

Procesamiento Cuántico de Datos

Docentes

Dr. Constancio Miguel ARIZMENDI (Responsable)

Dr. Omar Gustavo ZABALETA

Conocimientos previos

- No son necesarios conocimientos previos de mecánica cuántica
- Mecánica clásica
- Álgebra lineal
 - Vectores y Matrices
 - Producto interno
 - Autovalores y Autovectores
- Ciencia básica de la computación

Justificación y fundamentación del curso

En 1965 Gordon Moore, investigador de INTEL formuló la *Ley de Moore* que postula que la potencia de los microprocesadores se duplica cada 18 meses. La profecía de Moore se ha cumplido rigurosamente hasta la actualidad. Ya que el tamaño de los circuitos integrados decrece a la misma velocidad, la pregunta que surge es: cuáles son los límites físicos para las computadoras? Son factibles las computadoras cuánticas? Ya hace unos veinte años que se está investigando esta posibilidad desde la Física, la Electrónica y la Ciencia de las Computadoras. En lo que corresponde a hardware hay todavía muchos escollos que vencer tales como la escalabilidad o los cambios aleatorios que sufren los estados de los qubits debido a la interacción con el medio (decoherencia). Sin embargo, en el estudio de algoritmos cuánticos es donde se ha logrado los mayores avances en la posibilidad de resolver ciertos problemas de alta complejidad (**NP**) como por ejemplo la factorización de

números grandes que es de gran utilidad en criptografía, el reconocimiento de patrones, o la búsqueda de información en grandes bases de datos. Es más, la criptografía cuántica está ya en etapa lo suficientemente madura, lo que ha permitido su evolución desde los laboratorios hacia su comercialización.

En este curso se presentarán las características fundamentales de la computación cuántica: compuertas, algoritmos, teleportación, criptografía y corrección de errores. Este último punto es de vital importancia si se desea explotar al máximo todo el potencial que la computación cuántica puede ofrecer, ya que en un entorno real los causas de fallos son inevitables. El curso comienza con una introducción a la mecánica cuántica y a la ciencia clásica de las computadoras orientado al estudiante de ingeniería que cuenta con los conocimientos matemáticos necesarios y conocimientos básicos de física cuántica. En una segunda parte del curso se hace hincapié en la descripción de las compuertas cuánticas elementales y de los algoritmos básicos para culminar con un análisis más detallado de los algoritmos cuánticos más trascendentes, los cuales son en parte una de las razones principales por lo cuál existe cada vez más interés en el desarrollo de estas máquinas. En una última parte se analizan los posibles factores de error en el manejo de la información cuántica y los algoritmos de corrección de errores existentes. Con este fin, se comienza con una introducción a la teoría de la información clásica para luego hacer un paralelismo con teoría de de la información cuántica. Cada unidad cuenta con una guía de ejercicios con diferente grado de dificultad, algunos de los cuales serán discutidos en las clases, mientras que los restantes forman parte del estudio particular de cada alumno de los temas expuestos en las clases. En guías se incluyen también problemas en los que será necesario el uso de herramientas de software matemático del tipo MATLAB[©] u otro de similares características.

Objetivos del curso

Este curso tiene como objetivo el proveer al alumno de los conceptos fundamentales de la Computación Cuántica. Se busca además que el mismo concluya el curso con la capacidad de: comprender los algoritmos cuánticos existentes, poder seguir un circuito cuántico, entender el lenguaje utilizado en publicaciones que involucren los temas que aquí se desarrollan.

Programa Analítico

• *Introducción*

Las Computadoras y la Tesis de Church-Turing: Versión fuerte, modificación probabilística y formulación cuántica. Modelo de Circuitos. Universalidad. Física Cuántica y Computación. Ejercicios.

• *Formalismo de la Mecánica Cuántica*

Álgebra Lineal. La Notación de Dirac y los Espacios de Hilbert. Operadores. El Teorema Espectral. Producto Tensorial. Teorema de Descomposición de Schmidt. Operadores Adjuntos y Hermíticos. Conmutador. Postulados de la Cuántica.

• *Computación - Complejidad*

Modelos. Máquina de Turing. Circuitos. Clases de complejidad **P** y **NP**. Energía y Computación.

• *Computación Cuántica*

El Estado de un Sistema Cuántico. Esfera de Bloch. Evolución Temporal de un Sistema Cerrado. Sistemas Compuestos. Estados Mixtos. Matriz densidad. Operaciones Cuánticas. EPR y Desigualdades de Bell. Medición.

• *Algoritmos Cuánticos Básicos*

Compuertas de 1 qubit: NOT, HADAMARD, ROTACIÓN y de múltiples qubits: c -NOT, Toffoli, c -U, etc. El interferómetro. Compuertas Cuánticas Universales. Copia de Qubits. Kick-Back de Fase. Codificación Superdensa y Teleportación. Algoritmo de Deutsch. Algoritmo de Deutsch-Josza. Algoritmo de Bernstein-Vazirani.

• *Algoritmos con Aceleración Superpolinomial*

Estimación cuántica de Fase y la Transformada Cuántica de Fourier. Búsqueda de Orden. Subgrupo Oculto. Algoritmo de Grover. Factorización de enteros (Algoritmo de Shor). Acelerando problemas **NP** completos.

• *Información y Corrección de Errores*

Teoría de la Información Cuántica. Transmisión de información clásica a través de canales cuánticos. Entropía de Von Neumann. Transmisión de información cuántica en un canal sin ruido. Transmisión información cuántica en un canal con ruido: Causas principales de Error. Corrección de Errores Cuánticos.

Bibliografía

- **Quantum Computation and Quantum Information**

M.A. Nielsen, I.L. Chuang, *Cambridge University Press*, 2000

- **An Introduction to Quantum Computing**

P. Kaye, R. Laflamme, M. Mosca, *Oxford University Press*, 2007

- **Quantum Computing and Communications. *An Engineering Approach.***

S. Imre, F. Balázs, *Wiley*, 2005

Aprobación

Asistencia a clases y presentación de un trabajo a convenir con el estudiante. La presentación del trabajo se evaluará con nota de 0 a 10 y se considerarán aprobados aquellos cuya calificación sea mayor o igual a 4.

Frecuencia y Extensión de Clases

Dos meses de dos clases semanales.

UVACs

4 (Cuatro)

Horas

48 (Cuarentiocho) horas teóricas