

УДК 530.145

Д. Є. Котлов, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КВАНТОВІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. У роботі розглядається концепція технології передачі інформації за допомогою таких відомих принципів квантової механіки, як квантова телепортація та квантова запутаність. Наводиться стислий опис фізичних основ їх роботи та аналіз методів реалізації. Розглядаються можливості імплементації таких систем в повсякденне життя та перспективи їх подальшого розвитку.

Ключові слова: кубіт, суперпозиція, квантова запутаність, квантова телепортація, передача інформації.

ВСТУП

В наш час серйозним обмеженням систем передачі сигналів є значна відстань між приймачем та випромінювачем сигналу, що особливо спостерігається у космічних системах та мережевих з'єднаннях між клієнтами, що знаходяться на різних континентах. З ціллю подолання значних розбіжностей в майбутньому може бути використана система квантової телепортації, що дозволить переносити інформацію на великі відстані майже миттєво.

МЕТА РОБОТИ

Мета даної роботи – розглянути реалізації квантового телепортера, математичний та фізичний апарат даної концепції та оцінити можливості такої системи для майбутнього застосування.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перед конструюванням системи телепортації важливим етапом підготовки є вибір «ресурсу», що буде застосовуватися в якості носія інформації – так званого кубіту. Розглянемо для початку характеристики таких носіїв, за якими і проводиться вибір.

Суперпозиція – здатність частинки знаходитися одночасно у двох квантових станах. При цьому внаслідок так званого колапсу квантової функції під час вимірювання квантовий стан приймає деяке квантоване значення (наприклад 0 або 1) залежно від вірогідності кожної з можливих конфігурацій (рис. 1).

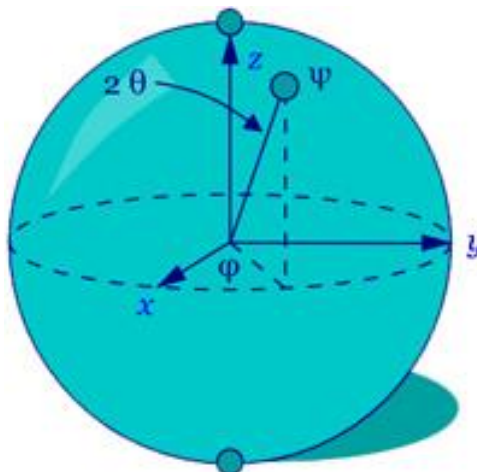


Рисунок 1. Репрезентація стану кубіта на сфері Блоха [1]

У випадку конфігурації з 2-х станів система приймає значення:

$$C_0|0\rangle + C_1|1\rangle, \quad (1)$$

де C_0, C_1 – комплексні коефіцієнти, які характеризують вірогідність кожного стану; $|\varphi\rangle$ – нотація ‘ket’, що часто використовується, як альтернатива класичному позначенню вектора для репрезентації стану кубіту при квантових розрахунках [2].

Як і очікувалось, сума ймовірностей (1) завжди повинна бути рівна 1 незалежно від кількості станів системи:

$$|C_0|^2 + |C_1|^2 = 1 \quad (2)$$

Графічно стан кубіту часто презентують у вигляді сфери Блоха (рис. 1), де:

$$C_0 = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad C_1 = e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

Необхідно перевірити акуратність репрезентації. Розглянемо, чи виконується рівність (2):

$$\left|\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 + \left|e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 \quad (4)$$

де $e^{i\varphi}$ – вектор одиничної довжини на комплексній площині.

Довжина вектору $e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$ буде дорівнювати довжині вектору $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$, з чого випливає, що:

$$\left|\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 + \left|e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 = \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1 \quad (5)$$

Найважливішою в нашому випадку особливістю квантової системи є квантова заплутаність – явище квантової системи, при якому стани 2-х або більше квантів є взаємопов’язаними незалежно від відстані між ними.

Серед варіантів вибору – 3 найбільш розповсюджені види систем за використанням носієм (надалі - кубітом) [3]:

Надпровідникове коло

Принцип роботи такої системи наступний: електричний струм рухається по замкнутому колу, в якому відсутні резистори, в той час, як мікрохвилі переводять електрони у стан суперпозиції.

- Переваги: базуються на вже існуючих технологіях і вирізняються найбільшою швидкістю серед усіх квантових технологій.
- Недоліки: електрони дуже легко виводяться з стану суперпозиції навіть при невеликих збуреннях, тому електрична схема утримується в температурах, що не перевищують 100 мК.

Схоплені іони

Принцип роботи системи, що використовує такий тип носіїв інформації, коротко можна описати так: на іони діють одночасно лазери охолодження та лазери, що проводять операції над їх станами (переводять у стан суперпозиції, змінюють спін або ж заплутують).

- Переваги: основною перевагою такої системи є дуже висока стабільність стану суперпозиції.

- Недоліки: невелика швидкість, порівняно з іншими системами; потреба в великій кількості лазерів для збереження стійкості суперпозиції.

Алмазні вакансії

Принцип роботи такої системи наступний: алмазна решітка поєднується з атомом нітрогену та вакансією (дефектом, що являє собою відсутність 1-го атому в кристалевій решітці атому), стан суперпозиції при цьому контролюється світлом.

- Переваги: на відміну від інших систем може оперуватися при кімнатних температурах, значною перевагою є досить велика стабільність стану суперпозиції (але все ще набагато менша ніж у системі з іонами).
- Недоліки: головним недоліком такої системи є складність процесу заплутування.

В реальних телепортаторах та інших квантових технологіях найчастіше використовується система з надпровідниковим колом через простоту та швидкість. В експериментальних, в свою чергу, часто використовують системи з фотонами в якості кубітів.

Будова системи квантової мережі має багато збіжностей з будовою класичних мереж, тому чимало вже існуючих технологій можуть бути використані при переході на квантові засоби передачі інформації. Найпростіша модель такої реалізації складається з:

1. кінцевих точок, що являють собою квантові процесори або будь-які елементи, які проводять операції утворення або детектування кубітів;
2. комунікаційних ліній, представлених у вигляді оптоволоконних з'єднань, що забезпечують передачу на великі дистанції або через «вільний простір», що забезпечує швидшу передачу інформації, але підвищує похибку вимірювань на великих відстанях;
3. квантових ретрансляторів, які за необхідності передати інформацію на дуже велику відстань, використовують квантову телепортацію (рис. 2) та підтримують стан заплутаності кубітів.

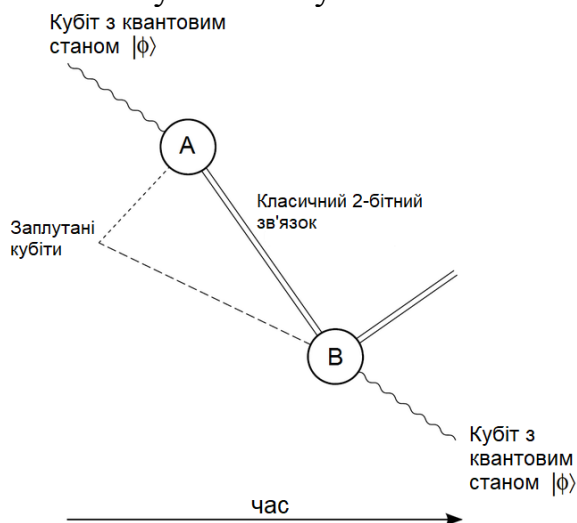


Рисунок 2. Діаграма роботи квантової телепортації [4]

Головна мета таких мереж – криптографічна безпека, але насправді така структура може:

1. Повністю замінити мережу Інтернет, обмеживши швидкість з'єднання між двома будь-якими точками на планеті до одиниць мілісекунд.
2. Дозволити створювати космічні ретранслятори, що з'єднують космічні телескопи, штучні супутники та космічні станції, значно покращивши якість зображень, що отримується при аналізі космічного об'єкту.
3. Дати простір для дослідів в сторону мінімізації та бездротовості приладів контролю, відправляючи данні спостереження одразу на обчислювальну машину без використання зовнішнього живлення та кабелів для передачі даних.
4. Об'єднувати системи штучного інтелекту (ШІ) в одну, прискорюючи їх навчання, збільшуючи об'єм інформації кожного ШІ та, найголовніше, дозволяючи ШІ імітувати внутрішній автоматизований «соціум», що представляє собою фабрично виготовлену групу таких систем з закладеними інструкціями відносин між собою.

ВИСНОВКИ

Розглянута в даній роботі технологія дозволила зробити чіткий висновок про перспективність розвитку сфери квантової інформатики. Використання і доповнення в майбутньому цієї технології суттєво покращить зв'язок між віддаленими об'єктами. Серед існуючих на даний момент недоліків можна виділити недостатньо велике фінансування наукових досліджень відносно вартості таких систем, відсутність фізичного пояснення багатьох фізичних процесів галузі, що призводить до гарантованої недосконалості сучасних моделей пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] How Quantum Computers Work. — Режим доступа: <https://computer.howstuffworks.com/quantum-computer1.htm/> — 18.11.2019.
- [2] Zwiebach B. Dirac's bra and ket notation / Quantum Physics II. – 2013. – vol. 8.05. – p. 1-14.
- [3] The Future of Computing – Quantum & Qubits. — Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/future-computing-quantum-qubits/> — 19.11.2019.
- [4] Quantum network. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_network#Overview_of_the_elements_of_a_quantum_network/ — 08.10.2019.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.