

Qubits y la Representación en la Esfera de Bloch

Beatriz Fresno Naumova

September 6, 2024

En la computación cuántica, los qubits son las unidades básicas de información, y su estado puede describirse mediante números complejos α y β . A continuación, exploraremos la representación matemática de un qubit, cómo los números complejos α y β se relacionan con probabilidades y cómo estos valores se visualizan en la Esfera de Bloch.

Representación de un Qubit

El estado de un qubit puede representarse como una combinación lineal de dos estados base $|0\rangle$ y $|1\rangle$:

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

Donde α y β son números complejos. El qubit puede estar en una superposición de estos dos estados, lo que significa que, antes de medirlo, está simultáneamente en ambos estados base con una probabilidad determinada por α y β .

Condición de Normalización: Suma de los Módulos al Cuadrado

Para que el qubit esté en un estado válido, la suma de los módulos al cuadrado de α y β debe ser igual a 1:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Donde $|\alpha|^2$ es la probabilidad de que el qubit colapse al estado $|0\rangle$ y $|\beta|^2$ es la probabilidad de que el qubit colapse al estado $|1\rangle$.

Interpretación Probabilística

El valor $|\alpha|^2$ corresponde a la probabilidad de que el qubit se encuentre en el estado $|0\rangle$ tras una medición, y $|\beta|^2$ corresponde a la probabilidad de que esté en $|1\rangle$.

Representación en la Esfera de Bloch

La Esfera de Bloch es una representación geométrica de un qubit, donde cualquier estado cuántico puro puede representarse como un punto en la superficie de la esfera. El estado $|\psi\rangle$ puede representarse mediante dos ángulos, θ y ϕ , que determinan la orientación del qubit en el espacio tridimensional:

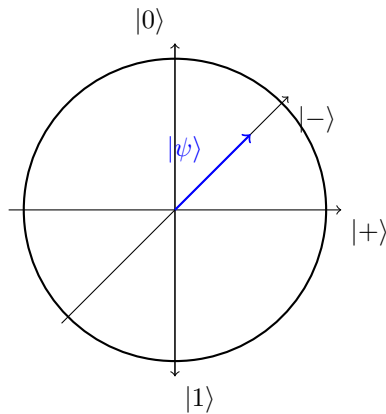
$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) |0\rangle + e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) |1\rangle$$

Donde:

- θ : Ángulo entre el vector que representa $|\psi\rangle$ y el eje z .
- ϕ : Ángulo de fase, que describe la rotación del vector alrededor del eje z .

En la Esfera de Bloch:

- El estado $|0\rangle$ se encuentra en el polo norte.
- El estado $|1\rangle$ se encuentra en el polo sur.
- Todos los demás estados cuánticos posibles están en la superficie de la esfera, en diferentes puntos dependiendo de los valores de θ y ϕ .



Colapso y Mediciones

Cuando se mide un qubit, su estado cuántico $|\psi\rangle$ colapsa a uno de los dos estados base, $|0\rangle$ o $|1\rangle$, con una probabilidad determinada por los coeficientes $|\alpha|^2$ y $|\beta|^2$.

En la Esfera de Bloch:

- Si el qubit está más cercano al polo norte (θ cercano a 0), es más probable que colapse a $|0\rangle$.
- Si el qubit está más cercano al polo sur (θ cercano a π), es más probable que colapse a $|1\rangle$.

Todos los demás estados en la superficie de la Esfera de Bloch pueden visualizarse como combinaciones lineales de $|0\rangle$ y $|1\rangle$, con probabilidades intermedias de colapsar hacia uno de los dos estados base dependiendo de la posición en la esfera.

Conclusión

La representación matemática de un qubit como una combinación lineal de $|0\rangle$ y $|1\rangle$, junto con la interpretación probabilística de los coeficientes α y β , nos proporciona una comprensión profunda de los qubits. La Esfera de Bloch nos permite visualizar el estado de un qubit y su evolución en el espacio tridimensional, donde el estado $|0\rangle$ está en el polo norte, $|1\rangle$ en el polo sur, y los demás estados en la superficie de la esfera.