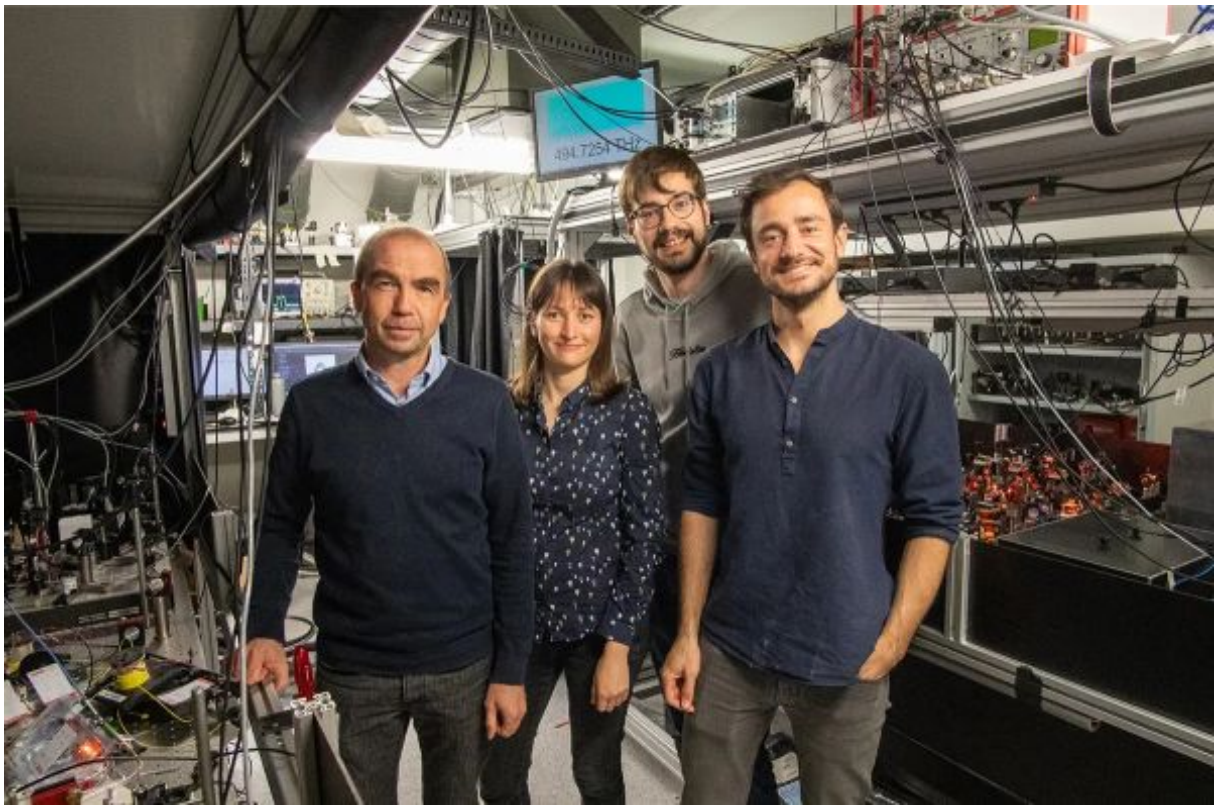


Les memories quantiques multiplexades faciliten la teleportacio quantica de llarga distancia

En un article publicat a Nature Communications, investigadors de l'ICFO aconsegueixen 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 interes considerable en la teleportacio quantica al camp de les comunicacions quantiques i les xarxes quantiques, ja que utilitzar l'entrellacament de particules permetria la transferencia de bits quantics entre nodes de la xarxa a grans distancies. Aquesta tecnica facilitaria la integracio d'aquestes tecnologies quantiques a les xarxes de telecomunicacions actuals, possibilitant estendre les comunicacions ultrasegures a distancies molt llargues.
La teleportacio quantica va proposar-se teoricament a principis dels anys noranta, i diversos grups de tot el mon van dur a terme demostracions experimentals. Si be en aquests anys la comunitat cientifica ha adquirit una amplia experiencia sobre com fer aquests experiments, com teleportar la informacio de manera practica per a permetre una comunicacio quantica fiable i rapida a traves d'una xarxa estesa, es encara un assumpte pendent.
Aquesta infraestructura hauria de ser compatible amb la xarxa de telecomunicacions actual. Pero, a mes, cal que s'apliqui una operacio final al protocol de teleportacio quantica sobre el qbit amb la informacio teleportada, una caracteristica que s'anomena i¿½feed-forwardi¿½ actiu, per permetre que la transmissio de la informacio es pugui fer de manera fidel i a mes velocitat. Per aixo, el receptor ha de posseir un dispositiu conegut com a memoria quantica que pugui emmagatzemar el qbit, sense degradar-lo, fins que es pugui implementar l'operacio final. Finalment, aquesta memoria quantica ha de poder operar de manera multiplexada o multimodal, per maximitzar la velocitat de teleportacio de la informacio quan l'emissor i el receptor son lluny l'un de l'altre. Fins ara, cap implementacio ha incorporat tots aquests requisits en la mateixa demostracio.
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 distancia informacio quantica, d'un foto a un qbit d'estat solid, es a dir, un foto emmagatzemat en una memoria quantica multiplexada. La tecnica inclou l'us del i¿½feed-forwardi¿½ actiu (esquema de pre-alimentacio activa), que juntament amb la multimodalitat/multiplexitat de la memoria ha permes maximitzar la taxa de teleportacio dels qbits. El disseny proposat es compatible amb els canals de telecomunicacions i, per tant, permetria la futura integracio i escalabilitat per a la comunicacio quantica de llarga distancia.

Com aconseguir la teleportacio quantica?

L'equip va construir dues estacions experimentals, que en l'argot de la comunitat sole anomenar-se Alice i Bob. Totes dues estaven connectades a traves d'una fibra optica de 1 k enrotllada en una bobina, per emular una distancia fisica entre les parts

L'experiment constava de tres fotons. A la primera estacio (Alice), l'equip va fer us d'u 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, i¿½Vam guardar el primer foto de 6

6 nm a Alice i el vam emmagatzemar en una memoria quantica d'estat solid multiplexad
, mantenint-lo alla per al seu processament futur. Alhora, vam agafar el foto 2
e telecomunicacions, creat a Alice, i vam enviar-lo a traves d'1km de fibra optica per arribar a
a segona estacio, anomenada Bobi¿½, comenta Dario L

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

Teleportant informacio a 1km de distancia

Els **fotons 2 i 3** van interferir entre ells a traves del que es coneix com a mesura d'estat de campana (BSM o Bell State Measurement en angles). L'efecte d'aquesta mesura va ser **barrejar els estats dels fotons 2 i 3**. Gracies al fet que el **foto 1** i el **foto 2** estaven **entrellacats** des del principi, es a dir, les seves propietats estaven correlacionades, el resultat del BSM va ser **transferir la informacio codificada del foto 3 al foto 1**, emmagatzemat a la memoria quantica d'Alice a 1 km de distancia. Tal i com expliquen Dario Lago i Jelena Rakonjac,
i¿½Som capacos de transferir informacio entre dos fotons que no havien estat en contac
e mai abans, connectats a traves d'un tercer foto entrellacat amb el primer. La singularit
t d'aquest experiment rau en que fem servir una memoria quantica multiplexada cap
c d'emmagatzemar el primer foto durant el temps suficient per a que, quan el prim
r dispositiu, Alice, detecta que la interaccio ja ha passat, encara podem processar
a informacio teleportada tal i com ho descriu el protocoli?
½. El proces esmentat va ser la tecnica de **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 operacio final despres de ser emmagatzemat a la memoria. D'aquesta manera s'aconseguia codificar sempre el mateix estat al primer foto ja que, sense aixo, la meitat dels esdeveniments de teleportacio haurien de descartar-se. D'altra banda, la multimodalitat/multiplexacio de la memoria quantica els va permetre augmentar la taxa de teleportacio mes enlla dels limits imposats per la separacio d'1 km entre ells, sense rebaixar la qualitat del qbit teleportat. Aixo va donar, com a resultat, una **taxa de teleportacio tres vegades mes gran** que la d'una memoria quantica monomodal, limitada unicament per la velocitat del hardware classic.

Escalabilitat i Integracio

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

Com emfatitza Hugues de Riedmatten, i¿½La teleportacio quantica sera crucial per a comunicacio a llarga distancia, d'alta qualitat, en l'Internet quantic del futur. El nost e objectiu es implementar la teleportacio quantica en xarxes cada cop mes complexes, a b entrellacament previament distribuit. La naturalesa multiplexada i d'estat solid dels nostr s nodes quantics, aixi com la seva compatibilitat amb la xarxa de telecomunicacions, e s converteix en candidats prometedors per implementar aquesta tecnologia a llargu s distancies en la xarxa de fibra instal·ladai
?½. Tot i tenir la importancia d'aquests resultats, ja estan en marxa millores a l'experiment. 'una banda, l'equip s'esta centrant en desenvolupar i millorar la tecnologia per estendre aq esta configuracio a distancies molt mes llargues, mantenint l'eficiencia i les taxes de teleport cio. D'altra banda, els investigadors tambe volen estudiar i utilitzar aquesta tecnica per trans erir informacio entre diferents tipus de nodes quantics, per tal de poder establir un futur Int rnet quantic que pugui distribuir i processar informacio quantica entre parts remo

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).

