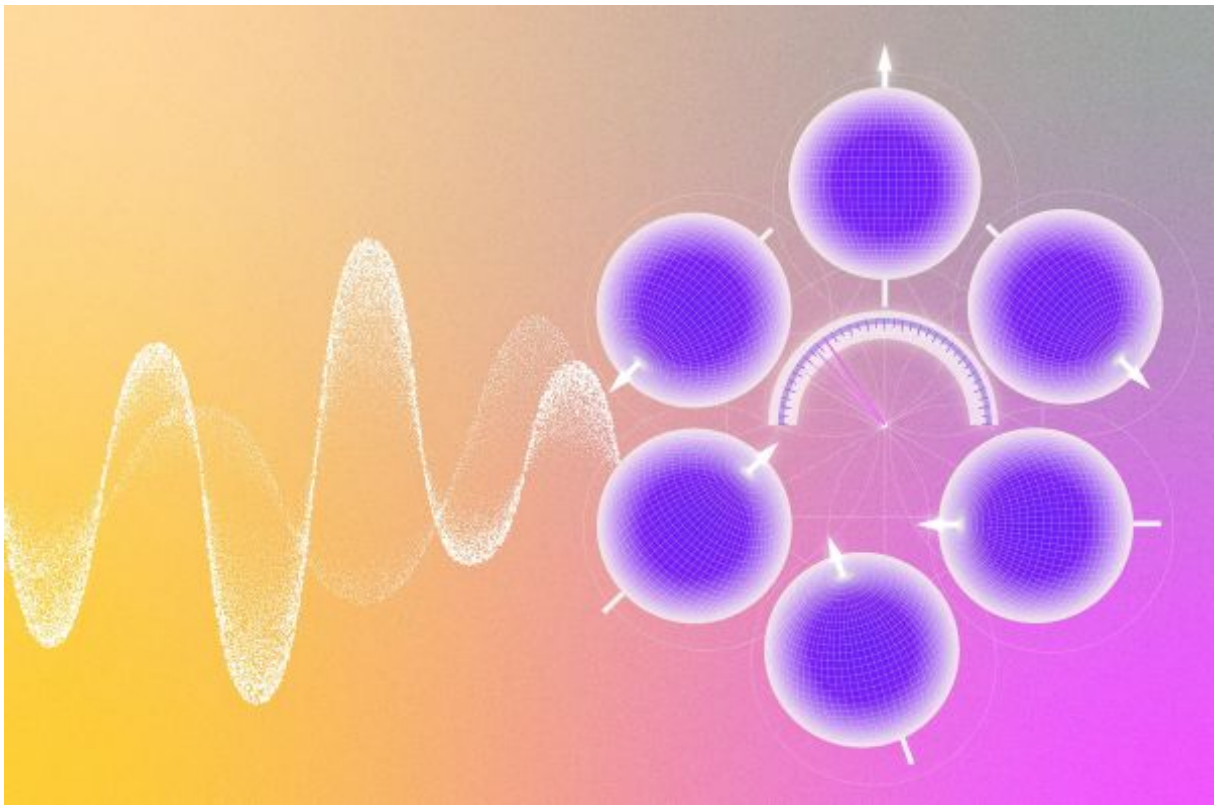

Retroaccion cuantica: de obstaculo a recurso

En un estudio recien publicado en Physical Review X, investigadores de ICFO cuestionan la vision convencional dentro del campo del aprendizaje automatico cuantico segun la cual la retroaccion cuantica (el efecto destructivo de la medicion sobre los sistemas cuanticos) es siempre problematica. En su lugar, demuestran que se trata de un recurso valioso cuando se controla adecuadamente. En particular, el equipo muestra como, ajustando la intensidad de las medidas, se puede mejorar la memoria y las capacidades predictivas del algoritmo de computacion de reservorio cuantico.

April 08, 2026

Una de las caracteristicas mas contraintuitivas de la fisica cuantica es la influencia de la medicion sobre el sistema observado. A menudo, se dice que medir un sistema cuantico provoca una importante perturbacion, colapsando su funcion de onda cuantica y eliminando instantaneamente la superposicion inicial. Sin embargo, este efecto extremo de retroaccion

ocurre con las llamadas mediciones proyectivas. Pero es posible realizar mediciones mas suaves que extraigan menos informacion sobre el sistema sin colapsar completamente su funcion de onda. Para lograrlo, el aparato de medida debe interaccionar de manera indirecta con el sistema; por ello estas se conocen como **mediciones indirectas**.

En una publicacion de Physical Review X, investigadores del ICFO, **Giacomo Franceschetto**, el **doctor Marcin P?odzien**, el **profesor Maciej Lewenstein**, el **profesor ICREA Antonio Acin**, y el **doctor Pere Mujal**, han demostrado ahora la **ventaja de las mediciones indirectas para tareas de aprendizaje automatico cuantico**. **Ajustando cuidadosamente la intensidad de las medidas**, los investigadores **optimizaron la cantidad de retroaccion** introducida en el sistema cuantico, **mejorando** significativamente el rendimiento de un algoritmo llamado **computacion de reservorio cuantico** (**QRC**, por sus siglas en ingles).

Hasta hace poco, muchos enfoques de QRC intentaban evitar las perturbaciones inducidas por las mediciones reiniciando el sistema despues de cada paso del procesamiento, o intentaban compensarlas mediante retroalimentacion clasica. En ambos casos, se trataba a la retroaccion de las medidas como una limitacion a minimizar o corregir, y no como un recurso a aprovechar.

En 2021, investigadores del Instituto de Fisica Interdisciplinar y Sistemas Complejos (IFISC) en Mallorca, incluyendo al doctor Pere Mujal, propusieron una alternativa: un protocolo en linea en el que el mismo reservorio cuantico procesa una secuencia de entradas sin tener que reiniciarse a cada paso, lo cual mejora la eficiencia del algoritmo.

En este enfoque, cada uno de los datos de una serie temporal se inyecta secuencialmente en el mismo reservorio cuantico. El sistema evoluciona, propagando la informacion a traves de sus interacciones internas, y las senales resultantes se leen mediante mediciones indirectas. La clave es que cuando se introduce un nuevo dato no se reinicia el sistema, de modo que la retroaccion de las mediciones anteriores permanece integrada en la dinamica del sistema. Repetir este ciclo para todos los elementos de la serie genera un conjunto de datos de caracteristicas medidas, que posteriormente se utiliza para entrenar un modelo clasico para, por ejemplo, predecir una serie temporal caotica.

En el estudio actual, el equipo del ICFO adopta este protocolo en linea y explora sistematicamente como la intensidad de las mediciones modifica el comportamiento del sistema. Demuestran que controlando cuidadosamente la perturbacion introducida por la medicion, la dinamica interna del reservorio se reconfigura, mejorando su memoria y optimizando la prediccion de senales complejas y caoticas. Este control permite que el algoritmo opere eficazmente en regimenes donde de otro modo tendria dificultades, transformando la retroaccion de la medicion, antes considerada una fuente de degradacion, en un recurso util.

"Aunque habitualmente se habia pensado que la retroaccion degradaba la memoria y la capacidad predictiva del reservorio, ahora demostramos que su contribucion puede ser positiva utilizando el protocolo en linea mallorquin", explica el doctor Pere Mujal,

investigador principal del estudio. "Esto representa un cambio conceptual en el campo, que pasa de ver la retroaccion cuantica como una limitacion inevitable a reconocerla como una herramienta puramente cuantica con gran potencial", anade.
Ahora el equipo pretende investigar el papel de la retroaccion en otros escenarios y colaborar con grupos experimentales para implementar su propuesta. Giacomo Franceschetto, primer autor del articulo, comparte: "Nos encantaria ver implementaciones concretas del protocolo en linea con mediciones indirectas ajustables, especialmente en plataformas de sistemas superconductores y fotonicos donde dicho control es factible, y demostrar el efecto de mejora que hemos descubierto."

Referencia:
Giacomo Franceschetto, Marcin P?odzien, Maciej Lewenstein, Antonio Acin, Pere Mujal, Harnessing quantum backaction for time-series processing, Phys. Rev. X, (2026).
DOI: https://doi.org/10.1103/j7f9-hfsj

Agradecimientos:
G.F. acknowledges support from i¿½la Caixai¿½ Foundation (ID 100010434) fellowship.
The fellowship code is LCF/BQ/DI23/11990070. This project has received funding from MICIN, the European Union, NextGenerationEU (PRTR-C17.I1), the Government of Spain (Severo O hoa CEX2019-000910-S and FUNQIP), the ERC AdG CERQUTE and the AXA Chair in Qua tum Information Science, the ERC AdG NOQIA, MCIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011 33, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB- 00, Plan National STAMEENA PID2022-139099NB, I00, the i¿½European Union NextGenerationEU/PRTR" (PRTR-C17.I1), FPI, QUANTERA MAQS PCI2019-111828-2, QU NTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded by European Union's H rizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733; Ministry for Digital Transformati n and of Civil Service of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project all - Quantum Spain project, and by the European Union through the Recovery, Transfor ation and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Digital Spai 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Socia Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, QuantumCAT U16-0 1424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Bar elona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-3-0024); Funded by the European nion. (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA PASQuanS2.1, 101113690, EU Horizo 2020 FET-OPEN OPTOlogic, Grant No 899794), EU Horizon Europe Program (This proje t has received funding from the European Union's Horizon Europe research and inno ation program under grant agreement No 101080086 NeQSTGrant Agreement 10108 086 - NeQST); ICFO Internal i¿½QuantumGaudii¿½ project; European Union's Ho

izon 2020 program under the Marie Sklodowska-Curie grant agreement No 847648; i¿?
La Caixai¿½ Junior Leaders fellowships, La Caixai¿½ Foundation (ID 100010434): CF/BQ/PR23/11980043.