

TELEPORTAREA CUANTICĂ

Autor : Iulia TIRON

Conducător științific: magistrul, lector superior Galina MARUSIC

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare sunt date noțiuni generale despre teleportarea cuantică, stările cuantice, superpoziție cuantică..

Cuvinte cheie: Teleportare cuantică, stare cuantică, stările lui Bell, superpoziție, qubit, entanglare.

1. Introducere în teleportarea cuantică

Teleportarea cuantica, sau teleportare entanglat asistată, este o tehnică utilizată pentru transferul informației cuantice de la un sistem cuantic la altul. Ea nu transportă însăși sistemul, dar nici nu permite comunicarea/schimb/transfer de informații la viteze superluminare. Nici nu se referă la rearanjarea particulelor a unui obiect macroscopic pentru a copia forma unui alt obiect distinctiv. Caracteristica sa este că se poate transmite prezenta informațiile într-o superpoziție cuantică, utile pentru comunicarea cuantică și de calcul.

Mai precis, teleportare cuantică este un protocol cuantic prin care un qubit o (unitatea de bază a informației cuantice) poate fi transmis exact (în principiu) dintr-o locație la alta. Premisele fiind un canal de comunicare convențional capabil să transmită doi biti clasici (de exemplu, una din cele patru stări), precum și o pereche încurcată Bell (b,c) de qubiti, cu b la origine și c la destinație. (Așadar, în timp ce b și c sunt strâns legate, a este în întregime independentă de acestea, dar inițial fiind în același amplasament cu b .)

Protocolul are trei etape: măsoară a și b împreună ca să cedeze doi biți clasice; transmite doi biti la celălalt capăt de canal (unicul pas care este un potențial consumator de timp, datorită considerațiilor vitezei-de-lumina); și de a folosi doi biti pentru a selecta una din cele patru moduri de recuperare a c . Drept urmare a acestui protocol este de a transforma acordul original $((a,b),c)$ la $((b',c'),a)$, aceste fiind, mutările unde c a fost și qubiți separați anteriori de transformata pereche lui Bell într-o pereche Bell nouă (b',c') la origine.

Aceasta a fost demonstrat experimental pentru a lucra pe distanțe de până la 16 de kilometri.

2. Experimentele în teleportare cuantică

În 1997, a fost prima experimental-confirmată teleportare cuantică de un grup din Innsbruck. După mai multe rezultate verificate, în august 2004 crește distanța de teleportare la 600 de metri folosind fibra optică.

Dar cea mai lungă distanță pentru teleportare cuantica însă a fost atinsă în mai 2010 fiind de 16 km (10 mile) realizată de către oamenii de știință chinezi peste spațiu liber cu o medie de 89% precizie. Această distanță este suficientă pentru utilizarea între stațiile de sol și printr-un satelit.

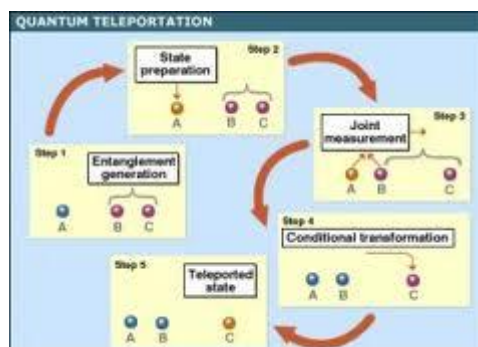


Fig. 1 – Stările de trecere în teleportarea cuantică

Să presupunem că Alice are un qubit în una din stări cuantice $|\psi\rangle$ arbitrare. (Qubitul poate fi reprezentat ca o suprapunere de stări, etichetate $|0\rangle$ și $|1\rangle$.)

Presupunem că această stare cuantică nu este cunoscută de Alice și ea ar dori să trimită această stare lui Bob. Aparent, Alice are următoarele opțiuni:

- Ea ar putea încerca să transportă fizic qubit la Bob.
- Ea ar putea difuza aceste informații (cuantice), și Bob ar putea obține informații prin intermediul unui receptor adecvat.
- Ea ar putea măsura, probabil, qubit necunoscut în posesia ei. Rezultatele acestei măsurători vor fi comunicate la Bob, care pregătește apoi un qubit aflat în posesia sa în consecință, pentru a obține starea dorită. (Acest proces este numit ipotetic *teleportare clasică*.)

Opțiunea 1 este extrem de nedorită, deoarece stările cuantice sunt fragile, precum și orice perturbare a rutei ar fi coruptat starea.

Opțiunea 2 este interzisă de teorema contra-radiodifuziunii.

Opțiunea 3 (teleportare clasic) a fost, de asemenea în mod oficial dovedit a fi imposibilă. Acesta este un alt fel de a spune că informație cuantică nu poate fi evaluată în mod credibil.

Astfel, Alice pare să se confrunte cu o problemă imposibilă. O soluție a fost descoperită de către Bennett, et al. Componentele stării maxime entanglate a doi qubiți sunt distribuite la Alice și Bob. Protocolul apoi implică pe Alice și Bob să interacționeze la nivel local cu qubit(e) în posesia lor și lui Alice să trimită doi biți clasice la Bob. În final, qubit în posesia lui Bob va fi în starea dorită.

3. Demonstrarea practică a teleportării cuantice

Să presupunem că Alice are un qubit pe care vrea să-l teleporteze la Bob. Acest qubit poate fi scris în general:

$$|\psi\rangle_C = \alpha|0\rangle_C + \beta|1\rangle_C. \quad (1)$$

Schema teleportării cuantice necesită ca Alice și Bob să împartă o stare maxim entanglată în prealabil aceasta fiind una dintre cele patru stări lui Bell:

$$|\Phi^+\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |0\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |1\rangle_B), \quad (2)$$

$$|\Phi^-\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |0\rangle_B - |1\rangle_A \otimes |1\rangle_B), \quad (3)$$

$$|\Psi^+\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |1\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |0\rangle_B), \quad (4)$$

$$|\Psi^-\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |1\rangle_B - |1\rangle_A \otimes |0\rangle_B). \quad (5)$$

Alice ia una din particule din pereche, și Bob păstrează pe cealaltă. Indici A și B , în stare entanglată se referă la particula lui Alice sau Bob. Noi vom presupune că Alice și Bob împart stare entanglată $|\Phi^+\rangle_{AB}$.

Deci, Alice are două particule (C , o vrea pentru a teleporta, și A , una dintre pereche entanglată), și Bob are o particulă, B . În sistemul total, starea acestor trei particule este dată de:

$$|\Phi^+\rangle_{AB} \otimes |\psi\rangle_C = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |0\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |1\rangle_B) \otimes (\alpha|0\rangle_C + \beta|1\rangle_C). \quad (6)$$

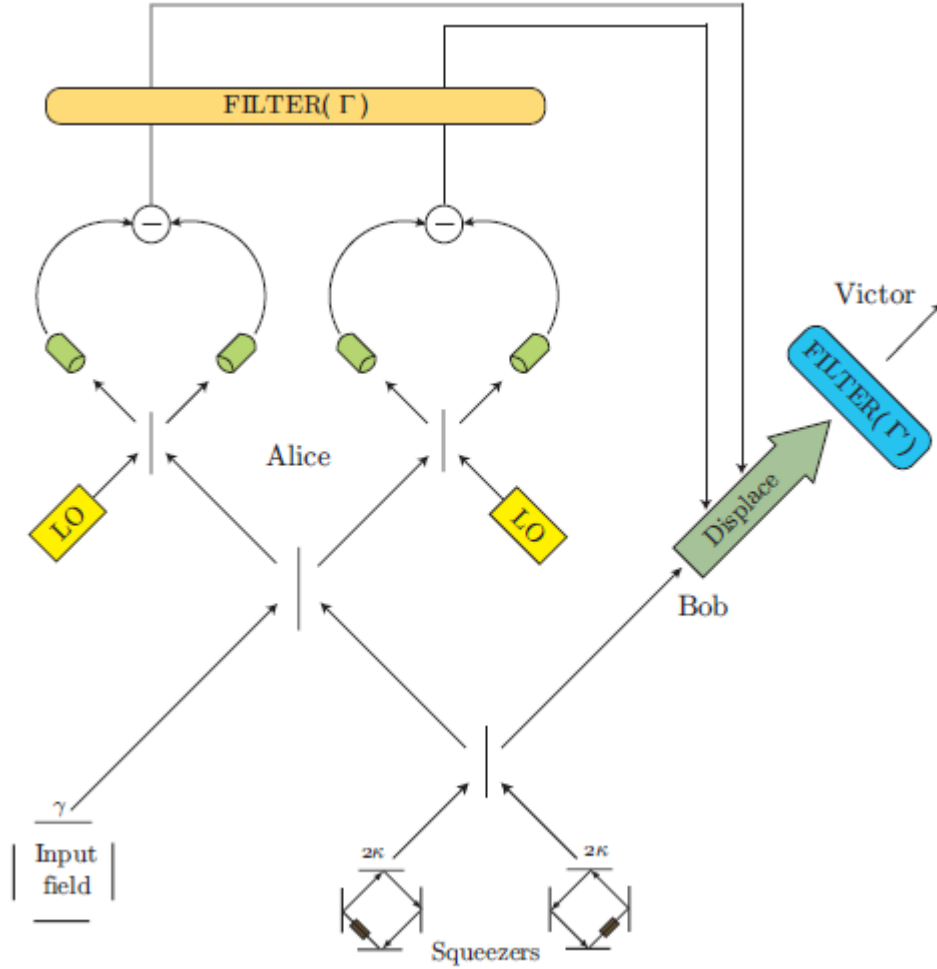


Fig. 2 – Protocolul teleportării

Configurația din figura 2 este în esență aceeași ca și în experimentul lui Furusawa et al. [1] și Bowen et al. [2], unde Alice face măsurări quadratice cu ajutorul detectoarelor de echilibrat homodyne, și EPR grinzi sunt create prin amestecarea a două grinzi stoarse la un separator de fascicule de 50/50. Noi ne asumăm filtre Lorentz.

Alice va face apoi o măsurare parțială în baza Bell pe cele două qubiți în posesia ei. Pentru a face rezultatul măsurării ei clare, vom rescrie cele două qubiți de Alice în baza Bell, prin intermediul identităților generale următoare (acestea pot fi ușor de verificat):

$$|0\rangle \otimes |0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Phi^+\rangle + |\Phi^-\rangle), \quad (7)$$

$$|0\rangle \otimes |1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi^+\rangle + |\Psi^-\rangle), \quad (8)$$

$$|1\rangle \otimes |0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi^+\rangle - |\Psi^-\rangle), \quad (9)$$

și

$$|1\rangle \otimes |1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Phi^+\rangle - |\Phi^-\rangle). \quad (10)$$

Starea a celor trei particole arătate mai sus devine astfel suprapunerea următoarelor patru termeni:

$$\frac{1}{2} (|\Phi^+\rangle_{AC} \otimes (\alpha|0\rangle_B + \beta|1\rangle_B) + |\Phi^-\rangle_{AC} \otimes (\alpha|0\rangle_B - \beta|1\rangle_B) + |\Psi^+\rangle_{AC} \otimes (\beta|0\rangle_B + \alpha|1\rangle_B) + |\Psi^-\rangle_{AC} \otimes (-\beta|0\rangle_B + \alpha|1\rangle_B)). \quad (11)$$

Observați că tot ce am făcut până acum este o schimbare de bază pe partea sistemului Alice. Nici o operațiune nu a fost efectuată și cele trei particule sunt încă în aceeași stare. Teleportarea reală începe atunci când Alice măsoară cei doi qubiti în baza lui Bell. Având în vedere expresia de mai sus, evident rezultatul pentru ia (local) de măsurare este că particule celor trei stări ar colapsa la una din următoarele patru stări (cu probabilitate egală de a obține fiecare):

$$|\Phi^+\rangle_{AC} \otimes (\alpha|0\rangle_B + \beta|1\rangle_B) \quad (12)$$

$$|\Phi^-\rangle_{AC} \otimes (\alpha|0\rangle_B - \beta|1\rangle_B) \quad (13)$$

$$|\Psi^+\rangle_{AC} \otimes (\beta|0\rangle_B + \alpha|1\rangle_B) \quad (14)$$

$$|\Psi^-\rangle_{AC} \otimes (-\beta|0\rangle_B + \alpha|1\rangle_B) \quad (15)$$

Cele două particule lui Alice sunt acum entanglate reciproc, într-una dintre cele patru stări a lui Bell. Entanglement inițial partajat între Alice și Bob este acum rupt. Particula lui Bob preia pe una din cele patru stări superpoziției arătate mai sus. Nota cum qubitul lui Bob este acum într-o stare care se aseamănă stării pentru teleportat. Cele patru stări posibile pentru qubitul lui Bob sunt imagini unitare a stării pentru teleportare.

Pasul crucial, măsurările locale efectuate de Alice, pe baza lui Bell sunt efectuate. Este clar cum să procedăm în continuare. Alice are acum informație completă a stării celor trei particule, rezultatul ei a măsurărilor Bell îi spune care dintre cele patru stări se află sistemul. Ea pur și simplu trebuie să trimită rezultatele ei la Bob printr-un canal clasic. Doi biți clasici pot să comunice care dintre cele patru rezultate ea va obține.

După ce Bob primește mesajul de la Alice, el va ști care dintre cele patru state particula lui se află. Utilizând această informație, el efectuează o operațiune unitară pe particula sa ca să-l transforme la stare dorită

$$\alpha|0\rangle_B + \beta|1\rangle_B \quad (16)$$

- Dacă Alice indică că rezultatul ei este $|\Phi^+\rangle_{AC}$, Bob știe că qubitul lui este deja în starea dorită și nu face nimic. Acest lucru se ridică la operațiunea unitar trivială, operatorul de identitate.
- Dacă mesajul indică $|\Phi^-\rangle_{AC}$, Bob ar trimite qubit său prin poarta unitară dată de matricea Pauli

$$\sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

pentru a recupera starea.

- Dacă mesajul lui Alice corespunde $|\Psi^+\rangle_{AC}$, Bob aplică poarta

$$\sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

la qubit lui.

d) În cele din urmă, pentru cazul rămas, poarta corespunzătoare este dată de

$$\sigma_3\sigma_1 = i\sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Teleportarea este, prin urmare, atinsă.

Experimental, măsurările proiective realizate de Alice pot fi realizate printr-o serie de impulsuri laser îndreptate la cele două particule.

Bibliografie

1. C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. K. Wootters, *Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels*, Phys. Rev. Lett. 70.
2. L. Vaidman, *Teleportation of Quantum States*, Phys. Rev. A 49, 1473-1476 (1994).
3. G Brassard, S Braunstein, R Cleve, *Teleportation as a Quantum Computation*, Physica D 120 43-47 (1998).
4. A. Peres, "What is actually teleported?", IBM Journal of Research and Development, Vol. 48, Issue 1, (2004).
5. G. Rigolin, *Quantum Teleportation of an Arbitrary Two Qubit State and its Relation to Multipartite Entanglement*, Phys. Rev. A 71 032303 (2005).
6. D. Bouwmeester, J.-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter, A. Zeilinger, *Experimental Quantum Teleportation*, Nature 390, 6660, 575-579 (1997).
7. Y.-H. Kim, S.P. Kulik, and Y. Shih, *Quantum teleportation of a polarization state with a complete bell state measurement*, Phys. Rev. Lett. 86, 1370 (2001).