

## Протоколы сетевого распределения квантовой запутанности.

Важнейшими функциями квантовой сети являются генерация квантовой запутанности на больших расстояниях [1, 2, 3], распределенные квантовые вычисления [4], улучшенное зондирование [5, 6], слепые квантовые вычисления (квантовые вычисления по зашифрованным данным) [7] и безопасные частные аукционные торги [8]. Недавние эксперименты продемонстрировали дальнедействующую запутанность, установленную между массивами квантовой памяти разделенными несколькими километрами с двухточечной оптической связью [9]. Измерения выполненные на узлах в квантовой сети могут использоваться для склеивания маленьких запутанностей в кластеры на большие расстояния. Узлы содержат квантовую память, сохраняющую кубиты в течение времени когерентности. А также генераторы фотонов запутывающие квантовую память соседних узлов и локальные квантовые процессоры. Попытки запутывания соседних узлов глобально синхронизируются. Протокол квантовой маршрутизации диктует, что должно выполняться локально на каждом узле для получения желаемой топологии перепутывания. Возможной целью протокола маршрутизации может быть обеспечение высокой скорости запутывания между несколькими парами пользователей одновременно или генерация множественного запутывания, т.е. между тремя и более сторонами. Разработка сетевых алгоритмов и протоколов для потоков информации о маршрутизации и планировании важна для создания современного Интернета. Считается, что аналогичная разработка алгоритмов и протоколов критически важна для разработки универсальной и высокопроизводительной системы квантовой сети. Перенос некоторых результатов из классических сетей на квантовые сети в работе. В отличие от классической ситуации, когда скорость может быть увеличена за счет увеличения мощности передачи, потери фотонов в основном ограничивают скорость перехвата по любому единственному звену, что приводит к экспоненциальному убыванию с длиной оптического волокна независимо от выбора квантового источника или мощности обнаружения [10, 11]. В то время как копирование битов в сетевом узле является обычным при многоуровневом многопутевом маршрутизировании в классических сетях [12, 13], копирование кубита невозможно из-за отсутствия квантового клонирования, см. теорему [14, 15]. В отличие от классического информационного потока поток перепутывания не имеет направления. Запутывание, скорее, создается через собранные вместе, работающие по всей сети ссылки, чтобы сформировать долгосрочные запутывания. Квантовая память намного короче во времени и дороже классической. Что усложняет использование классических помехоустойчивых стратегий маршрутизации, таких как хранение пакета на узле до появления подходящей связи для следующего прыжка [16-19]. Наконец, передвижение и формирование запутывания между нужным набором узлов из многих копий больших (потенциально случайных) запутанных кластеров является чисто квантовой проблемой, которая не имеет классического аналога.

[1] H. J. Kimble, *Nature* 453, 1023 (2008).

[2] A. K. Ekert, *Physical Review Letters* 67, 661 (1991).

[3] C. H. Bennett and G. Brassard, *Theoretical Computer Science* 560, 7 (2014).

[4] J. Cirac, A. Ekert, S. Huelga, and C. Macchiavello, *Physical Review A* (1999).

[5] D. Gottesman, T. Jennewein, and S. Croke, *Physical Review Letters* 109, 070503 (2012).

[6] P. K'om'ar, E. M. Kessler, M. Bishof, L. Jiang, A. S. Sørensen, J. Ye, and M. D. Lukin, *Nature Physics* 10, 582 (2014), arXiv:arXiv:1310.6045v1.

[7] A. Broadbent, J. Fitzsimons, and E. Kashefi, in 2009 50th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (IEEE, 2009) pp. 517–526.

[8] S. Guha, T. Hogg, D. Fattal, T. Spiller, and R. G. Beausoleil, *International Journal of Quantum Information* 06, 815 (2008), arXiv:arXiv:0707.2051v1.

[9] B. Hensen, H. Bernien, A. E. Dr'eau, A. Reiserer, N. Kalb, M. S. Blok, J. Ruitenberg, R. F. L. Vermeulen, R. N. Schouten, C. Abell'an, W. Amaya, V. Pruneri, M. W. Mitchell, M. Markham, D. J. Twitchen, D. Elkouss, S. Wehner, T. H. Taminiau, and R. Hanson, *Nature* 526, 682 (2015), arXiv:1508.05949.

[10] M. Takeoka, S. Guha, and M. M. Wilde, *Nature communications* 5, 5235 (2014).

- [11] S. Pirandola, R. Laurenza, C. Ottaviani, and L. Banchi, *Nature Communications* 8, 15043 (2017), arXiv:1510.08863.
- [12] A. Vahdat and D. Becker, Technical report number CS200006, Duke University , 1 (2000), arXiv:1001.3405.
- [13] S. Biswas and R. Morris, *Sigcomm* (2005), 10.1145/1090191.1080108.
- [14] W. K. Wootters and W. H. Zurek, *Nature* 299, 802(1982).
- [15] D. Dieks, *Physics Letters A* 92, 271 (1982).
- [16] S. Jain, K. Fall, and R. Patra, in *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications - SIGCOMM '04* , Vol. 34 (ACM Press, New York, New York, USA, 2004) p. 145.
- [17] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, *Proceedings - IEEE INFOCOM 00* (2006), 10.1109/IN-FOCOM.2006.228.
- [18] M. Pant, H. Krovi, D. Towsley, L. Tassiulas, L. Jiang, P. Basu, D. Englund, and S. Guha, arXiv:1708.07142.
- [19] А.М. Балонишников, Р.О. Старобогатов, [econf.rae.ru/article/11082](http://econf.rae.ru/article/11082).