



Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

Tutor/a: Carlos Pérez Espigares

Departamento y Área de Conocimiento: Electromagnetismo y Física de la Materia Condensada

Cotutor/a:

Departamento y Área de Conocimiento:

Título del Trabajo: Generalización cuántica de la red neuronal de Hopfield

Tipología del Trabajo:

(Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)

(Marcar con X)

1. Revisión bibliográfica	X	4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio	
2. Estudio de casos teórico-prácticos	X	5. Elaboración de un proyecto	
3. Trabajos experimentales		6. Trabajo relacionado con prácticas externas	

Breve descripción del trabajo:

La red neuronal de Hopfield es uno de los modelos paradigmáticos de memoria asociativa. Propuesta por John Hopfield en 1982, esta red neuronal de unidades binarias (que representan la actividad de las neuronas: activa o inactiva) está diseñada para que un número dado de patrones, o configuraciones del sistema, sean recordados. Esto se logra construyendo una función de energía tal que los patrones sean un mínimo de la misma. De esta manera la red neuronal ‘recordará’ un patrón si se le da una proporción versión distorsionada de dicho patrón, o dicho en términos físicos, la red convergerá al mínimo de energía si empezamos cerca del mismo. A pesar de ser tremendamente útil en el reconocimiento de patrones y recuperación de la información, la red de Hopfield presenta importantes limitaciones, como la capacidad limitada de almacenamiento y la sensibilidad al ruido en los patrones de entrada. Por este motivo, en los últimos años se ha intentado mejorar su rendimiento considerando su extensión al mundo cuántico, donde las unidades binarias pasan a ser estados cuánticos (qubits), o donde la regla de aprendizaje (regla Hebbiana) pasa a ser cuántica. Estas generalizaciones cuánticas de la red neuronal de Hopfield apuntan a una mejora significativa de su capacidad de almacenamiento entre otras ventajas. Con este trabajo se pretende por tanto estudiar los avances más recientes en esta línea de investigación.

Objetivos planteados:

- Inicialmente se estudiará el modelo de Hopfield y se hará un análisis del número de patrones almacenados para diferentes valores de la temperatura.
- Se hará una primera extensión cuántica del problema considerando la ecuación maestra cuántica abierta, a través de la cual se incluye el efecto de un campo magnético uniforme aplicado en la dirección x que, en ausencia de disipación, daría lugar a las oscilaciones de Rabi. De esta manera estudiaremos la competición de la dinámica disipativa de la red de Hopfield y la dinámica coherente introducida con el campo uniforme.
- Se derivará y se obtendrá la solución de campo medio de la dinámica resultante en el límite termodinámico. De esta manera podremos representar el diagrama de las fases correspondiente.
- Como objetivo más ambicioso, se intentará aplicar una regla Hebbiana cuántica para estudiar el aumento en el tiempo de recuperación de los patrones.



Metodología:

Para abordar el estudio que aquí se propone, se hará uso tanto de simulaciones por ordenador como de herramientas analíticas clásicas y cuánticas. Las simulaciones de la dinámica clásica de la red neuronal de Hopfield se realizará a partir de los métodos Monte Carlo en tiempo discreto aplicados a gases reticulares. Desde el punto de vista cuántico, se simulará la dinámica con el método de Monte Carlo de salto cuántico. A nivel analítico, se estudiará la ecuación de Lindblad, que describe la evolución de los sistemas cuánticos abiertos, así como su límite en campo medio. Su resolución numérica se llevará a cabo haciendo uso del análisis de estabilidad lineal de Lyapunov.

Bibliografía:

- 1) Hopfield J. J., 1982 Proc. Natl Acad. Sci. 79 2554
- 2) Amit D. J., Gutfreund H. and Sompolinsky H., 1985 Phys. Rev. A 32 1007
- 3) Breuer H. P. and Petruccione F., 2002 The Theory of Open Quantum Systems (Oxford: Oxford University Press)
- 4) Rotondo P. et al, 2018 J. Phys. A: Math. Theor. 51 115301
- 5) Rebentrost P. et al, 2018 Phys. Rev. A 98, 042308
- 6) Manzano D. and Torres J. J., 2023 arXiv:2305.02681

A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG

Alumno/a propuesto/a: Pablo Gallardo Calleja

Granada, 19 de Mayo 2023