

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШУМОЗАХИЩЕНОСТІ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ

Кінець ХХ та початок ХХІ століть ознаменувався значною активізацією досліджень і розробок у галузі квантових досліджень. Відомо, що звичайні комп'ютери виконують обчислення з використанням нулів та одиниць, а квантові комп'ютери – тільки з ймовірністю нулів та одиниць. Виграш в квантових алгоритмах досягається за рахунок того, що при застосуванні однієї квантової операції велика кількість коефіцієнтів суперпозиції квантових станів, які містять реальну інформацію, перетворюються одночасно. Саме тому вони здатні паралельно обробляти величезні обсяги даних.

Ідея квантових обчислень була висловлена Ю. І. Маніним¹ і Р. Ф. Фейнманом^{2,3}, основою якої є квантовий біт (кубіт), який може одночасно приймати певні процентні частки двох значень «0» і «1». Наприклад, 40% і 60%. При зчитуванні результату в цьому випадку кубіт з 60-відсотковою ймовірністю має значення «1». Кілька кубітів при обчисленні “закриваються” в загальному для всіх станів. Наприклад, для двох кубітів можливе будь-яке поєднання від «00» до «11», а для трьох – від «000» до «111» (N кубітів можуть одночасно представляти 2^N бінарних значень), яке також представляється лише з відомою ймовірністю. Як правило, не може бути чистого стану «10» або «100» – воно має тільки більш високу ймовірність, ніж всі інші. Щоб утримувати кубіти в певному стані необхідно захистити їх від зовнішніх впливів. Метою досліджень є порівняльний аналіз зовнішнього (шумового) впливу на бітові та кубітові сигнали. Під зовнішнім (шумовим) впливом будемо розуміти хаотичні теплові коливання, зовнішні випадкові електромагнітні і гравітаційні поля, космічні потоки нейтрино, шуми фізичного вакууму та ін., а також помилки квантових логічних операцій.

Відомо, що хвильова функція кубітів записується у вигляді кет-вектору, який є лінійною комбінацією 0 і 1 :

$$\Psi = a |0\rangle + b |1\rangle, \quad (1)$$

де a і b – комплексні числа, що задовольняють умові нормування

$$a^2 + b^2 = 1. \quad (2)$$

Стани, в яких може знаходитися кубіт (сукупність кубітів), можна наочно демонструвати за допомогою сфери Блоха. Будь-яка операція в квантових обчисленнях відповідає повороту вектору стану у просторі сфери. Виграш в квантових алгоритмах досягається за рахунок того, що при застосуванні однієї квантової операції велика кількість коефіцієнтів квантових станів перетворюється одночасно. Першими публікаціями з послідовним викладенням переваг квантових обчислень вважаються роботи Р. Ф. Фейнмана^{2,3} та Д. Е. Дойча^{4,5}.

Під впливом зовнішніх (шумових) факторів вектор стану кубіта може змінювати своє положення. А під час зчитування кубіт стрибком переходить в один із своїх базових (чистих) станів (виникає явище, яке отримало назву декогерентність), що призводить до помилок в розрахунках. З метою збільшення шумозахищеності базові стани кубітів повинні бути розташовані в просторі рівномірно. Відповідно відстань між базовими станами залежить від їх кількості (2^N). Тому при збільшенні кількості кубітів, що одночасно використовуються при розрахунках, зменшується відстань між базовими станами, а це, в свою чергу, приводить до зменшення шумозахищеності кубітових сигналів. Зменшення відстані між базовими (чистими) станами кубітів збільшує декогерентність, а відповідно і помилки в розрахунках.

Таким чином, з метою збільшення кількості інформації, що обробляється, доцільно застосовувати кубітові сигнали. Однак при збільшенні кількості кубітів, що одночасно обробляються, збільшується декогерентність кубіта (знижується шумозахищеність цифрового сигналу). Тому квантовий процесор має бути добре ізольованим від зовнішніх (шумових) впливів, що зумовлюють його декогерентцію. Для практичної реалізації шумозахищених квантових процесорів з сотнями-тисячами кубітів (N=8–10) потрібна спільна робота фізиків, математиків, схемотехніків і технологів.

Література:

- ¹ Манін Ю. И. Вычислимое и невычислимое. – М.: Советское радио, 1980. – 128 с.
- ² Feynman R. P. Simulating physics with computers // International Journal of Theoretical Physics. – 1982. – Vol. 21. – P. 467–488.
- ³ Feynman R. P. Quantum Mechanical Computer // Foundations of Physics. – 1986. – № 16(6). – P. 507–531.
- ⁴ Deutsch D. Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer // Proc. Roy. Soc. Lond. – 1985. – Vol. A 400. – P. 97–117.
- ⁵ Deutsch D. Quantum computational networks // Proc. Roy. Soc. Lond. – 1989. – Vol. A 425. – P. 73–90.