Guía docente
2301117 - QBAP - Aplicaciones Cuánticas

Última modificación: 17/06/2023

Unidad responsable: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona
Unidad que imparte: 739 - TSC - Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Titulación: MÁSTER UNIVERSITARIO EN FOTÓNICA (Plan 2013). (Asignatura optativa).

Curso: 2023 **Créditos ECTS:** 3.0 **Idiomas:** Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: Juan P. Torres, professor at Signal Theory and Communications (TSC) Department, Universitat Politecnica de Catalunya (UCP), and Group Leader of Quantum Engineering of Light group at ICFO-Institute of Photonic Sciences

Otros: Juan P. Torres, professor at Signal Theory and Communications (TSC) Department, Universitat Politecnica de Catalunya (UCP), and Group Leader of Quantum Engineering of Light group at ICFO-Institute of Photonic Sciences

CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos básicos de algebra y teoría cuántica

REQUISITOS

Ningún requisito

METODOLOGÍAS DOCENTES

- Clases
- Resolución de ejercicios en clase

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

La teoría cuántica no es solo una gran invención del pensamiento humano, sino también, casi desde el principio, una fuente de nuevas tecnologías que acaban afectando la vida diaria de la gente en cualquier parte del mundo. El láser, el transistor, los relojes atómicos y la tomografía por emisión de positrones son ejemplos de esto, por mencionar algunas aplicaciones.
En las últimas décadas, un conjunto de nuevas ideas, que combinan la teoría cuántica y conceptos de Teoría de la Información, están encontrando su camino hacia su conversión en aplicaciones (Información cuántica). La idea de qubit sintetiza de manera precisa la manera peculiar en que la teoría cuántica considera la información. Algunos califican este estadio en el desarrollo de la teoría cuántica como una segunda revolución (ver Alain Aspect, John Bell and the second quantum revolution, prólogo para la nueva edición de Speakable and unexplicable in quantum mechanics, Cambridge University Press, 2004). Estas nuevas aplicaciones son posibles ahora por las extraordinarias mejoras que han tenido lugar en las última décadas en nuestra capacidad de generar, manipular y detectar con gran precisión una gran variedad de estados cuánticos de átomos y fotones.
El desarrollo de muchas de estas nuevas aplicaciones aún está en sus comienzos. Qué nivel de desarrollo alcanzarán, y que impacto tendrán en la Sociedad, es difícil de prever. Importantes empresas de tecnología, que basan su actividad en la Información, han creado equipos de investigación y desarrollo dedicados a la ciencia cuántica y sus aplicaciones, en especial a la computación cuántica: IBM (https://research.ibm.com/quantum-computing), Google (https://quantumai.google/), Microsoft (https://www.microsoft.com/en-us/quantum/). La Unión Europea tiene un programa dedicado a apoyar e incentivar el desarrollo de aplicaciones cuánticas (Quantum Technologies Flagship, 2018-2028).
El objetivo de este curso es desvelar que conceptos cuánticos fundamentales hacen especial una aplicación cuántica, y permiten obtener una mejor solución a un problema, cuando se compara con otras soluciones alternativas. Queremos resaltar lo que hace cuántica una aplicación cuántica. Con este propósito, consideraremos ejemplos relevantes, pero simples. Esto nos permitirá hacer análisis detallados, lo que facilitará la exploración de los cuántico de las aplicaciones cuánticas. Analizaremos aplicaciones cuánticas, sobre las que hay altas expectativas actualmente, en tres áreas de la tecnología de la información: comunicaciones cuánticas (comunicaciones seguras), sensores cuánticos y formación de imágenes cuánticas, y computación cuántica.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas aprendizaje autónomo	51,0	68.00
Horas grupo grande	24,0	32.00

Dedicación total: 75 h

CONTENIDOS

1. Introducción

Descripción:
1.1 Pensamiento cuántico con sabor de Teoría de la Información: Información cuántica.
1.2 Generación, manipulación y detección de estados cuánticos de átomos y fotones (Ingeniería cuántica).
1.3 Una visión general de aplicaciones cuánticas: comunicaciones, formación de imágenes con técnicas cuánticas y sensores cuánticos, computación y simulaciones.

Dedicación: 2h
Grupo grande/Teoría: 2h

2. Comunicaciones seguras (6 horas)

Descripción:
2.1 Ideas cuánticas: cuán discernibles son dos estados cuánticos y la imposibilidad de copiar fielmente información cuántica (no-cloning theorem).
2.2 La clave perfecta existe: el protocolo one-time pad y la cuestión de la distribución de la clave.
2.3 Seguridad gracias a quantum indistinguishability: El protocolo de distribución de clave cuántica de Bennet-Brassard (BB84).
2.4 Seguridad gracias a quantum entanglement: El protocolo de distribución de clave cuántica de Ekert (EK91).
2.5 Perspectiva sobre las aplicaciones: impedimentos técnicos que hay que vencer.

Dedicación: 6h
Grupo grande/Teoría: 6h

3. Quantum imaging y quantum sensing (8 horas)

Descripción:
3.1 Ideas cuánticas: estados cuánticos exóticos con propiedades particulares.
3.2 Quantum Fisher Information y Quantum Cramer-Rao bound (teorías de la estimación cuántica). Concepto de medida óptima.
3.3 Ejemplos: estados cuánticos NOON, el efecto Hong-Ou-Mandel, interferómetro atómico de Ramsey, interferómetro fotónico SU (1,1).
3.4 Simulando (parte) del mundo cuántico: protocolos clásicos inspirados por protocoles cuánticos.

Dedicación: 8h
Grupo grande/Teoría: 8h

4. Computación cuántica (8 horas)

Descripción:
4.1 Ideas cuánticas: principio de superposición (todo lo que puede pasar, pasará). Puertas lógicas cuánticas.
4.2 Ejemplos: algoritmo de Deutsch–Jozsa, boson sampling y el algoritmo de Shor.
4.3 Impedimentos técnicos que hay que vencer: la decoherencia

Dedicación: 8h
Grupo grande/Teoría: 8h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

1) Uno o dos breves exámenes escritos (40%)
2) Trabajos a realizar en casa, individuales o en grupo (60%)

BIBLIOGRAFÍA

Complementaria:
- Susskind, Leonard ; Friedman, Art. Quantum Mechanics: The theoretical minimum. New York: Basic Books, 2014. ISBN 9780465036677.
- Gisin; N. Quantum chance: nonlocality, teleportation and other quantum marvels [en línea]. Cham: Springer International Publishing, 2014 [Consulta: 04/07/2023]. Disponible a: https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1782235. ISBN 9783319054735.
- Cox, Brian; Forshaw, Jeff. The quantum universe. Da Capo Press, 2013. ISBN 9780306821448.
- Mermin, N. David. Quantum computer science: an introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. ISBN 9780521876582.
- Lipton, Richard J. ; Regan, Kenneth W. Quantum algorithms via linear algebra [en línea]. 2nd ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2021 [Consulta: 06/09/2023]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=6534503. ISBN 9780262362153.
- Kaiser, D. How the hippies saved physics: science, counterculture, and the quantum revival. New York: W.W. Norton & Co., 2011. ISBN 9780393342314.
- Haroche, S.; Raimond, J.-M. Exploring the quantum: atoms, cavities and photons. Oxford: Oxford University Press, 2006. ISBN 0198509146.
- Halpern, P. Einstein's dice and Schrödinger's cat: how two great minds battled quantum randomness to create a unified theory of physics. New York: Basic books, 2016. ISBN 9780465096831.
- Peres, Asher. Quantum Theory: Concepts and Methods [en línea]. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002 [Consulta: 26/06/2023]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/0-306-47120-5. ISBN 9781280609497.
- Gerry, Christopher C.; Bruno, Kimberley M. The quantum divide: why Schrodinger's cat is either dead or alive. Oxford: Oxford University Press, 2013. ISBN 9780199666560.
- Ball, P. Beyond weird: why everything you thought you knew about quantum physics is ... different. London: Vintage, 2019. ISBN 9781784706081.
- Furusawa, Akira. Quantum states of light [en línea]. Tokyo: Springer, 2015 [Consulta: 10/01/2024]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-4-431-55960-3. ISBN 9784431559603.
- Feynman, Richard P.. QED: the strange theory of light and matter. Princenton, NJ: Princenton University Press, 1985. ISBN 9780691083889.
- Le Bellac, M. The quantum world [en línea]. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2014 [Consulta: 07/07/2023]. Disponible a: https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8856#t=toc. ISBN 9789814522434.
- Nielsen, Michael A.; Chuang, Isaac L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambrodge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9781107002173.