

Review sobre inteligencia artificial fuerte con computación cuántica

Pedro Díaz García y Jose Caturla Palao

Universidad de Alicante

1. Introducción

La inteligencia artificial fuerte, también llamada inteligencia artificial general (IAG) o IA general, es una concepción teórica de la IA utilizada para describir un enfoque particular en el desarrollo de la inteligencia artificial. En el caso de lograr una IA fuerte, los investigadores aspiran a crear una máquina con una inteligencia equiparable a la humana, capaz de resolver problemas, aprender y planificar su futuro, dotada de autoconciencia.

El propósito de la IA fuerte es generar máquinas inteligentes que se asemejen a la mente humana. Similar a un niño, esta máquina de IA debería aprender a través de información y experiencias, evolucionando constantemente y mejorando sus habilidades con el tiempo.

1.1 Pruebas

A pesar de los esfuerzos de investigadores tanto en el ámbito académico como privado para desarrollar la inteligencia artificial general, actualmente solo existe como un concepto teórico sin una manifestación tangible. Algunos expertos, como Marvin Minsky, han sido criticados por ser demasiado optimistas respecto a los posibles avances en el campo de la IA en unas pocas décadas. Algunos incluso sostienen que es imposible desarrollar sistemas de IA fuerte. Este debate persistirá hasta que se definan explícitamente medidas de éxito, como la inteligencia y la comprensión. Por ahora, muchos utilizan el test de Turing como una forma de evaluar la inteligencia de un sistema de IA.

Test de Turing:

Ideado por Alan Turing en 1950. Este examen se centra en determinar si el comportamiento de una máquina puede distinguirse del de un humano a través de una serie de preguntas planteadas por un "interrogador". Si el evaluador no puede distinguir de manera fiable entre las respuestas generadas por la máquina y las respuestas humanas, la máquina pasa la prueba. Sin embargo, el test de Turing original solo evalúa habilidades específicas, como la salida de texto o el ajedrez.

Argumento de la habitación china:

Otro enfoque crítico es el Argumento de la habitación china propuesto por John Searle en 1980 propuesto por John Searle en 1980. Searle argumenta que los ordenadores nunca podrán comprender ni pensar, ya que los cálculos se definen de manera puramente formal o sintáctica, mientras que las mentes humanas poseen contenidos mentales o semánticos reales. Esta porción de su artículo resume su argumento:

"Los cálculos se definen de forma puramente formal o sintáctica, mientras que las mentes tienen contenidos mentales o semánticos reales, y no podemos pasar de lo sintáctico a lo semántico simplemente teniendo las operaciones sintácticas y nada más...Un sistema, yo, por ejemplo, no adquirirá una comprensión del chino simplemente siguiendo los pasos de un programa informático que simule el comportamiento de un hablante de chino (p. 17)".

1.2 IA fuerte vs IA débil

La IA débil, también conocida como inteligencia artificial limitada, se centra en realizar tareas específicas y limitadas. Está diseñada para realizar funciones particulares sin tener la amplitud de capacidades que se asocian con la inteligencia humana.

A diferencia de la IA fuerte, la IA débil es especializada en tareas específicas. Puede ser altamente efectiva en un dominio particular, como el reconocimiento de voz, la clasificación de imágenes o la traducción automática, pero no tiene la capacidad de generalizar su conocimiento a otras áreas.

La IA débil requiere la intervención y supervisión humana para definir parámetros, proporcionar datos de entrenamiento y ajustar el rendimiento del sistema. No tiene la autonomía ni la capacidad de aprendizaje independiente que se busca en la IA fuerte.

En resumen, mientras que la IA fuerte persigue la creación de máquinas con capacidades cognitivas amplias y autónomas, la IA débil se centra en tareas específicas y depende en gran medida de la dirección humana. Ambas formas de inteligencia artificial tienen aplicaciones valiosas en la actualidad, pero la IA fuerte representa un objetivo más ambicioso y desafiante en términos de replicar la complejidad de la inteligencia humana.

2. **Relación y descripción de los principales avances**

La Computación Cuántica se presenta como un catalizador de cambio en el campo de la IA. En su núcleo se encuentra el qubit, la unidad de información cuántica que puede existir en múltiples estados simultáneamente gracias a la superposición. Esta característica única permite que los cálculos se realicen de manera exponencialmente más rápida que en las computadoras clásicas. En esta sección, explicaremos cómo la computación cuántica tiene el potencial de impulsar la IA hacia niveles de inteligencia y eficiencia previamente inimaginables.

2.1 **Avances en el aprendizaje en computación cuántica**

Dentro del emocionante mundo del aprendizaje máquina cuántico, la innovación florece. Desde algoritmos cuánticos que mejoran la clasificación de datos hasta redes neuronales cuánticas que pueden revolucionar el aprendizaje profundo y el reconocimiento de patrones, nos adentraremos en el estado actual de estos avances y cómo están dando forma al futuro de la IA.

Quantum Support Vector Machines (QSVM)

Uno de los avances más notables en el aprendizaje máquina cuántico es el desarrollo de Quantum Support Vector Machines (QSVM). Las máquinas de soporte vectorial cuánticas aprovechan las ventajas de la computación cuántica para mejorar la clasificación de datos. A través de la transformación cuántica de datos de entrada, estos algoritmos pueden resolver problemas de clasificación de manera más eficiente que sus contrapartes clásicas. Esto es especialmente relevante en campos como la detección de fraudes, la clasificación de imágenes y la toma de decisiones en tiempo real.

Quantum Neural Networks (QNN)

Los Quantum Neural Networks (QNN) son otro avance emocionante en el aprendizaje máquina cuántico. Estas redes neuronales cuánticas aprovechan la superposición y la entrelazación cuántica para realizar cálculos de manera exponencialmente más rápida que las redes neuronales clásicas. A medida que los conjuntos de datos y los modelos de IA se vuelven más complejos, las QNN tienen el potencial de revolucionar el aprendizaje profundo y el reconocimiento de patrones. Esto podría llevar a avances significativos en aplicaciones como el procesamiento de imágenes, el procesamiento de lenguaje natural y la visión por computadora.

Aplicaciones en la Investigación Médica

Un campo donde los avances en el aprendizaje máquina cuántico prometen un impacto significativo es la investigación médica. La capacidad de analizar grandes conjuntos de datos de estudios genéticos con eficiencia es esencial para comprender las enfermedades y desarrollar tratamientos personalizados. Con el poder de la computación cuántica, los investigadores pueden abordar problemas complejos en biología, como la predicción de la estructura de proteínas y la identificación de marcadores genéticos para enfermedades.

La robótica médica también se beneficia de la IA cuántica. Los robots médicos impulsados por IA cuántica pueden llevar a cabo cirugías precisas y eficientes con un nivel de precisión sin precedentes. Imagina un futuro en el que los médicos trabajen junto con robots que pueden realizar procedimientos quirúrgicos complejos con una destreza incomparable, mejorando la atención médica y salvando vidas.

3. Relación de las líneas abiertas de investigación en el tema. Identifica al menos un trabajo científico de cada una de ellas publicado en los últimos 2 años

En esta sección vamos a ver ejemplos reales sobre los temas anteriormente mencionados.

3.1 Algoritmos Cuánticos para Aprendizaje Máquina

Los investigadores están desarrollando algoritmos cuánticos específicos para problemas de aprendizaje máquina, como regresión, clasificación, agrupación, y reducción de dimensionalidad. Estos algoritmos tienen el potencial de superar a los algoritmos clásicos en términos de velocidad y capacidad de procesamiento de datos.

Un trabajo sobre ello puede ser el de **Artificial intelligence and machine learning for quantum technologies** [6]. A lo largo del texto, se exploran varios temas relacionados con esta convergencia, incluyendo los siguientes aspectos principales:

1. **Introducción a la Computación Cuántica:** El documento comienza presentando conceptos básicos de la computación cuántica, como qubits, superposición y entrelazamiento. Destaca cómo la computación cuántica ofrece el potencial de resolver problemas de manera exponencialmente más rápida que las computadoras clásicas.

2. **Potencial de la Computación Cuántica para la IA:** Se examina cómo la computación cuántica tiene el potencial de revolucionar la IA, permitiendo abordar problemas de optimización complejos de manera más eficiente. También se mencionan las simulaciones cuánticas, que pueden desbloquear secretos en campos como la ciencia de los materiales y la química.
3. **Aprendizaje Máquina Cuántico:** El documento destaca cómo el aprendizaje automático cuántico es un área en crecimiento. Se mencionan avances en algoritmos cuánticos para el aprendizaje automático, como máquinas de soporte vectorial cuánticas y redes neuronales cuánticas, que pueden mejorar la clasificación y el reconocimiento de patrones.
4. **Algoritmos Cuánticos para Aprendizaje Máquina:** Se aborda en profundidad cómo los algoritmos cuánticos pueden aplicarse al aprendizaje automático. Esto incluye una discusión sobre la optimización cuántica y cómo los circuitos parametrizados cuánticos pueden utilizarse en algoritmos de aprendizaje automático.
5. **Aplicaciones Prácticas:** El documento explora aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático cuántico, como en la investigación médica, la traducción de lenguaje en tiempo real y la optimización de cadenas de suministro.
6. **Desafíos y Limitaciones:** Se reconocen los desafíos inherentes a la computación cuántica, como la decoherencia cuántica, y se discute cómo los científicos trabajan en soluciones, como la corrección de errores cuánticos y el desarrollo de hardware cuántico escalable.
7. **Sinergia entre Computación Cuántica y IA Clásica:** El documento subraya la sinergia entre la computación cuántica y la IA clásica, donde algoritmos híbridos combinan ventajas de ambos enfoques, con aplicaciones potenciales en logística, finanzas y ciencias sociales.
8. **Implicaciones Éticas y Societales:** El documento enfatiza la importancia de abordar las implicaciones éticas y sociales de la inteligencia artificial cuántica, incluida la privacidad de datos y la cooperación global.
9. **El Futuro de la Inteligencia Cuántica:** El documento concluye destacando la promesa de un futuro en el que la computación cuántica y la IA colaboran en solucionar algunos de los desafíos más apremiantes de la humanidad.

3.2 Quantum Support Vector Machines (QSVM)

Se ha encontrado algún documento sobre QSVM. En concreto uno de la Universidad de Alicante [7]. Este trabajo trata sobre la implementación de SVMs cuánticas. Este documento se podría resumir en:

Las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) son ampliamente utilizadas en el ámbito del aprendizaje automático para clasificación y regresión. La adaptación de SVMs a la

computación cuántica ha sido un tema de interés creciente en los últimos años, a pesar de la falta de hardware cuántico práctico que limite su aplicación a gran escala. En este trabajo de fin de grado se llevó a cabo una revisión bibliográfica centrada en los algoritmos cuánticos relacionados con las SVM.

En primer lugar, se presentaron las SVM y se proporcionó una comprensión de los fundamentos matemáticos que las respaldan, incluyendo algunas variantes y una evaluación de su carga computacional. También se exploraron algunas aplicaciones típicas de las SVM en diferentes contextos.

A continuación, se introdujeron conceptos clave de la computación cuántica necesarios para implementar las SVM de manera cuántica. Se explicó el funcionamiento de los ordenadores cuánticos, así como las compuertas cuánticas más relevantes. Además, se exploraron varios algoritmos cuánticos con el potencial de revolucionar la computación convencional y que se utilizan en las SVM cuánticas.

Finalmente, se examinaron los principales algoritmos identificados hasta la fecha para la implementación cuántica de las SVM. Estos algoritmos pueden ser completamente cuánticos o aprovechar las características de los ordenadores cuánticos para mejorar las SVM tradicionales.

3.3 Aplicaciones en la Investigación Médica

Se han encontrado varios documentos aunque el más interesante ha sido este documento [8] que se centra en la propuesta de un enfoque híbrido de cómputo cuántico y clásico para el estadiaje del Carcinoma Ductal Invasivo de Mama (IDC, por sus siglas en inglés), que es el tipo más común de cáncer de mama. Aquí tienes un resumen del contenido:

Contexto:

- El estadiaje del IDC es esencial para determinar la extensión del cáncer y guiar las decisiones de tratamiento.
- La computación cuántica se está utilizando para abordar problemas médicos, como el estadiaje del cáncer.

Propuesta de Solución:

- El documento propone un enfoque híbrido que utiliza cómputo cuántico y clásico para el estadiaje del IDC.
- Se utiliza un modelo de conocimiento basado en reglas clínicas, como el sistema TNM, que describe la extensión del cáncer.
- Se traducen las categorías del sistema TNM en entradas de qubits activados en el cómputo cuántico.
- Se utiliza un algoritmo cuántico para realizar inferencias y obtener una cadena de bits que representa las etapas de IDC compatibles.

Resultados del Experimento:

- Se realizaron experimentos preliminares en un simulador cuántico de IBM.
- Los resultados del experimento mostraron que el enfoque híbrido podría determinar las etapas de IDC de manera efectiva y compararse con las etapas esperadas.

Discusión y Conclusiones:

- Se destaca que la computación cuántica y la inteligencia artificial pueden revolucionar la medicina y mejorar la toma de decisiones clínicas.
- Se sugiere que la combinación de cómputo cuántico y clásico, junto con la inteligencia artificial, marcará el futuro de la informática en medicina.

En resumen, el documento presenta un enfoque híbrido de cómputo cuántico y clásico para el estadiaje del IDC, utilizando el sistema TNM y algoritmos cuánticos para inferencias. Se destacan los beneficios de esta combinación y se enfatiza la importancia de la evolución de la informática médica.

3.4 Quantum Neural Networks (QNN)

Este artículo *Learnability of Quantum Neural Networks* [9] explora la aplicación de las redes neuronales cuánticas (QNN) en el campo del aprendizaje automático y su comparación con las redes neuronales profundas (DNN). Destaca el impacto significativo de las DNN en inteligencia artificial, mencionando aplicaciones prácticas como la detección de objetos, respuesta a preguntas y recomendación social. Además, aborda la falta de comprensión teórica sobre cómo las DNN descubren relaciones intrínsecas debido a sus arquitecturas flexibles y paisajes de optimización no convexos.

Introduce el concepto de aprendizaje de máquina cuántico y las QNN como una extensión cuántica de las DNN. Se señala la similitud entre ambas, pero se destacan las diferencias clave, como la falta de funciones de activación no lineales en las QNN debido a la linealidad de la mecánica cuántica. Se explora el rendimiento empírico de las QNN en diversas tareas y se destaca su capacidad expresiva.

Patea dos problemas fundamentales en la comprensión de las QNN: la "trainability" y la "generalization". La trainability se refiere a la capacidad de las QNN para converger eficientemente hacia el mínimo global de la función objetivo de entrenamiento, y la generalization se refiere a su capacidad para producir hipótesis que se aproximen bien al concepto objetivo en problemas de aprendizaje específicos.

El trabajo aborda estos problemas desde una perspectiva teórica y empírica, destacando la falta de análisis rigurosos sobre el rendimiento de las QNN. Se propone un enfoque basado en la minimización empírica del riesgo (ERM) para evaluar la

trainability y se plantea la pregunta sobre la tasa de convergencia de las QNN hacia el minimizador del riesgo empírico.

En cuanto a la generalization, se discute la importancia de comprender la aplicabilidad de las QNN bajo diferentes paradigmas de aprendizaje y se propone analizar la generalización bajo el protocolo de aprendizaje estadístico de consultas cuánticas (QSQ).

Concluye con un esquema para la exploración teórica y empírica de la trainability y generalization de las QNN, destacando la relevancia de estos aspectos para el diseño de protocolos de aprendizaje cuántico más avanzados.

4. Potencial para el avance de la IA en computación cuántica

Potencial para el Avance de la Inteligencia Artificial en Computación Cuántica

La intersección entre la inteligencia artificial (IA) y la computación cuántica presenta un terreno fértil para avances significativos en ambas disciplinas. A medida que la tecnología de cómputo cuántico avanza, se abren nuevas posibilidades para mejorar la IA y, a su vez, la IA puede impulsar el desarrollo de aplicaciones cuánticas más eficientes. A continuación, se exploran las áreas clave en las que la IA puede potenciar la computación cuántica y viceversa:

1. Optimización Cuántica:

- La IA se utiliza para desarrollar algoritmos de optimización que pueden aprovechar el poder de la computación cuántica. Los algoritmos cuánticos, como el recocido cuántico y la búsqueda Grover, pueden resolver problemas de optimización de manera más eficiente que sus contrapartes clásicas.
- Aplicaciones de optimización como la planificación logística, el diseño de fármacos y la asignación de recursos pueden beneficiarse significativamente de esta combinación.

2. Aprendizaje Automático Cuántico:

- La IA y el aprendizaje automático pueden aprovechar la computación cuántica para acelerar el entrenamiento y la inferencia de modelos. Los circuitos cuánticos pueden representar y manipular información de manera más eficiente en ciertos casos.
- Los algoritmos cuánticos, como el algoritmo cuántico para máquinas de soporte vectorial (QSVM), pueden utilizarse para mejorar el rendimiento de modelos de aprendizaje automático.

3. Resolución de Problemas Cuánticos:

- La IA puede ayudar a desarrollar soluciones más efectivas para problemas cuánticos complejos, como la simulación de sistemas cuánticos y la factorización de números grandes. La aplicación de técnicas de aprendizaje profundo puede mejorar la precisión y la eficiencia de estas soluciones.
- La resolución de problemas cuánticos es esencial en campos como la química cuántica y la criptografía, donde se pueden lograr avances significativos mediante la colaboración entre la IA y la computación cuántica.

4. Investigación en Materiales Cuánticos:

- La IA puede acelerar la búsqueda y el diseño de materiales cuánticos con propiedades específicas. Esto es crucial para el desarrollo de tecnologías cuánticas más avanzadas, como qubits superconductores o puntos cuánticos.
- La predicción de propiedades de materiales con IA puede reducir la necesidad de costosos experimentos de laboratorio y acelerar la innovación en tecnología cuántica.

5. Seguridad Cuántica:

La combinación de IA y criptografía cuántica puede fortalecer la seguridad en comunicaciones y transacciones. Los algoritmos cuánticos se utilizan para crear sistemas de cifrado más robustos. La IA puede contribuir a la detección de amenazas y vulnerabilidades en sistemas cuánticos, asegurando la integridad de la información.

5. Conclusión

En conclusión, la inteligencia artificial fuerte (IA fuerte), que busca crear máquinas con capacidades cognitivas comparables a las humanas, sigue siendo un concepto teórico sin manifestación tangible en la actualidad. Aunque existen desafíos y debates en torno a su viabilidad, el Test de Turing se utiliza comúnmente como una medida para evaluar la inteligencia de los sistemas de IA. Además, el Argumento de la Habitación China de John Searle plantea cuestionamientos fundamentales sobre la comprensión y el pensamiento de las máquinas.

En contraste, la inteligencia artificial débil (IA débil) se enfoca en tareas específicas y no busca emular la amplitud de la inteligencia humana. Requiere la supervisión humana y se utiliza en aplicaciones especializadas, como el reconocimiento de voz o la traducción automática.

La computación cuántica tiene un gran potencial para impulsar la IA hacia niveles de inteligencia y eficiencia previamente inimaginables. Los avances en el aprendizaje cuántico, como Quantum Support Vector Machines (QSVM) y Quantum Neural Networks (QNN), están mejorando la clasificación de datos y el aprendizaje profundo. La computación cuántica también tiene aplicaciones en la investigación médica, la criptografía y la optimización de materiales.

En cuanto a las líneas de investigación abiertas, los algoritmos cuánticos para el aprendizaje automático y las aplicaciones en la investigación médica son áreas en constante evolución. La combinación de cómputo cuántico y clásico, junto con la inteligencia artificial, promete revolucionar la medicina y mejorar la toma de decisiones clínicas.

En resumen, la convergencia de la inteligencia artificial y la computación cuántica presenta un emocionante potencial para abordar problemas complejos en una amplia variedad de campos, desde la optimización hasta la medicina. A medida que ambas disciplinas continúan avanzando, es probable que veamos avances significativos en la inteligencia artificial y la tecnología cuántica en los próximos años.

Referencias

1. Akshay Ajagekar, Fengqi You, Quantum computing and quantum artificial intelligence for renewable and sustainable energy: A emerging prospect towards climate neutrality, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 165, 2022,112493, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112493>.
2. Keywords: Quantum computing; Artificial intelligence; Chemistry; Renewable energy; Sustainability; Climate-neutrality
3. Weigang, L., Enamoto, L.M., Li, D.L. *et al.* New directions for artificial intelligence: human, machine, biological, and quantum intelligence. *Front Inform Technol Electron Eng* **23**, 984–990 (2022). <https://doi.org/10.1631/FITEE.2100227>
4. Author, F., Author, S.: Title of a proceedings paper. In: Editor, F., Editor, S. (eds.) CONFERENCE 2016, LNCS, vol. 9999, pp. 1–13. Springer, Heidelberg (2016)
5. AI Odyssey: Unraveling the Past, Mastering the Present, and Charting the Future of Artificial Intelligence by [S. Begum](#) (Author)
6. Artificial intelligence and machine learning for quantum technologies, Mario Krenn, 1,* Jonas Landgraf, 1,2 Thomas Foesel, 1,2 and Florian Marquardt 1,2
1Max Planck Institute for the Science of Light, Erlangen 91058, Germany
2Department of Physics, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen 91054, Germany, (Received 7 August 2022; published 3 January 2023)
7. Quesada Pérez, Carlos, Máquinas de soporte vectorial cuánticas, URI: <http://hdl.handle.net/10045/135250>
8. Hybrid Classic-Quantum Computing for Staging of Invasive Ductal Carcinoma of Breast, [Vicente Moret-Bonillo](#), [Eduardo Mosqueira-Rey](#), [Samuel Magaz-Romero](#), [Diego Alvarez-Estevéz](#), [arXiv:2303.10142](https://arxiv.org/abs/2303.10142) [cs.AI]
9. Learnability of Quantum Neural Networks Yuxuan Du, Min-Hsiu Hsieh, Tongliang Liu, Shan You, and Dacheng Tao ,PRX Quantum 2, 040337 – Published 17 November 2021; Erratum PRX Quantum 3, 030901 (2022)