

Kwantowa interferencja w służbie informatyki

Naukowcy z Wydziału Fizyki UW wspólnie z badaczami z Uniwersytetu Oxfordzkiego i amerykańskiej agencji NIST pokazali, że zaprzęgając do obliczeń kwantową interferencję można szybciej i dokładniej przetwarzać nawet bardzo duże zbiory danych. Ich badania mogą przysłużyć się do rozwoju zastosowań technologii kwantowych m.in. w sztucznej inteligencji, robotyce czy diagnostyce medycznej. Wyniki prac opublikowało czasopismo *Science Advances*.

Współczesna nauka, medycyna, inżynieria i technologie informacyjne wymagają efektywnego przetwarzania danych – obrazu, dźwięku, sygnału radiowego, zapisów napływających z różnych czujników i kamer. Od lat 70. w tym celu stosuje się algorytm szybkiej transformaty Fouriera (ang. *Fast Fourier Transform*, FFT). Dzięki FFT możemy wydajnie kompresować i przysyłać dane, zapisywać zdjęcia, oglądać telewizję cyfrową, rozmawiać przez telefon komórkowy. Bez tego algorytmu nie powstałyby systemy obrazowania medycznego bazujące na rezonansie magnetycznym lub ultradźwiękach. Jednak dla wielu zastosowań to nadal za wolno.

Naukowcy od lat próbują do obliczeń zaprząć mechanikę kwantową. Opracowano już kwantowy odpowiednik FFT – kwantową transformatę Fouriera (ang. *Quantum Fourier Transform*, QFT), którą można użyć w kwantowym komputerze. Dzięki temu, że komputer kwantowy przeprowadza obliczenia równocześnie na wszystkich możliwych danych wejściowych (tzw. superpozycjach), liczba operacji drastycznie spada.

Pomimo szybkiego rozwoju kwantowej informatyki, w dziedzinie algorytmów kwantowych panował zastój. Teraz naukowcy pokazali, że wynik ten można poprawić i to w dosyć zaskakujący sposób.

Transformata Kravchuka

Matematyka zna wiele innych transformat. Jedną z nich jest transformata Kravchuka. Jest ona bardzo podobna do FFT, służy do przetwarzania dyskretnych (np. cyfrowych) danych, ale używa funkcji Kravchuka do rozłożenia danych wejściowych na widmo. Pod koniec lat 90. XX wieku, transformata ta została na nowo „odkryta” w informatyce. Okazało się, że jest niezastąpiona w przetwarzaniu obrazu i dźwięku. Dzięki niej opracowano nowe i znacznie precyzyjniejsze algorytmy rozpoznawania pisma drukowanego i odręcznego (w tym nawet chińskiego), gestów, języka migowego, ludzi, twarzy. Już kilkanaście lat temu pokazano, że transformata Kravchuka doskonale nadaje się do obróbki danych o niskiej jakości, zaszumionych, zniekształconych, dlatego mogłaby znaleźć zastosowanie w tzw. wizji komputerowej (automatycznym komputerowym „widzeniu”) w robotyce czy autonomicznych pojazdach. Niestety nie istnieje żaden algorytm, który szybko liczyłby tę transformatę. To ograniczenie można obejść dzięki mechanice kwantowej.

„Święty Graal” informatyki

Naukowcy z Uniwersytetu Warszawskiego – dr hab. Magdalena Stobińska i dr inż. Adam Buraczewski, Uniwersytetu Oxfordzkiego i amerykańskiej agencji NIST pokazali, że najprostsza bramka kwantowa, realizująca interferencję dwóch stanów kwantowych, w istocie liczy transformatę Kravchuka. Taką bramką jest np. bardzo dobrze znana w optyce płytka światłodzieląca (ang. *beam splitter*), która rozdziela wiązkę fotonów na dwie. Kiedy skieruje się na nią z dwóch stron wiązki światła kwantowego, następuje interferencja. Na przykład dwa identyczne fotony, które naraz padną na płytkę, łączą się w pary i wychodzą zawsze razem, tym samym wyjściem. Jest to efekt Hong-Ou-Mandela, który można rozszerzyć także na stany składające się z wielu cząstek. Interferując „paczki” składające się z wielu nierozróżnialnych fotonów (nierozróżnialność jest bardzo ważna, jej brak

niszczy kwantowy efekt), w których odpowiednio zakoduje się dane, uzyskuje się specjalistyczny kwantowy komputer, który liczy transformatę.

W eksperymencie wykorzystano laboratorium optyki kwantowej znajdujące się na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Oxfordzkiego, w którym zbudowano układ do wytwarzania wielofotonowych stanów kwantowych światła, tzw. stanów Focka. Laboratorium dysponuje detektorami TES (ang. *Transmission Edge Sensors*), zbudowanymi przez amerykańską agencję NIST. Detektory te, pracujące w temperaturze bliskiej zeru bezwzględnemu, mają unikalną cechę: potrafią dokładnie liczyć fotony. Dzięki temu, można dokładnie odczytać stan kwantowy, będący wynikiem obliczeń. Co najważniejsze, takie obliczenia kwantowej transformaty Kravchuka trwają zawsze tyle samo czasu, niezależnie od ilości danych wejściowych. Jest to „Święty Graal” informatyki – algorytm składający się z zaledwie jednej operacji, realizowany na pojedynczej bramce logicznej. Eksperyment należy powtórzyć kilkaset razy w celu uzyskania statystyki – tak działa każdy komputer kwantowy. Tutaj wystarczy tylko poczekać chwilę, bo laser wytwarza kilkadziesiąt milionów „paczek” na sekundę.

Uzyskany przez naukowców z Polski, Wielkiej Brytanii i USA wynik znajdzie zastosowanie w opracowaniu nowych kwantowych technologii, kwantowych algorytmów. Jego możliwości sięgają poza układy fotoniczne, ponieważ analogiczna kwantowa interferencja występuje w wielu różnych układach kwantowych. Uniwersytet Warszawski zgłosił wniosek o międzynarodowy patent na to rozwiązanie. Naukowcy mają nadzieję, że transformata Kravchuka wkrótce zagości na stałe jako element nowych aplikacji w informatyce kwantowej, w szczególności w hybrydowych komputerach kwantowo-klasycznych, łączących kwantowe bramki ze „zwykłymi” cyfrowymi układami.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 77 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJA NAUKOWA

M. Stobińska, A. Buraczewski, M. Moore, W. R. Clements, J. J. Renema, S. W. Nam, T. Gerrits, A. Lita, W. S. Kolthammer, A. Eckstein, I. A. Walmsley
Quantum interference enables constant-time quantum information processing
Science Advances **5**, eaau9674 (2019).

DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau9674>

Link: <https://advances.sciencemag.org/content/5/7/eaau9674>

KONTAKTY

dr hab. Magdalena Stobińska

Grupa Badawcza Kwantowych Technologii
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532 913
email: magdalena.stobinska@gmail.com

dr inż. Adam Buraczewski

Grupa Badawcza Kwantowych Technologii

Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
email: aburacze@gmail.com

POWIĄZANE STRONY WWW

<http://www.fuw.edu.pl>

Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>

Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<https://www.stobinska-group.eu>

Strona Grupy Badawczej Kwantowych Technologii dr hab. Magdaleny Stobińskiej.

MATERIAŁ FILMOWY:

FUW190722c_mov01.mp4

http://www.fuw.edu.pl/press/images/2019/FUW190722c_mov01.mp4

Kwantowa interferencja w służbie informatyki. (Źródło: M. Czerniawski, Ł. Kałuża, Biuro Promocji UW)