



Les memories quantiques multiplexades faciliten la teleportacio quantica de llarga distancia

En un article publicat a *Nature Communications*, investigadors de l'ICFO aconseguixen la teleportacio quantica entre un foto i un qbit d'estat solid a una distancia d'1 km, utilitzant memories quantiques multiplexades.

April 19, 2023

La teleportacio quantica es una tecnica que permet enviar informacio quantica entre dos objectes quantics distants, un emissor i un receptor, utilitzant, com a recurs, un fenomen anomenat entrellacament quantic. Allo que fa que aquest proces sigui unic i singular es que la informacio real no es transmet mitjancant la transmissio de bits quantics (qbits) a traves d'un canal de comunicacio que connecti a les dues parts, sino que la informacio es destrueix en un lloc i apareix a l'altre, sense haver de viatjar fisicament entre tots dos. El que permet fer-ho es l'entrellacament quantic, juntament amb la transmissio d'allo que coneixem com a bits classics.

Actualment, hi ha un interès considerable en la teleportació quàntica al camp de les comunicacions quàntiques i les xarxes quàntiques, ja que utilitzar l'entrellacament de partícules permetria la transferència de bits quàntics entre nodes de la xarxa a grans distàncies. Aquesta tècnica facilitaria la integració d'aquestes tecnologies quàntiques a les xarxes de telecomunicacions actuals, possibilitant estendre les comunicacions ultrasegures a distàncies molt llargues.

La teleportació quàntica va proposar-se teòricament a principis dels anys noranta, i diversos grups de tot el món van dur a terme demostracions experimentals. Si bé en aquests anys la comunitat científica ha adquirit una àmplia experiència sobre com fer aquests experiments, com teleportar la informació de manera pràctica per a permetre una comunicació quàntica fiable i ràpida a través d'una xarxa estesa, encara un assumpte pendent.

Aquesta infraestructura hauria de ser compatible amb la xarxa de telecomunicacions actual. Però, a més, cal que s'apliqui una operació final al protocol de teleportació quàntica sobre el qbit amb la informació teleportada, una característica que s'anomena *feed-forward* actiu, per permetre que la transmissió de la informació es pugui fer de manera fidel i a més velocitat. Per això, el receptor ha de posseir un dispositiu conegut com a memòria quàntica que pugui emmagatzemar el qbit, sense degradar-lo, fins que es pugui implementar l'operació final. Finalment, aquesta memòria quàntica ha de poder operar de manera multiplexada o multimodal, per maximitzar la velocitat de teleportació de la informació quan l'emissor i el receptor són lluny l'un de l'altre. Fins ara, cap implementació ha incorporat tots aquests requisits en la mateixa demostració.

En un estudi recent publicat a *Nature Communications*, els investigadors de l'ICFO **Dario Lago-Rivera**, **Jelena V. Rakonjac** i **Samuele Grandi**, dirigits pel Prof. ICREA a l'ICFO **Hugues de Riedmatten**, han aconseguit teleportar a llarga distància informació quàntica, d'un foto a un qbit d'estat sòlid, és a dir, un foto emmagatzemat en una memòria quàntica multiplexada. La tècnica inclou l'ús del *feed-forward* actiu (esquema de pre-alimentació activa), que juntament amb la multimodalitat/multiplexitat de la memòria ha permès maximitzar la taxa de teleportació dels qbits. El disseny proposat és compatible amb els canals de telecomunicacions i, per tant, permetria la futura integració i escalabilitat per a la comunicació quàntica de llarga distància.

Com aconseguir la teleportació quàntica?

L'equip va construir dues estacions experimentals, que en l'argot de la comunitat solen anomenar-se Alice i Bob. Totes dues estaven connectades a través d'una fibra òptica de 1 km enrotllada en una bobina, per emular una distància física entre les parts.

L'experiment constava de tres fotons. A la primera estació (Alice), l'equip va fer ús d'un cristall especial per crear dos fotons entrellacats: el **primer foto a 606 nm**, anomenat **foto de senyal (foto 1)**, i el **segon foto de 1436 nm** anomenat **foto inactiu (foto 2)**, compatible amb la infraestructura de telecomunicacions. Un cop creat, s'ha de guardar el primer foto de 6

6 nm a Alice i el vam emmagatzemar en una memòria quàntica d'estat sòlid multiplexada, mantenint-lo allà per al seu processament futur. Alhora, vam agafar el foto 2 de telecomunicacions, creat a Alice, i vam enviar-lo a través d'1km de fibra òptica per arribar a una segona estació, anomenada Bob.

o. En aquesta segona estació, Bob, hi ha un altre cristall on els investigadors van crear un tercer foto (foto 3), **codificat amb el bit quàntic** que volien teleportar. Quan es va crear el tercer foto, el foto 2 ja havia arribat des d'Alice a Bob, i és llavors on ocorre la teleportació.

Teleportant informació a 1km de distància

Els **fotons 2 i 3** van interferir entre ells a través del que es coneix com a mesura d'estat de campana (BSM o Bell State Measurement en anglès). L'efecte d'aquesta mesura va ser **barrejar els estats dels fotons 2 i 3**. Gràcies al fet que el **foto 1** i el **foto 2** estaven **entrellacats** des del principi, és a dir, les seves propietats estaven correlacionades, el resultat del BSM va ser **transferir la informació codificada del foto 3 al foto 1**, emmagatzemat a la memòria quàntica d'Alice a 1 km de distància. Tal i com expliquen Dario Lago i Jelena Rakonjac, i Som capaçs de transferir informació entre dos fotons que no havien estat en contacte mai abans, connectats a través d'un tercer foto entrellacat amb el primer. La singularitat d'aquest experiment rau en que fem servir una memòria quàntica multiplexada capaç d'emmagatzemar el primer foto durant el temps suficient per a que, quan el primer dispositiu, Alice, detecta que la interacció ja ha passat, encara podem processar la informació teleportada tal i com ho descriu el protocol?

El procés esmentat va ser la tècnica **feed-forward actiu**, comentada anteriorment. Depenent del resultat del BSM entre els fotons 2 i 3 s'aplicava un canvi de fase al foto 1, una operació final després de ser emmagatzemat a la memòria. D'aquesta manera s'aconseguia codificar sempre el mateix estat al primer foto ja que, sense això, la meitat dels esdeveniments de teleportació haurien de descartar-se. D'altra banda, la multimodalitat/multiplexació de la memòria quàntica els va permetre augmentar la taxa de teleportació més enllà dels límits imposats per la separació d'1 km entre ells, sense reduir la qualitat del qbit teleportat. Això va donar, com a resultat, una **taxa de teleportació tres vegades més gran** que la d'una memòria quàntica monomodal, limitada únicament per la velocitat del hardware clàssic.

Escalabilitat i Integració

El precursor d'aquest experiment és un experiment previ, realitzat per l'any 2021 pel mateix equip, on van aconseguir per primera vegada entrellacar dues memòries quàntiques multimodals separades per 10 metres i precedides per un foto a la longitud d'ona de les telecomunicacions.

Com emfatitza Hugues de Riedmatten, i $\frac{1}{2}$ La teleportacio quantica sera crucial per a comunicacio a llarga distancia, d'alta qualitat, en l'Internet quantic del futur. El nostre objectiu es implementar la teleportacio quantica en xarxes cada cop mes complexes, a b entrellacament previament distribuït. La naturalesa multiplexada i d'estat solid dels nostres nodes quantics, aixi com la seva compatibilitat amb la xarxa de telecomunicacions, es converteix en candidats prometedors per implementar aquesta tecnologia a llargues distancies en la xarxa de fibra instal·lada i a $\frac{1}{2}$. Tot i tenir la importancia d'aquests resultats, ja estan en marxa millores a l'experiment. D'una banda, l'equip s'esta centrant en desenvolupar i millorar la tecnologia per estendre aquesta configuracio a distancies molt mes llargues, mantenint l'eficiencia i les taxes de teleportacio. D'altra banda, els investigadors tambe volen estudiar i utilitzar aquesta tecnica per transferir informacio entre diferents tipus de nodes quantics, per tal de poder establir un futur Internet quantic que pugui distribuir i processar informacio quantica entre parts remotes.

s.

Referencia: Long distance multiplexed quantum teleportation from a telecom photon to a solid-state qbit, Dario Lago-Rivera, Jelena V. Rakonjac, Samuele Grandi & Hugues de Riedmatten, [Nature Communications volume 14, 1889 \(2023\)](#).

