

# Квантова фазова логіка в задачах здійсненності булевих формул

## Abstract

В тезах розглянуто актуальні питання застосування квантової фазової логіки для вирішення практичних задач здійсненності булевих формул. Використання QPU дозволяє суттєво підвищити швидкість вирішення SAT задач, як одного з найважливіших напрямків досліджень, які впливають на розвиток таких розділів штучного інтелекту, як моделювання роботи мозку та когнітивна наука та їх прикладних областей: формальна логіка, правила та аналогії, задачі здійсненності логічних формул, доведення теорем. В тезах надано рекомендації щодо алгоритму моделювання SAT задач з використанням QPU та на реальному прикладі вирішення задачі здійсненності логічної формули розглянуто актуальні питання моделювання квантової системи і інтерпретації отриманих результатів.

## Keywords

Quantum phase logic, quantum amplitude logic, 3-SAT, 2-SAT, propositional logic formulae, conjunctive normal form

Наука та технології вступили в епоху нових обчислювальних платформ, побудованих на фундаментальних законах Всесвіту, які призведуть до революційного прискорення вирішення практичних прикладних завдань з погляду теорії обчислювальної складності. Мова йде про квантові обчислення, які є частиною області квантової інформації (quantum information science, QIS). Перспективи квантових комп'ютерів пов'язані в першу чергу з їх можливостями суттєво розширити горизонти обчислень звичайних обчислювальних засобів, використовуючи власну «природну» паралельність обчислень у вигляді суперпозиції та заплутаності кубітів.

Отримання квантового переваги розглядається для певного кола завдань, що не зменшує важливості квантових комп'ютерів, враховуючи те, що деякі з цих завдань знаходяться за межами обчислювальних можливостей будь-яких гіпотетичних обчислювальних пристроїв.

Використання квантових обчислень для вирішення прикладних завдань знаходяться в стадії становлення та інтенсивного розвитку. За думками експертів найбільш перспективні напрями використання квантових комп'ютерів є хімія, вивчення властивості нових матеріалів, фінансові послуги [1,2]. Штучний інтелект також зможе збільшити швидкість деяких алгоритмів обчислення, наприклад, в області машинного навчання. Широкий розвиток отримали методи квантової криптографії. Перелік областей використання квантових обчислень постійно зростає та розширюється завдяки дослідженням та розробці нових квантових алгоритмів та апаратного забезпечення, яке стає доступним для наукових досліджень.

Серед існуючих квантових алгоритмів можемо виділити наступні:

- квантова оцінка фази;
- підсилення комплексної амплітуди;
- квантове перетворення Фур'є (QFT);
- квантовий пошук (QS, Quantum Search);
- факторизація цілих чисел;
- знаходження періоду функції;
- оцінка власних значень;
- квантове машинне навчання;
- квантова надлишкова вибірка.

Перераховані алгоритми та підходи не є вичерпними, але навіть цей перелік дає уявлення про практичну область застосування квантових обчислень, яка пов'язана, як правило, з обробкою великих даних, де час оброблення має критичне значення.

Один з класів задач, які дозволяє вирішувати квантовий пошук, включає в себе задачі, які повинні отримати відповідь «так/ні», тобто вивести значення традиційної логічної команди і відносяться до NP-повних задач.

Традиційні задачі цього класу – це пошук конкретного значення в базі даних, або вирішення задач здійсненності булевих формул (SAT задач). Пошук методів вирішення задач такого класу дуже важливий з погляду їх впливу на розвиток таких розділів штучного інтелекту, як моделювання

роботи мозку (whole brain emulation, WBE) та когнітивна наука (cognitive science, CGS). В свою чергу вказані області досліджень та розвитку ШІ охоплюють широке коло задач: формальна логіка (formal logic, FL), правила та аналогії (rules), задачі здійсненності логічних формул (Boolean satisfiability problem, SAT), доведення теорем (automated theorem proving, ATP), поглиблене навчання (deep learning, DL) як основа для обробки природних мов (natural language processing, NLP) та комп'ютерного зору (computer vision, CV) тощо [5].

В зв'язку з виключною важливістю та актуальністю зазначених предметних областей знань в розвитку інтегрованих когнітивних архітектур, в статті розглянуто питання особливостей практичної реалізації квантової фазової логіки для вирішення актуальних задач здійсненності логічних формул.

Об'єктом дослідження є квантовий процесор (Quantum Processor Unit, QPU) як середовище моделювання логічних алгоритмів в рамках дослідження.

Предметом дослідження є квантова фазова логіка як інструментарій вирішення задачі здійсненності логічної формули (функції).

Метою статті є підвищення швидкості вирішення SAT задач шляхом використання квантової фазової логіки, реалізованої в QPU.

В якості тестового прикладу розглянуто SAT задачу (1):

$$(a \vee b) \wedge (\tilde{a} \vee c) \wedge (b \vee \tilde{c}), \quad (1)$$

Відповідно до постановки задачі здійсненності необхідно знайти, якщо вони існують, такі значення літералів  $a, b, c$ , які зроблять логічну формулу (1) істиною.

Результат моделювання формули (3) з використанням симулятора 'statevector\_simulator' в фазах реєстра представлений в стандартній нотації П.Дірака вектора стану квантової системи (рис.1). Очевидним, крім появи відносної фази  $\pi$ , є збільшення амплітуди станів системи, які кодують логічне привласнення, після одноразового застосування амплітудного підсилення.

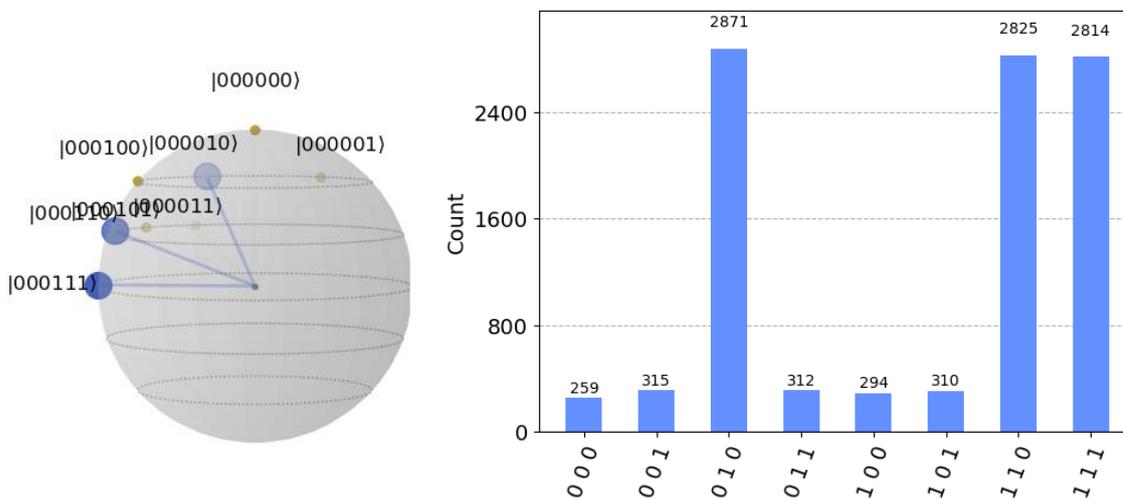


Рис.1. Ймовірність станів системи після моделювання.

Як показали дослідження, моделювання з використанням дзеркальної підсхеми схеми підсилення амплітуди дозволяють з великої ймовірністю (рис.1) після вимірювань кубітів ідентифікувати закодовані в стани системи логічні присвоєння, які роблять логічну формулу істиною.

Пошук рішення SAT задач з певною ймовірністю, для традиційних алгоритмів здійснюється за час  $O(k^n \text{poly}(n))$ , оскільки необхідно здійснити процедуру пошуку значень літералів  $k$  разів для  $n$  літералів. Щоб прискорити традиційні алгоритми необхідно їх реалізувати за допомогою квантових обчислень, замінивши ймовірнісну процедуру пошуку алгоритмом підсилення комплексної амплітуди.