

Problemy rozwoju Internetu kwantowego

Jarosław Miszczak



Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

21 grudnia 2011

Plan wystąpienia

Komunikacja kwantowa i sieci kwantowe

Komunikacja kwantowa

Sieci kwantowe

Składniki intersieci kwantowych

Powielacze

Pamięci

Rutery

Sieci czysto optyczne i światłowodowe

Modele intersieci kwantowych

Komunikacja kwantowa i sieci kwantowe

Komunikacja kwantowa to *sztuka* przesyłania stanów kwantowych.

Jest wykorzystywana do

- ▶ przesyłania nośników kwantowych na duże odległości
 - ▶ w kwantowej dystrybucji klucza,
 - ▶ w bezpośredniej komunikacji kwantowej,
- ▶ konstrukcji interfejsów między łączami kwantowymi a procesorami/pamięciami kwantowymi.

Komunikacja kwantowa i sieci kwantowe

Sieci kwantowe składają się z dużej liczby węzłów (np. procesorów kwantowych) komunikujących się za pomocą łączy kwantowych.

- ▶ Internet kwantowy (intersieć kwantowa) nie musi operować na dużych odległościach.
- ▶ W skład sieci wchodzić mogą urządzenia działające na różnych zasadach fizycznych.
- ▶ W obrębie sieci będą wymieniane zarówno dane klasyczne jak i kwantowe.
- ▶ Wraz ze wzrostem ilości węzłów w sieci zwiększa się
 - oferowana wydajność
 - złożoność zarządzania
- ▶ Problemy pojawiające się przy budowie sieci są związane z
 - ▶ zanikiem sygnału związanego z charakterystyką łączy,
 - ▶ opracowaniem metod trasowania i zarządzania zasobami.

Komunikacja kwantowa i sieci kwantowe

Z dużą ilością węzłów wiążą się wyzwania.

- ▶ Przesyłanie danych kwantowych pomiędzy węzłami kwantowymi wymaga metod zapewniających transmisję stanów kwantowych które zapewnią
 - ▶ niezawodność – np. poprzez uwzględnienie zerwanych łączy,
 - ▶ wydajność – np. zapewnienie optymalnych metod trasowania.
- ▶ Wykorzystując protokoły kwantowe należy wziąć pod uwagę złożoną strukturę sieci.
- ▶ Nie wiadomo czy i jak można wykorzystać protokoły kwantowe do poprawy wydajności sieci.

Składniki intersieci kwantowych

Dla budowy złożonych sieci operujących na wymianie nośników kwantowych kluczowe są

- ▶ powielacze kwantowe (ang. *quantum repeaters*) – możliwość dystrybucji stanów splątanych na duże odległości,
- ▶ pamięci kwantowe – ogromna poprawa wydajności powielaczy kwantowych, a co za tym idzie przepustowości sieci,
- ▶ interfejsy kwantowe – łączą pomiędzy nośnikiem informacji a pamięcią lub procesorem kwantowym,
- ▶ routery kwantowe – nadzór złożonych intersieci kwantowych oraz łącza na styku kilku podsieci.

Powielacze kwantowe

Powielacze kwantowe są integralną częścią intersieci kwantowych.

- ▶ Obecnie główne problemy przy tworzeniu długodystansowych łączy to straty w światłowodach i błędy detektorów.
- ▶ Powielacze umożliwiają znaczne zwiększenie zasięgu na jakim może operować kwantowe przesyłanie danych.
- ▶ Dystrybucja stanów kwantowych na dużych odległościach jest konieczna do praktycznego zastosowania wielu protokołów kwantowych.

Powielacze kwantowe

Zalety i wyzwania związane ze stosowaniem powielaczy kwantowych:

- ▶ pozwalają na podzielenie długich łączy na krótsze,
- ▶ niezależnie tworzą i składują stany splątane,
- ▶ wykorzystują przenoszenie splątania (ang. *entanglement swapping*),
- ▶ przy tworzeniu złożonych sieci konieczna jest synchronizacja i zarządzanie powielaczami,
- ▶ błędy w działaniu mogą mieć duży wpływ na wydajność transmisji.

Interfejsy i pamięci kwantowe

W sieciach klasycznych sygnał świetlny jest tłumaczony na impulsy elektryczne. Przejście takie nie jest możliwe w przypadku kwantowym – konieczne jest przeniesienie stanu kwantowego.

Użycie pamięci kwantowych wymaga

- ▶ opracowania metod tłumaczenia stanu z nośnika informacji kwantowej na pamięć kwantową,
- ▶ określenia ile pamięci jest potrzebne w implementacji danego protokołu/algorytmu,
- ▶ oszacowania czy użycie pamięci lub zwiększenie jej ilości poprawi wydajność pracy sieci,

Rutery kwantowe

W sytuacji gdy konieczne jest połączenie dwóch niezależnych podsieci, pojawia się problem trasowania stanów między nimi.

- ▶ Rutery kwantowe mają za zadanie wydajne przesyłanie informacji między podsieciami.
- ▶ W zależności od typu komunikacji, konieczne jest opracowanie różnych metod trasowania stanów.

Sieci czysto optyczne i światłowodowe

Najbardziej pożądanym sposobem wdrażania sieci kwantowych jest wykorzystanie infrastruktury światłowodowej.

- ▶ Prace nad wykorzystaniem łączy światłowodowych do kwantowej dystrybucji klucza bezpośrednio do domu (ang. *fibre-to-the-home (FTTH)*).
- ▶ Duże wyzwania ze względu na charakterystykę strat w światłowodach.

Perspektywy implementacji sieci kwantowych dają również sieci czysto optyczne, które umożliwiają optyczne przełączanie i trasowanie sygnałów.

- ▶ Pozwalają na zestawienie łączy optycznego między dwoma dowolnymi węzłami sieci.
- ▶ Do tej pory wykorzystane zostały do zestawienia infrastruktury QKD.

Modele intersieci kwantowych

Uwzględnienie działania poszczególnych (wyidealizowanych) składników intersieci kwantowej pozwoli na zaplanowanie strategii działania w takiej sieci:

- ▶ ocena wydajności sieci z uwzględnieniem przesyłu danych klasycznych i kwantowych,
- ▶ wykrywanie wąskich gardeł – np. niewystarczająca pojemność pamięci,
- ▶ przygotowanie i modelowanie wykonania algorytmów rozproszonych – ocena efektywności, opracowanie i testowanie nowych algorytmów.

Modele intersieci kwantowych

Wykorzystanie modeli teoretycznych pozwala na optymalizację (oraz planowanie) realizacji fizycznych

- ▶ zaplanowanie topologii sieci,
- ▶ optymalizacja wykorzystania pamięci kwantowej,
- ▶ wykorzystanie klasycznych i kwantowych kanałów do optymalizacji protokołów – np. czy opłacałoby się wykorzystanie gęstego kodowania do przesyłania informacji klasycznej.

Dziękuję za uwagę!