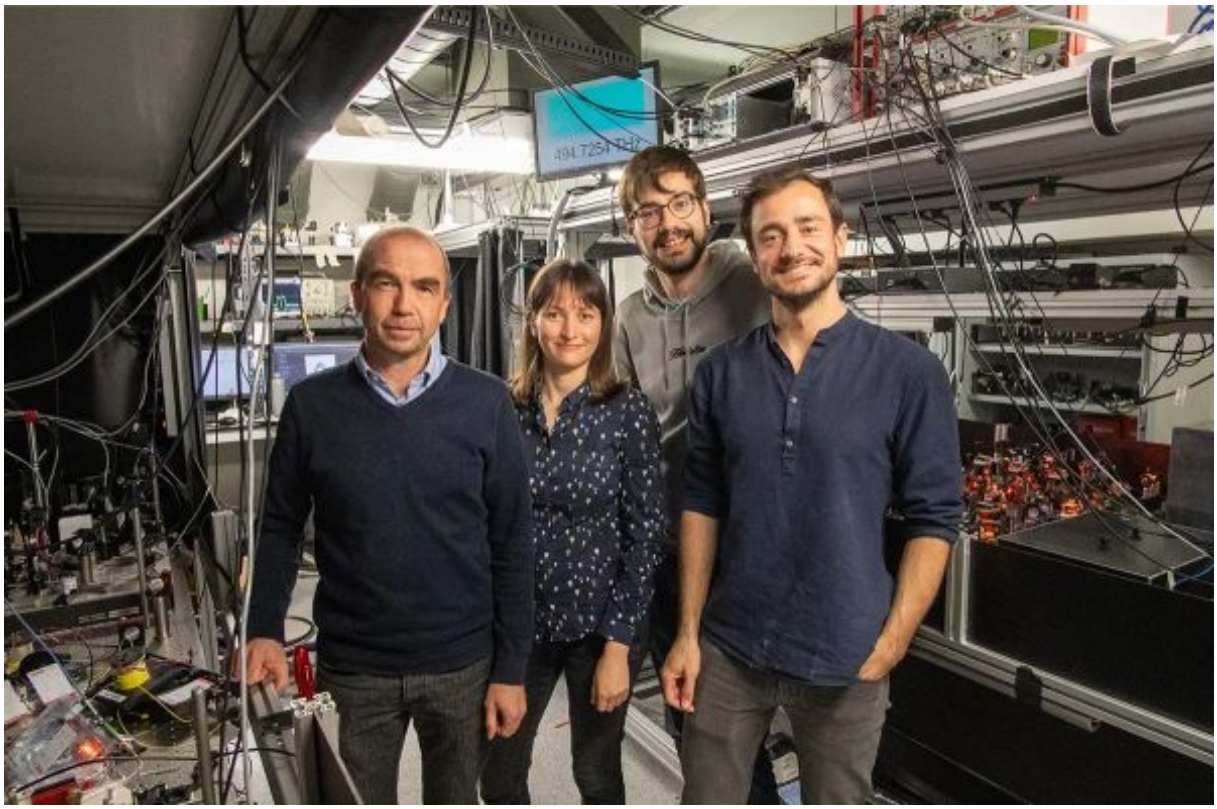


Teleportacion cuantica a larga distancia, posible gracias a memorias cuanticas multiplexadas

En un articulo publicado en Nature Communications, investigadores del ICFO logran demostrar teleportacion cuantica entre un foton y un qubit de estado solido a traves de una distancia de 1 km, utilizando memorias cuanticas multiplexadas.

April 19, 2023

La teleportacion cuantica es una tecnica que permite enviar informacion cuantica entre dos objetos cuanticos distantes, un emisor y un receptor, utilizando un fenomeno llamado entrelazamiento cuantico como recurso. La caracteristica unica de este proceso es que la informacion no se transmite mandando bits cuanticos (qubits) a traves de un canal de comunicacion que conecte a las dos partes; sino que la informacion se destruye en un lugar y aparece en el otro sin viajar fisicamente entre los dos. Este sorprendente fenomeno solo ocurre gracias al entrelazamiento cuantico y junto con la transmision de lo que hoy en dia conocemos como bits clasicos.

Hoy en dia existe un interes considerable en la teleportacion cuantica en el campo de las comunicaciones cuanticas y las redes cuanticas porque permitiria la transferencia de bits cuanticos entre nodos de la red a traves de distancias muy largas, utilizando el entrelazamiento previamente distribuido. Tal tecnica facilitaria la integracion de estas tecnologias cuanticas en redes de telecomunicaciones actuales y permitiria extender las comunicaciones ultra-seguras a distancias muy largas.
La teleportacion cuantica fue propuesta teoricamente a principios de los anos 90s y varios grupos de todo el mundo llevaron a cabo demostraciones experimentales. Si bien la comunidad cientifica ha adquirido una amplia experiencia sobre como realizar estos experimentos durante estos anos, todavia hay una pregunta abierta sobre como teleportar informacion de manera practica, permitiendo una comunicacion cuantica confiable y rapida a traves de una red extensa.
Dicha infraestructura deberia ser compatible con la red de telecomunicaciones actual. Ademas, para el protocolo de teleportacion cuantica se necesita que se aplique una operacion final sobre el qubit con la informacion teleportada, una caracteristica que se denomina i¿½**feed-forward activo**i¿½, para permitir que la transmision de la informacion e pueda hacer fielmente y a mayor velocidad. Para esto, el receptor debe poseer un dispositi o conocido como memoria cuantica que pueda almacenar el qubit sin degradarlo hasta que e pueda implementar la operacion final. Finalmente, esta memoria cuantica deberia pod r operar de manera i¿½multiplexada o multimodali¿½ para maximizar la veloci ad de teleportacion de informacion cuando el remitente y el receptor estan lejos. Hasta la echa, ninguna implementacion habia incorporado estos mencionados requisitos en la misma demostr
cion. En un estudio reciente publicado en Nature Communications, los investigadores del ICFO **Dario Lago-Rivera**, **Jelena V. Rakonjac** y **Samuele Grandi**, dirigidos por el Prof. ICREA del ICFO **Hugues de Riedmatten**, han logrado la teleportacion a larga distancia de informacion cuantica de un foton a un qubit de estado solido, es decir, un foton almacenado en una memoria cuantica multiplexada. La tecnica involucro el uso del feed-forward activo (esquema de prealimentacion activa), que, junto con la multimodalidad de la memoria, ha permitido maximizar la tasa de teleportacion. La arquitectura del experimento propuesta ha demostrado ser compatible con los canales de telecomunicaciones y, por lo tanto, permitiria la futura integracion y escalabilidad para la comunicacion cuantica de larga distancia.

Como conseguir teleportacion cuantica?

El equipo construyo dos estaciones experimentales, que en la jerga de la comunidad suele llamarse Alice y Bob. Ambas estaban conectadas por una fibra optica de 1 km enrollada en u carrete, para emular una distancia fisica entre las partes

Tres fotones estuvieron involucrados en el experimento. En la primera configuracion, Alice, e equipo uso un cristal especial para crear dos fotones entrelazados: el**primer foton a 606 nm**,

llamado foton **senal (foton 1)**, y el **segundo foton de 1436nm** llamado foton **inactivo (foton 2)**, compatible con la infraestructura de telecomunicaciones. Una vez creado, i¿½guardamos l primer foton de 606 nm en Alice y lo almacenamos en una memoria cuantica de esta o solido multiplexada, manteniendolo en la memoria para su procesamiento futuro. Al mis o tiempo, tomamos el foton de telecomunicaciones creado en Alice y lo enviamos a traves d l kilometro de fibra optica para llegar a la segunda estacion experimental, llamada Bobi? ½, recuerda Dario L
go. En esta segunda configuracion, Bob, los cientificos tenian otro cristal donde crearon un **tercer foton (foton 3)**, donde habian **codificado el bit cuantico** que querian teleportar. Una vez que se creo el tercer foton, el segundo foton de 1436nm llego a Bob desde Alice, y aqui es donde tiene lugar el peso del experimento de teleportacion.

Teleportando informacion a 1km de distancia

Los fotones 2 y 3 interfirieron entre si a traves de lo que se conoce como medicion de estado de Bell (BSM o Bell State Measurement en ingles). El efecto de esta medicion fue mezclar el estado de los fotones 2 y 3. Gracias a que el foton 1 y el foton 2 estaban entrelazados desde un principio; es decir, sus propiedades estaban correlacionadas, el resultado del BSM fue el de transferir la informacion codificada en el foton 3 al foton 1, almacenado por Alice en la memoria cuantica, a 1 km de distancia. Como mencionan Dario Lago y Jelena Rakonjac, i¿½somos capaces de transferir informacion entre dos fotones que nunca antes estuvieron n contacto, pero conectados a traves de un tercer foton que si estaba entrelazado con l primero. La singularidad de este experimento radica en el hecho de que empleamos u a memoria cuantica multiplexada capaz de almacenar el primer foton durante el tiem o suficiente para que, cuando el primer dispositivo, Alice, supiera que la interaccion hab a ocurrido, todavia pudieramos procesar la informacion teleportada tal y como lo describe l protocoloi?
½. Este i¿½procesamientoi¿½ mencionado por Dario y Jelena fue la tecnica de feed forward activo comentado anteriormente. Dependiendo del resultado del BSM entre los fotone 2 y 3, se aplico un cambio de fase al foton 1 despues del almacenamiento en la memoria. De esta forma, siempre se codificaria el mismo estado en el primer foton ya que, sin esto, la itad de los eventos de teleportacion tendrian que descartarse. Por otro
ado, la multimodalidad/multiplexacion de la memoria cuantica les permitio aumentar la tasa de teleportacion mas alla de los limites impuestos por la separacion de 1 km entre el os, sin degradar la calidad del qubit teleportado. Esto dio, como resultado, una tasa de teleportacion tres veces mayor que la de una memoria cuantica mono-modal, imitada principalmente por la velocidad del h

Escalabilidad e Integracion

El experimento realizado por este grupo en el ano 2021, donde lograron por primera vez

entrelazar dos memorias cuanticas multimodales separadas por 10 metros y anunciadas por un foton en la longitud de onda de las telecomunicaciones, ha sido el precursor de este experimento.

Como enfatiza Hugues de Riedmatten, ¡¿½la teleportacion cuantica sera crucial para permit r la comunicacion a larga distancia de alta calidad para el Internet cuantico del futuro. Nuest o objetivo es implementar la teleportacion cuantica en redes cada vez mas complejas, c n entrelazamiento previamente distribuido. La naturaleza de nuestros nodos cuantic s (multiplexada y de estado solido), asi como su compatibilidad con la red e telecomunicaciones, los convierte en un candidato prometedor para su implementacion a larga distancia en la red de fibra instaladai?

½. A pesar de tener estos resultados importantes, ya estan en marcha mejoras al experime to. Por un lado, el equipo se esta centrando en desarrollar y mejorar la tecnologia para exte der esta configuracion a distancias mucho mas largas manteniendo la eficiencia y las tasa de teleportacion mencionadas. Por otro lado, tambien apuntan a estudiar y utilizar esta tec ica para la transferencia de informacion entre diferentes tipos de nodos cuanticos, con el fi de poder establecer un futuro Internet cuantico que podra distribuir y procesar informa ion cuantica entre partes remo

as

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

