

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПУТАННОСТИ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ПОВТОРИТЕЛЕЙ

Лосин А. Л.

Научный руководитель – канд. физико-математических наук, Киселев Ф.Д.

Университет ИТМО
arthurlosin1@gmail.com

Введение

Основная проблема практической реализации квантовых коммуникаций – это затухание сигнала в оптическом волокне. Из-за декогеренции и «теоремы о запрете клонирования» просто усилить квантовый сигнал невозможно. Это сильно ограничивает расстояние, на которое возможна прямая передача кубитов.

Классически, увеличить расстояние можно, если использовать повторители, работающие по принципу «измерение-передача». Такой повторитель принимает квантовое состояние, декодирует, то есть измеряет его, а затем отправляет дальше, кодируя новый фотон. Этот подход позволяет бороться с затуханием, но при этом нарушает фундаментальный принцип квантовой криптографии, поскольку Еве ничто не мешает незаметно перехватить информацию на узле квантового повторителя, что делает бессмысленной квантовую передачу.

Для того чтобы решить данную проблему, была придумана альтернатива: квантовые повторители, основанные на генерации запутанности. Вместо передачи самого состояния, они создают запутанные пары между соседними узлами, а затем выполняют обмен запутанности. Этот способ позволяет распространить квантовую запутанность на большие расстояния, не перемещая при этом физические носители. Тем самым, передающаяся по каналу информация, остается защищенной [1–3].

Основная часть

Цель данной работы – подобрать параметры для наибольшей эффективности квантовых повторителей в сети. Для этого было написано приложение, моделирующее различные конфигурации квантовых повторителей, и позволяющее исследовать эффективность сетей распределения запутанности. Приложение получает на вход топологию сети: число звеньев (2, 4 или 8) и три варианта звеньев: однофотонная генерация [4], генерация фотонных пар [5], а также четный и нечетный «кот Шредингера» [1, 6–8]. Помимо этого, учитываются следующие параметры: коэффициент пропускания волокна, эффективность детектора и квантовой памяти, доля состояния, отправленного в канал, вероятность генерации состояний и амплитуда когерентного состояния. На основе вышеупомянутых данных приложение рассчитывает выходные свойства сети: время ожидания, скорость генерации запутанности, дальность передачи и фиделити получаемого состояния [1, 4].

Выводы

С помощью приложения и методов градиентного спуска были определены оптимальные параметры и конфигурации квантовой сети, которые позволят повысить скорость генерации запутанности (уменьшить время ожидания) и увеличить дальность отправки ключа.

Литература

1. Goncharov, R. Performance of quantum repeaters using multimode Schrodinger cat states / R. Goncharov, A. Kiselev, V. Egorov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2024. - Vol. 88. - № 6. - Pp. 901-908
2. N. Gisin, and R. Thew, Nat. Photonics 1(3), (2007). <https://doi.org/10.1038/nphoton.2007.22>
3. M. Krenn, M. Malik, T. Scheidl, R. Ursin, and A. Zeilinger, in Opt. Our Time (Springer International Publishing, Cham, 2016). https://doi.org/10.1007/978-3-319-31903-2_18
4. Simon, C. (2007). Long-distance entanglement distribution with single-photon sources. Physical Review A. <https://doi.org/10.1103/PHYSREVA.76.050301>
5. C. Simon, H. de Riedmatten, M. Afzelius, N. Sangouard, H. Zbinden, and N. Gisin, Phys. Rev. Lett. 98(19), 190503 (2007). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.98.190503>
6. K. Azuma, S. Bäuml, T. Coopmans, D. Elkouss, and B. Li, AVS Quantum Sci. 3(1), 14101 (2021). <https://doi.org/10.1116/5.0024062>
7. N. Sangouard, C. Simon, H. de Riedmatten, and N. Gisin, Rev. Mod. Phys. 83(1), (2011). <https://doi.org/10.1103/revmodphys.83.33>
8. R. Goncharov, A.D. Kiselev, E.S. Moiseev, E. Samsonov, S.A. Moiseev, F. Kiselev, and V. Egorov, Phys. Rev. Appl. 20(4), 44030 (2023). <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.20.044030>