

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СЖАТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Статья посвящена разработке и исследованию квантовой нейронной сети для задач сжатия и восстановления изображений. В современных условиях постоянно возрастающего объема визуальной информации эффективные методы сжатия и восстановления изображений играют ключевую роль. В данной работе предлагается инновационный подход, основанный на использовании квантовых вычислений и нейронных сетей, что позволяет значительно повысить эффективность процессов сжатия и восстановления изображений. В статье рассматриваются основные принципы и методы построения квантовых нейронных сетей, а также их применение в задачах обработки изображений. Проведен сравнительный анализ традиционных методов сжатия изображений и предложенного квантового подхода, что позволяет выявить преимущества и недостатки каждого метода. Для реализации квантовой нейронной сети используются современные квантовые алгоритмы и библиотеки, такие как Qiskit и PennyLane. Результаты экспериментов демонстрируют, что квантовая нейронная сеть способна обеспечить более высокую степень сжатия изображений без значительной потери качества по сравнению с классическими методами. Также предложенная модель показала высокую точность восстановления изображений, что подтверждает перспективность использования квантовых нейронных сетей в данной области.

Квантовая нейросеть; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushansky Sergey Mikhailovich, Potapov Viktor Sergeevich

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF QUANTUM NEURAL NETWORK FOR IMAGE COMPRESSION AND RECONSTRUCTION

The article is devoted to the development and research of a quantum neural network for problems of image compression and restoration. In modern conditions of the ever-increasing volume of visual information, effective methods of image compression and restoration play a key role. This work proposes an innovative approach based on the use of quantum computing and neural networks, which can significantly increase

the efficiency of image compression and restoration processes. The article discusses the basic principles and methods of constructing quantum neural networks, as well as their application in image processing problems. A comparative analysis of traditional image compression methods and the proposed quantum approach has been carried out, which makes it possible to identify the advantages and disadvantages of each method. Modern quantum algorithms and libraries, such as Qiskit and PennyLane, were used to implement a quantum neural network. Experimental results demonstrate that a quantum neural network is capable of achieving a higher degree of image compression without significant loss of quality compared to classical methods. Also, the proposed model showed high accuracy of image restoration, which confirms the promise of using quantum neural networks in this area.

Quantum neural network; quantum algorithm; qubit; quantum computer model; quantum entanglement; superposition; quantum parallelism.

Введение

Квантовая сеть – это новый тип сетевой структуры, которая использует принципы квантовой механики для передачи и обработки информации. По сравнению с классическими алгоритмами реконструкции данных квантовые сети делают реконструкцию изображений более эффективной и точной. Они также могут обрабатывать более сложную информацию изображения, используя меньшее количество битов и более быстрые параллельные вычисления. Поэтому в этой статье будут обсуждаться методы реконструкции изображений на основе нашей квантовой сети и исследоваться их потенциальное применение при обработке изображений. Представим базовую структуру квантовой сети, процесс сжатия и реконструкции изображений, а также конкретный метод обучения параметров. Алгоритм сжатия и восстановления изображений на основе квантовой сети разработан путем объединения классического алгоритма сжатия и восстановления изображений [1] с квантовым алгоритмом [2]. Во-первых, классическая информация об изображении кодируется в квантовые состояния (квантовая информация) [3]. Затем подготовленные квантовые состояния вводятся в сеть квантового сжатия и реконструкции, что достигается с помощью оптических схем [4]. В процессе измерения выходное состояние сети квантового сжатия и выходное состояние сети квантовой реконструкции соответственно. Затем измерения преобразуются в сжатое изображение и реконструированное изображение, которые используются для обучения параметров квантовой сети на основе алгоритма градиентного спуска. Наконец, этот квантовый

алгоритм эффективно реализует моделирование сжатия и реконструкции изображений в оттенках серого. Обсуждается применение и тенденции развития этого алгоритма в цифровой обработке изображений [5]. Объединение обработки изображений и квантовых вычислений способствовало развитию технологий цифровой обработки изображений.

1. Кодирование изображений в квантовые состояния

Для изображений или общих классических данных матрица данных может быть преобразована в N-мерный вектор-строку X. Согласно

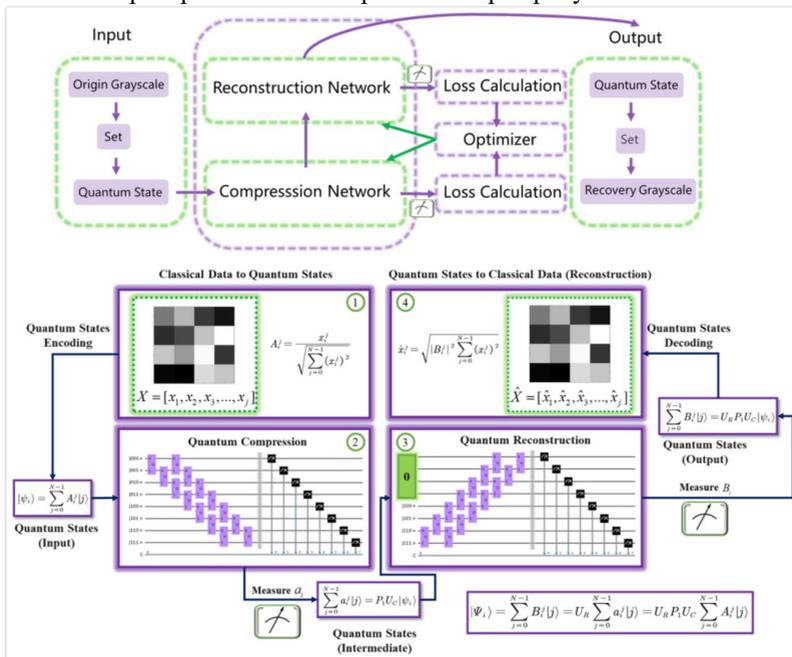


Рис. 1. Сжатие и реконструкция изображений на основе квантовой сети [6]

Кодирование классических данных изображения x_i в амплитуды вероятности A_j квантовых состояний ψ_i . (2) Введите подготовленные квантовые состояния ψ_i в сеть сжатия UC, чтобы получить квантовые состояния в нижнем d-мерном пространстве. В этом процессе измеряются выходные состояния в UC, градиент параметра рассчитывается на основе функции потерь, а оптимизатор возвращает оптимальные параметры в UC. (3) Введите квантовые состояния в d-мерном пространстве в сеть реконструкции UR, чтобы получить выходные состояния Ψ_i в многомерном пространстве.

Процесс обучения параметров в UR такой же, как и в UC. ④ Вероятность V_j выходных состояний в сети реконструкции преобразуется в классические данные изображения x_i для реализации реконструкции изображения.

2. Сжатие изображений на основе квантовой сети

Сжатие и реконструкция изображений на основе квантовой сети разделены на две независимые сети, которые можно представить как сеть квантового сжатия UC и сеть квантовой реконструкции UR соответственно, как показано на рис. 1. Целью сети сжатия является сжатие запутанных состояний в d -мерное гильбертово пространство с достаточно высокой точностью ориентации для достижения сжатия квантовых состояний. Цель сети реконструкции состоит в том, чтобы реконструировать квантовые состояния d -мерного гильбертова пространства в N -мерное гильбертово пространство, делая при этом точность состояний слишком близкой к 100%.

3. Реконструкция изображения на основе квантовой нейронной сети

Процесс реконструкции может быть противоположным процессу сжатия. В частности, сеть реконструкции UR может представлять собой комбинацию квантовых вентилях в сети сжатия, которые подключены в обратном порядке, поэтому параметры сети необходимо переобучить. Это связано с тем, что обратная матрица U^{-1} сети сжатия UC может использоваться непосредственно в качестве сети реконструкции UR ($UR = U^{-1}$) только тогда, когда ошибка сжатой сети мала. Когда ошибки не почти равны нулю, переобученная реконструированная сеть более применима. Ее схемная структура является гибкой, что позволяет легко создавать сложные квантовые схемы и реализовывать масштабируемость квантовых вычислений. Идеальный многопортовый оптический интерферометр без потерь используется для преобразования между N -мерными векторными пространствами, которые можно описать унитарным $N \times N$.

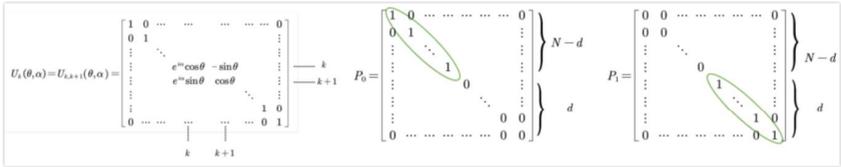


Рис. 2. Квантовые вентили: U_k , P_1 , P_0 . U_k – квантовый вентиль, P_1 и P_0 – преобразование проекции для сжатия

Комбинированный квантовый вентиль U представляет собой полное гомогенное преобразование всех кубитов, а $U(k, k+1)$ представляет собой квантовый вентиль преобразования k -го и векторные пространства. Для преобразования всех кубитов требуется интерферометр. Алгоритм градиентного спуска (GD) используется для обучения и обновления параметра θ [7] для обновления параметров. Далее предлагается стратегия градиентного спуска для квантового сжатия и восстановления параметров сети. Среди них непрерывное преобразование, состоящее из $N - 1$ квантовых вентилях, рассматривается как однослойная комбинация квантовых вентилях U , в то время как реальная сеть требует многослойного квантового вентиля. Согласно предельному определению производной, производная параметров в сети может быть определена как:

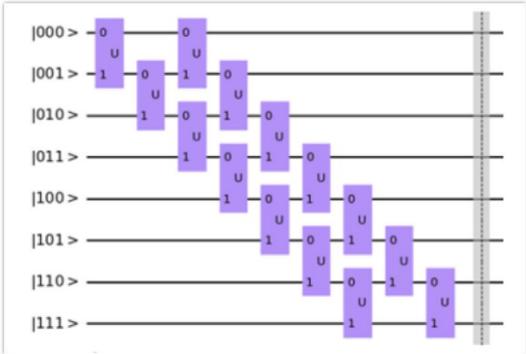


Рис. 3. Структура квантовой сети. В каждом слое этой квантовой сети квантовый вентиль $U(k, k+1)$ подключен в порядке кода Грея. Число однослойных квантовых вентилях U равно $N - 1$

Для квантовых сетей основная часть заключается в обучении параметров отражения θ всех эффективных квантовых вентилях. Конкретный

набор данных выбирается для онлайн-обучения с помощью моделирования, а фактическая физическая реализация может быть установлена в соответствующем формате.

Заключение

В данной работе строим соответствующий квантовый алгоритм, основанный на классических алгоритмах сжатия и восстановления изображений, используя квантовые состояния в качестве носителей информации изображения. Сжатие и реконструкция изображений реализуются с помощью сетей квантового сжатия и реконструкции. Затем восстановленные квантовые состояния [8] декомпилируются в классическую информацию и, наконец, реализуются сжатие и реконструкция информации классического изображения. Результаты моделирования полностью доказывают эффективность и превосходство алгоритма сжатия и реконструкции изображений на основе квантовых сетей. Реальная квантовая сеть, в которой установили $\alpha = 0$, все еще имеет определенные ограничения для квантовых задач и может решать только реальные задачи сжатия и восстановления информации. Поэтому в будущем необходимо сохранить фазовый параметр α в квантовых вентилях и построить полностью сложную квантовую сеть, которая будет больше подходить для более разнообразных квантовых задач. Аналогично, ожидаем, что, создавая сложные квантовые сети, они смогут напрямую решить проблему сжатия и восстановления известных или неизвестных квантовых состояний. В будущем классические области применения квантовых алгоритмов будут постоянно расширяться, а алгоритмы сжатия и реконструкции изображений на основе квантовых сетей получат потенциал для практического использования в области квантового зрения. Алгоритм на основе QN представляет собой расчет, который можно применить к общей квантовой визуализации на основе проектирования оптических квантовых схем. Приведем результаты реализации и моделирования, выполненные на квантовом компьютере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N. C. Jones, J. D. Whitfield, P. L. McMahon, M.-H. Yung, R. V. Meter, A. Aspuru-Guzik, and Y. Yamamoto, Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers, *New Journal of Physics* 14, 115023 (2012);
2. P. W. Shor, Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26, 1484.1509 (1997);

3. *W. Harrow, A. Hassidim, and S. Lloyd*, Quantum algorithm for linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett.* 103, 150502 (2009);
4. *P. W. Shor*, Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, *Phys. Rev. A* 52, R2493 (1995);
5. *D. Gottesman*, Stabilizer codes and quantum error correction (California Institute of Technology, 1997);
6. *Bernstein, E., Vazirani U.* Quantum complexity theory. In Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing, pages 11 – 20, 1993;
7. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафлам. – Москва; Ижевск: ПХД, 2009. – 360 с.;
8. *Guzik V.* Architecture and Software Implementation of a Quantum Computer Model / V. Guzik, S. Gushanskiy, M. Polenov, V. Potapov // 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOS), Czech Republic, 2016. – P. 59 – 68;

Гушанский Сергей Михайлович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н., доцент.

Потапов Виктор Сергеевич – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; старший преподаватель.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Viktor Sergeevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; assistant.