем матрицу, чтобы сформировать векторы. Затем перепишем позиции пикселей с десятичных на двоичные. Стремление повысить вычислительную мощность [8] компьютеров и обеспечить непревзойденные масштабы решаемых задач является одним из определяющих факторов развития суперкомпьютерных технологий. Основными преимуществами использования вычислений квантового характера в области определения объектов и изображений: ускорение вычислительного процесса [9] с помощью квантовых компонентов, устойчивость при различном ракурсе объекта, его движении / статике, обеспечение криптографической помехоустойчивости [10].

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

Литература

1. Kleppner D., Kolenkow R. An Introduction to Mechanics (Second ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 49 p.
 2. Kak, S. On Quantum Neural Computing // Inf. Sci. – 1995. – Vol. 83. – pp. 143 – 160.
 3. Bernstein, E., Vazirani U. Quantum complexity theory. In Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing, pp. 11 – 20, 1993.
 4. Barenco, A., Bennett C. H., Cleve R. et al. Elementary gates for quantum computation // Phys. Rev. A. 1995 – Nov Vol. 52, №5. – pp. 3457 – 3467.
 5. Room-Temperature Quantum Bit Memory Exceeding One Second. P.C. Maurer, M.D. Lukin. Science 336,1283. – 2012.
 6. Rieffel E., Polak W. An introduction to quantum computing nonphysicists // ACM Computing Surveys. – 2000. Vol. 32, №3. – pp. 300 – 335.
-



7. Kim, Y. H., Kulik S. P., Shih Y. Quantum Teleportation with a Complete Bell State Measurement. J. Mod. Opt, 49, issue 1, 221 – 236, 2001.
8. Магомадов В.С. Квантовые вычисления, квантовая теория и искусственный интеллект // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5424.
9. Gilles Brassard, Peter Høyer, Michele Mosca, Alain Tapp "Quantum Amplitude Amplification and Estimation". arXiv:quant-ph/0005055.
10. 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.

References

1. Kleppner D., Kolenkow R. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 49 p.
 2. Kak, S. Inf. Sci. 1995. Vol. 83. pp. 143 – 160.
 3. Bernstein, E., Vazirani U. Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing, pp. 11 – 20, 1993.
 4. Barenco, A. Phys. Rev. A. 1995. Vol. 52, №5. pp. 3457 – 3467.
 5. P.C. Maurer, M.D. Lukin. Science Vol. 336, 1283. 2012.
 6. Rieffel E., Polak W. ACM Computing Surveys. 2000. Vol. 32, №3. pp. 300 – 335.
 7. Kim, Y. H., Kulik S. P., Shih Y. J. Mod. Opt, 49, №1, 221 – 236, 2001.
 8. Magomadov V.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5424.
 9. Gilles Brassard; Peter Høyer; Michele Mosca; Alain Tapp (2000-05-15). ArXiv: quant-ph/0005055.
 10. Filatov V.A., Kozyr O.F. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771.
-