

КВАНТОВІ КОМП'ЮТЕРИ: ПРИНЦИП КУБІТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто принцип функціонування квантових комп'ютерів та роль кубіта як базової одиниці квантової інформації. Проаналізовано фізичну природу кубітів, явище суперпозиції та квантової заплутаності. Детально пояснено математичні співвідношення, що описують стан кубіта та ймовірності результатів вимірювання. Дослідження виконано на основі сучасних наукових праць, присвячених квантовим обчисленням.

Ключові слова: квантовий комп'ютер, кубіт, суперпозиція, квантова заплутаність, сфера Блоха.

Abstract

The paper analyzes the principle of operation of quantum computers and the role of the qubit as the basic unit of quantum information. The physical nature of qubits, the phenomena of superposition and quantum entanglement are considered. Mathematical relations describing the qubit state and measurement probabilities are explained in detail.

Keywords: quantum computer, qubit, superposition, quantum entanglement, Bloch sphere.

Вступ

Квантові комп'ютери є новим етапом розвитку обчислювальної техніки, що базується на законах квантової механіки. У класичних комп'ютерах інформація зберігається у вигляді бітів, які можуть набувати лише двох значень: 0 або 1. У квантових комп'ютерах використовується кубіт – квантовий біт, який може перебувати одночасно у декількох станах завдяки явищу суперпозиції. Саме ця властивість дозволяє квантовим системам виконувати обчислення паралельно та потенційно значно швидше за класичні системи [1].

Актуальність дослідження квантових комп'ютерів пов'язана з можливістю розв'язання складних задач у криптографії, оптимізації, моделюванні молекулярних структур та аналізі великих даних. Сучасні дослідження показують, що квантові алгоритми можуть значно перевершувати класичні методи для певних типів задач [2].

Результати досліджень

Основою будь-якого квантового комп'ютера є кубіт – найменша одиниця квантової інформації. На відміну від класичного біта, який може бути лише у стані 0 або 1, кубіт може перебувати у суперпозиції цих станів. Це означає, що квантова система може одночасно містити інформацію про декілька можливих результатів обчислення [4].

Математично стан одного кубіта описується рівнянням

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

де $|\psi\rangle$ – квантовий стан кубіта; $|0\rangle$ та $|1\rangle$ – базисні стани системи; α і β – комплексні амплітуди ймовірності.

Амплітуди α і β визначають ймовірність того, у якому стані буде знаходитись кубіт після вимірювання. Ймовірність отримання стану $|0\rangle$ визначається квадратом модуля амплітуди α :

$$P(0) = |\alpha|^2$$

де $P(0)$ – ймовірність виміряти стан 0.

Аналогічно ймовірність отримання стану $|1\rangle$ визначається співвідношенням

$$P(1) = |\beta|^2$$

де $P(1)$ – ймовірність виміряти стан 1.

Для будь-якого коректного квантового стану повинна виконуватись умова нормування

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Це означає, що сума ймовірностей усіх можливих результатів вимірювання дорівнює одиниці. Дана умова забезпечує фізичну інтерпретацію квантового стану як повної системи ймовірностей [4].

Для зручності аналізу стан кубіта часто представляють геометрично за допомогою сфери Блоха. У цьому випадку квантовий стан можна записати у вигляді

$$|\psi\rangle = \cos(\theta/2)|0\rangle + e^{i\phi} \sin(\theta/2)|1\rangle$$

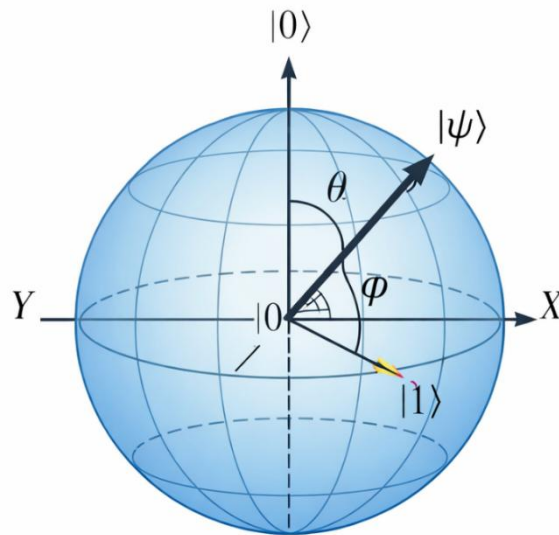


Рис. 1 – Геометричне представлення стану кубіта на сфері Блоха

де θ – полярний кут на сфері Блоха, ϕ – азимутальний кут, а множник $e^{i\phi}$ описує фазу квантового стану. Таке представлення показує, що будь-який стан одного кубіта відповідає певній точці на поверхні одиничної сфери. Сфера Блоха широко використовується для наочного пояснення квантових логічних операцій і квантових алгоритмів [5].

Ще однією фундаментальною властивістю квантових систем є квантова заплутаність. Якщо декілька кубітів перебувають у заплутаному стані, їх неможливо описати незалежно один від одного. Вимірювання одного кубіта миттєво впливає на стан іншого, навіть якщо між ними існує значна відстань. Це явище лежить в основі багатьох квантових алгоритмів і протоколів квантового зв'язку [4].

Сучасні дослідження показують, що кубіти можуть реалізовуватись різними фізичними способами: за допомогою надпровідних електричних схем, іонних пасток, фотонних систем або квантових точок. Кожна з цих технологій має власні переваги та обмеження, однак усі вони базуються на однакових принципах квантової механіки [1,3].

Висновки

У результаті проведеного дослідження було розглянуто принцип роботи квантових комп'ютерів та роль кубіта як базової одиниці квантової інформації. Показано, що кубіт може перебувати у стані суперпозиції, що забезпечує можливість паралельної обробки інформації. Детально проаналізовано математичне представлення квантового стану, пояснено формули ймовірностей вимірювання та геометричну модель сфери Блоха. Отримані результати підтверджують перспективність розвитку квантових комп'ютерів для розв'язання складних обчислювальних задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко С. М. Квантовий комп'ютер: стан проблеми у світі та в Україні.
2. Бондарчук О., Зибін С., Василюк-Зайцева С. Ефективність використання квантових комп'ютерів у розв'язанні складних завдань.
3. Ткачук А. І. Особливості розгляду квантових комп'ютерів у сучасній електроніці.
4. Nielsen M., Chuang I. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press.
5. Bernhardt C. Quantum Computing for Everyone. MIT Press.

Островська Дарина Віталіївна – студентка групи ЗКН-25б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ostrovskadasa741@gmail.com

Науковий керівник: Мартинюк Володимир Валерійович – д-р технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця.

Ostrovska Daryna Vitaliivna – Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ostrovskadasa741@gmail.com

Scientific supervisor: Martyniuk Volodymyr Valeriyovych – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.