

## QUBO МАТРИЦІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ NP-ПОВНИХ ЗАДАЧ НА КВАНТОВОМУ КОМП'ЮТЕРІ

Сучасна теорія обчислень стикається з численними викликами при розв'язанні NP-повних задач, що мають велике практичне значення. З появою квантових комп'ютерів відкриваються нові можливості для ефективного вирішення цих проблем, за допомогою матриць квадратичної необмеженої бінарної оптимізації (QUBO) можна сформулювати NP-повні задачі у вигляді, придатному для квантових обчислень.

Квантові обчислення базуються на принципах суперпозиції та заплутаності, що дозволяє значно швидше вирішувати задачі повного перебору на великих об'ємах даних у порівнянні з класичними комп'ютерами [1]. QUBO матриці представляють квадратичні функції від бінарних змінних, які необхідно мінімізувати [2]. Це відповідає фізичним моделям квантових систем, зокрема моделі Ізінга, що використовується в квантовому відпалі [3].

Квантовий відпал використовує квантові флуктуації для знаходження глобального мінімуму функції енергії [4]. Компанія D-Wave Systems розробила квантові комп'ютери, що спеціалізуються на цьому підході. Вони дозволяють розв'язувати задачі, сформульовані у QUBO вигляді.

Однією з NP-повних задач є Max-Cut, що полягає у розбитті вершин графу для максимізації суми ваг ребер між множинами [5]. Цю задачу можна ефективно сформулювати у QUBO-формі для застосування квантових алгоритмів.

Алгоритм приведення NP-повної задачі до вигляду зрозумілого для вирішення на квантовому комп'ютері включає наступні кроки (рисунок 1):

1. Визначення та приведення до бінарного вигляду змінних.
2. Формулювання цільової функції у квадратичній формі.
3. Перетворення всіх обмежень задачі у вигляді, придатному для включення до QUBO.
4. Побудова QUBO матриці, що містить коефіцієнти для всіх змінних і їх взаємодій.
5. Застосування квантового відпалу або іншого квантового алгоритму.

Інші NP-повні задачі, такі як задача комівояжера, розфарбування графів та задача про максимальний кліковий підграф, також можуть бути подані у QUBO формулюванні [5]. Це робить QUBO матриці універсальним інструментом для перетворення складних задач у форму, придатну для квантових обчислень.

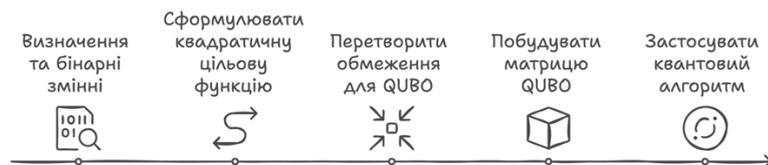


Рисунок 1 - Алгоритм приведення NP-повної задачі

Реальні приклади застосування QUBO матриць включають оптимізацію логістичних маршрутів, розклад завдань та фінансове моделювання. Наприклад, компанія Volkswagen використала квантовий відпал для оптимізації трафіку, що зменшило затори та покращило ефективність перевезень [6].

### Висновки

QUBO матриці є ефективним підходом для розв'язання NP-повних задач на квантових комп'ютерах. Вони дозволяють формувати складні оптимізаційні проблеми для квантового відпалу та інших квантових алгоритмів, що відкриває нові перспективи у квантових обчисленнях.

### Список використаних джерел

1. Nielsen M.A., Chuang I.L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press, 2010.
2. Glover F., Kochenberger G., Du Y. A Tutorial on Formulating and Using QUBO Models // arXiv preprint arXiv:1811.11538, 2019.
3. Kadowaki T., Nishimori H. Quantum Annealing in the Transverse Ising Model // Physical Review E. 1998. Vol. 58, No 5. P. 5355–5363.
4. Bian Z., Chudak F., Israel R., Lackey B., Macready W.G., Roy A. Discrete Optimization Using Quantum Annealing on Sparse Ising Models // Frontiers in Physics. 2014. Vol. 2. P. 56.
5. Lucas A. Ising formulations of many NP problems // Frontiers in Physics. 2014. Vol. 2. P. 5.
6. Neukart F., Compostella G., Seidel C., von Dollen D., Yarkoni S., Parney B. Traffic Flow Optimization Using a Quantum Annealer // Frontiers in ICT. 2017. Vol. 4. P. 29.