

Scientia PAUperum

Dlaczego komputer kwantowy (jeszcze) nie działa?

W poprzednim numerze PAUzy (nr 559) przedstawiliśmy pochodzącą od Feynmana ideę obliczeń kwantowych. Aby zrealizować w praktyce zaprojektowane algorytmy, potrzebny jest kwantowy komputer, a więc odpowiedni układ doświadczalny. Już na przełomie wieków pokazano eksperymentalnie działanie poszczególnych bramek kwantowych. Obecnie stosuje się różne rozwiązania fizyczne bazujące na polaryzacji fotonów, pojedynczych atomach oddziaływających ze światłem lasera, kubitach wyodrębnionych w nadprzewodnikach oraz technikach rezonansu jądrowego, a każda realizacja ma swe zalety i wady. Układ 10 atomów zlokalizowanych w pułapce jonowej umożliwia wykonanie sekwencji kilku bramek kwantowych i w taki sposób udało się przykładowo wykorzystać doświadczalnie algorytm Shora do rozkładu liczby 21. Otrzymany wynik, 7×3 , był jednak znany już wcześniej....

Dotychczas opracowane realizacje doświadczalne nie skalują się: kładąc koło siebie 100 urządzeń 10-kubitowych, nie otrzymamy wymarzonego komputera operującego na 1000 kubitów, gdyż informacja kwantowa nie będzie przekazywana z jednego urządzenia do drugiego. Kluczowym problemem jest też oddziaływanie analizowanego układu z otoczeniem, które sprawia, że kwantowa superpozycja zanika przechodząc w stan klasyczny. Taki efekt, zwany dekoherencją układu, zachodzi stosunkowo szybko, więc z przetwarzaniem informacji kwantowej nie należy zwlekać: czas wykonania pojedynczej bramki kwantowej musi być znacznie krótszy, niż czas dekoherencji, po którym informacja kwantowa ulega zniszczeniu.

Aby przeciwdziałać przypadkowemu przekłamywaniu danych podczas procesów obliczeniowych, zaproponowano koncepcję kwantowej korekcji błędów. To podejście z dużym prawdopodobieństwem pozwoli odzyskać zniekształconą informację, ale kosztem znacznego zwiększania liczby wykorzystywanych kubitów, których zasób jest ograniczony. W układach składających się z kilkudziesięciu kubitów, jakimi dysponujemy obecnie, proponowany jest schemat łagodzenia błędów (*error mitigation*), polegający na rejestrowaniu statystyk obserwowanych przekłamań danych, a następnie ich wykorzystaniu do korygowania wyników otrzymanych w eksperymencie.

Przedstawione techniki są skuteczne przy operacjach na kilku kubitach i wykonywaniu sekwencji zaledwie kilku bramek kwantowych. Podczas ostatniej dekady uzyskano znaczne osiągnięcia w teorii przetwarzania informacji kwantowej w realistycznych modelach uwzględniających szum kwantowy. Jednakże droga do ich praktycznego wykorzystania jest jeszcze daleka: do tej pory nie udało się doświadczalnie skonstruować kwantowego procesora, który pracując z 12 kubitami, byłby w stanie z dużą dokładnością wykonać sekwencje 12 bramek na każdym z nich.

W ciągu ostatnich lat do wyścigu nakierowanego na budowę kwantowego komputera dołączyły duże korporacje: IBM, Google, Microsoft oraz Honeywell. Każdy chętny do wykonania obliczeń może dziś zdalnie korzystać z 5-kubitowej wersji komputera IBM-Q. W roku 2020 IBM oddał do użytku urządzenie pracujące z 65 kubitami, obecnie pracuje nad prototypami z 127 i 433 kubitami. W roku 2019 Google ogłosił informację o otrzymaniu w ciągu 200 sekund, z układu 54 kubitów, statystyki wyników kwantowego generatora liczb losowych, której odtworzenie zajęłoby klasycznemu komputerowi około 10 000 lat. Choć liczba 77 autorów artykułu, większa od liczby badanych kubitów, świadczyć może o skali trudności doświadczenia, praca ta nie wykazała jeszcze w sposób praktyczny, że komputer kwantowy potrafi policzyć coś użytecznego. Istnieją jednak analizy teoretyczne wskazujące na możliwe zastosowania tego typu eksperymentów, przede wszystkim do badania grafów.

Warto w tym momencie wspomnieć, że – jak dotąd – tylko dla bardzo szczególnych problemów dysponujemy kwantowymi algorytmami mogącymi rozwiązać je szybciej niż znane algorytmy klasyczne. Nie wiadomo, czy istnieje uniwersalna metoda, pozwalająca każdy klasyczny problem przedstawić w postaci przyjaznej dla komputera kwantowego *sensu stricto*. Dość powszechnie uważa się to za mało prawdopodobne. Możliwe zatem, że nawet gdy powstaną sprawne komputery kwantowe, to będą one potężnym wzmocnieniem istniejących mocy obliczeniowych, ale dotychczasowych komputerów klasycznych całkowicie nie zastąpią.

Trudno wyrokować, czy i kiedy uda się rozwiązać konkretny problem obliczeniowy za pomocą komputera kwantowego. Nawet mając w laboratorium działające urządzenie operujące na dużej liczbie kubitów, nie wiemy, czy nieuniknione oddziaływanie kubitów z otoczeniem, odpowiedzialne za dekoherencję, nie zamieni wyników obliczeń w losowy ciąg bitów, z którego nie będzie wielkiego pożytku. Nie wiadomo też, który ze znanych algorytmów jest najbardziej odporny na nieuchronnie pojawiające się przekłamanie i błędy.

Co młodszy optymiści twierdzą, że już niedługo zostanie przekroczony magiczny próg *quantum computational supremacy*¹, kiedy to komputer kwantowy rozwiąże konkretne pożyteczne zadanie obliczeniowe szybciej niż komputery klasyczne. Niektórzy znani eksperci, na ogół starsi i doświadczeni, nadal wątpią, czy potencjalny zysk (także finansowy) z kwantowego przetwarzania informacji zrównoważy nieuchronne straty związane z dekoherencją oraz błędami procesu. Kto ma rację? Czytelnikom PAUzy życzymy, aby mogli już niedługo poznać odpowiedź na to pytanie.

KAROL ŻYCKOWSKI
UJ/PAN

PAWEŁ HORODECKI
UG/PG

¹ Niektórzy autorzy twierdzą, że poziom 'quantum supremacy' został osiągnięty już w roku 2019, gdy ogłoszono omówione powyżej wyniki zespołu Google. Jednakże najkrótsza droga do progu *quantum computational supremacy* wciąż jeszcze nie jest jasna.

PAUza Akademicka – www.pauza.krakow.pl – tygodnik Polskiej Akademii Umiejętności i środowiska naukowego.

Rada Redakcyjna: Magdalena Bajer, Andrzej Białas, Janusz Limon, Ewa Lipska, Stanisław Rodziński, Piotr Sztompka, Marta Wyka, Jakub Zakrzewski.

Redakcja: Andrzej Białas – redaktor naczelny; Andrzej Borowski, Andrzej M. Kobos, Piotr Malecki, Marian Nowy – redaktorzy; Adam Korpak, Krzysztof Skórczewski – grafika; Ryszard Otręba – „Galeria PAUzy”; Anna Michalewicz – dyrektor administracyjny; Witold Brzoskowski, Monika Mentel – fotokład; Wydawnictwo PAU – konsultacje.

Adres do korespondencji: Polska Akademia Umiejętności, 31–016 Kraków, ul. Sławkowska 17; e-mail: pauza@pau.krakow.pl

Oczekujemy na artykuły do 6 000 znaków (ze spacjami) i ilustracje w formacie JPEG o rozdzielczości 300 dpi.