

07/11/2022

Qiskit Fall Fest 2022

Desafío 2: calibración de un circuito

Kevin Durán
Universidad de los Andes

Timothy Sandoval
Universidad de Carabobo

Miguel Luna
Universidad Católica Andrés Bello

Algoritmo de Grover

Introducción

Es un algoritmo cuántico de búsqueda que fue diseñado para encontrar un elemento x en un conjunto posible de soluciones, es decir, en una estructura de datos.

Esta estructura de datos posee una secuencia no ordenada con N componentes. Cuando buscamos datos específicos debemos tener un enunciado (función de configuración de búsqueda $f(x)$).

Un problema de búsqueda sobre una base de datos estructurada es aquel donde la información de nuestro espacio de búsqueda y nuestro enunciado f puede ser explotada para construir un algoritmo eficiente. Un ejemplo de búsqueda estructurada en una base de datos estructurada puede ser una lista de datos ordenada alfabéticamente.

Un problema de búsqueda sobre una base de datos no estructurada es aquel donde probamos aleatoriamente la veracidad de $f(x_i)$ elemento por elemento, siendo esto la única manera lógica de resolver el problema clásicamente.

Para un problema de búsqueda sobre un espacio no-estructurado de tamaño N se requieren clásicamente $O(N)$ evaluaciones de $f(x)$.

Grover demostró que en un computador cuántico este mismo problema de búsqueda sobre un espacio no estructurado puede ser resuelto con una probabilidad acotada en $O(\sqrt{N})$ evaluaciones de $f(x)$. Cabe destacar que el algoritmo de Grover hace la búsqueda más eficiente que con un algoritmo clásico, pero no la hace más sencilla.

El algoritmo de Grover ha sido ampliamente estudiado y sus aplicaciones más relevantes son en criptografía cuántica, redes neuronales cuánticas, y en inteligencia artificial cuántica.

Algoritmo de Grover

Asumamos que el tamaño de nuestra base de datos es 2^n , tal que $2 \leq n \leq 2^n$, siendo n cualquier entero $n > 1$.

Consideremos un observable $\hat{Q} \in H$, de dimensión $N \geq 2$. Este operador define un conjunto de bases ortonormales $|x\rangle = \{|0\rangle, |1\rangle, |2\rangle, \dots, |N-1\rangle\}$ con autovalores conocidos $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N-1}$ tal que $\hat{Q}|j\rangle = \lambda_j |j\rangle$, $j \in \{0, 1, \dots, N-1\}$.

Entonces podemos asociar un único auto estado $|x_j\rangle$, o autovalor λ_j , con cada ítem en la base de datos.

El problema de buscar en la base de datos se convierte ahora en el problema de medir un autovalor de interés al que llamaremos λ_ω , asociado con el estado $|\omega\rangle$, el cual representa algún específico ítem w en nuestra base de datos, y el cual deseamos encontrar usando el algoritmo de búsqueda de Grover.

Algunos autores suelen dar una receta aproximada a este algoritmo de la siguiente forma:

1. Preparar el estado inicial $|\Psi_0\rangle = |0\rangle^{\otimes} \otimes |1\rangle = |Registo 1\rangle \otimes |Registo 2\rangle$
2. Aplicar $H^{\otimes n+1} |\Psi_0\rangle = |S\rangle \otimes |S\rangle$
3. Determinar $f(x)$
4. Cambiar las amplitudes $\omega_j a - \omega_j$ para los x_j tales que $f(x_j) = 1$

5. Aplicar inversión sobre el promedio para incrementar las amplitudes de probabilidad de las X_j con $f_{(x_j)}=1$

6. Repite $[\frac{\pi}{4}\sqrt{N}]$ veces los pasos 1 al 4

7. Leer el resultado correcto

Explicación del desafío

En la computación cuántica el algoritmo de Grover es uno de los más interesantes en términos de fiabilidad computacional. Consiste en la realización de una búsqueda sobre una cierta cantidad de elementos representados por estados cuánticos de un sistema de una cierta cantidad de partículas. Uno de los estados es marcado mientras los demás son dejados como una superposición usual.

En el caso utilizado se realizó el proyecto utilizando un qubit de control y dos qubits target generando 4 estados target sobre los cuales realizar la búsqueda.

En las simulaciones realizadas para un Oraculo específico se logra ver que el algoritmo provee un 100% de amplitud sobre un particular estado de los cuatro posibles. Sin embargo al realizar esto sobre un hardware real se puede notar que en uno de ellos hay predominio claro de la amplitud de uno de los estados sobre el resto, sin embargo existe ruido como es de esperarse de los sistemas cuánticos.

A pesar de esto en otro de los hardwares utilizados se no se nota predominio claro de ninguno de los estados mostrando así que existen hardwares en los que ciertas compuertas o ciertos procesos no se dan de la misma manera o eficiencia de manera natural.

Dada la naturaleza inherentemente probabilística de los sistemas cuánticos es de esperarse que con la suficiente cantidad de intentos las tendencias se noten y los predominios de las probabilidades resulten claros (fidelidad o bajas incertidumbres). Esto lleva obviamente un costo computacional que en ocasiones es considerable (tiempos de computo).

Una de las herramientas que existe para la optimización de estos resultados es el trabajo con pulsos.

Tratamiento de circuitos con Qiskit pulses

Los pulsos permiten calibrar las compuertas sobre las que pasan los qubits permitiendo altos niveles de fidelidad. El trabajo con pulsos permite programar a

un "bajo" o "mediano" nivel en los computadores cuánticos permitiendo calibrar las compuertas y estudiar la fidelidad de los resultados a medida que la cantidad de qubits aumenta. Los primeros resultados con grandes cantidades de qubits generaban costos de cómputo que crecimiento exponencial y alta cantidad de error. Sin embargo es posible mitigar estos efectos mediante el uso de los pulsos.

Parte práctica

Aunque no se trabajó de forma directa con Qiskit Pulse en primera instancia se utilizaron los recursos de Qiskit para desarrollar el algoritmo y a su vez probarlo en simuladores y procesadores cuánticos del mismo. Se podría decir de cierta forma que para simular el algoritmo utilizamos los recursos y/o simuladores que se dieron para desarrollar en él, el reto. Que fueron:

FakeOpenPulse2Q
FakeOpenPulse3Q
FakeManila
FakeManilaV2

De tal forma se puede decir que el algoritmo se ejecutó en simuladores que trabajan con pulsos. Siendo una forma de utilizar en parte el Qiskit Pulse.

El algoritmo fue ejecutado con la calibración de compuertas con diferentes parámetros de un pulso gaussiano. Encontrando resultados ambiguos y no concluyentes para la ejecución del circuito en los simuladores para 1024 iteraciones por defecto.

Simulación con variación en las amplitudes

En el trabajo con amplitudes: amplitudes bajas generaron resultados diferenciables y coherentes en los histogramas según lo esperado por el simulador FakeOpenPulse3Q, amplitudes intermedias generaron valores diferenciables sin embargo no coincidieron con el valor simulado. De manera adicional, contrario a lo que podría esperarse, amplitudes altas generaron resultados diferenciables y diametralmente opuestos a los esperados por el simulador pues la amplitud esperada fue quien recibió menos aciertos durante la simulación.

Simulación con variación en las desviaciones

En el trabajo con sigmas: para un sigma igual a $\frac{1}{3}$ del valor 100 que era el valor total del pulso se obtuvo un histograma diferenciable en amplitudes de probabilidad según lo esperado por el simulador. Al realizar cambios para un

sigma igual a 10 es decir $1/10$ del valor de 100 se obtuvo un histograma diferenciable con valores distintos a los esperados por el simulador. Al realizar cambios y colocar sigmas de 5 respecto al valor de 100 que es valor total del pulso se obtuvieron resultados diferenciables distintos a los esperados por el simulador.

Conslusiones

En el momento de referirnos a resultados diferenciables nos referimos a resultados en un histograma donde algun estado cuantico tiene un claro predominio respecto a los demas.

Se pudo notar que las calibraciones realizadas generaban cambios suficientemente grandes en el sistema cuantico que lo obligaba a caer en un estado especifico a modo de observacion los estados eran obligados a caer en alguna de las bases pero de manera especifica.

Es posible que para utilizar adecuadamente los pulsos a modo de sintonizacion deban realizarse pruebas para obtener los resultados optimos que no generen cambios grandes en el sistema cuantico ni sezgo.