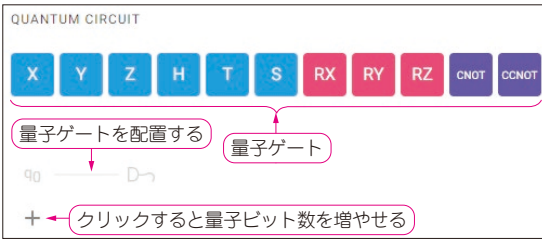
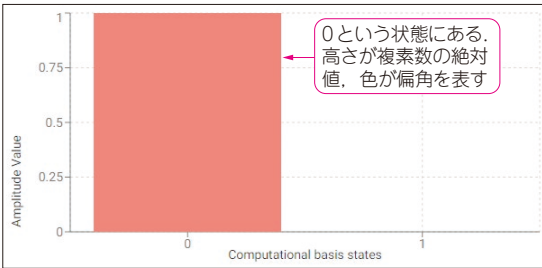


GUIで量子コンピュータ入門

藤井 啓祐



(a) 量子ゲートを配置して量子回路を作る部分。[+] ボタンをクリックすることで量子ビット数を増やすことができる



(b) 複素確率振幅が可視化される領域。高さが複素数の絶対値、色が偏角を表す

図1 量子状態を可視化するGUIの表示画面

第2章では量子コンピュータにおけるプログラミング方法や応用例を解説します。視覚的に分かりやすくするためにGUIでプログラムできる量子コンピュータ・シミュレータで動作を確認しながら解説します。

量子ゲートを使ったプログラミング

● 情報の最小単位…量子ビットの表し方

▶ 1量子ビットの場合

古典コンピュータでは0と1の2値をとる変数=ビットによって情報が表現されています。量子コンピュータでは、重ね合わせの原理が許されているため、0と1が重ね合わさった状態をとることが許されています。このような状態は、2次元の複素ベクトルとして

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.1)$$

と表されます。ここで、1つ目の要素 α が0をとる重み、2つ目の要素 β が1をとる重みに対応しています。これら2つの複素数は複素確率振幅と呼ばれ、 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ を満たします。

次のように必ず0または1をとる状態単位ベクトル、

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

を定義すると、

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \dots\dots\dots(2.3)$$

と書くことができます。つまり、古典ビットを単位ベクトルに対応させ、それらのベクトルの線形結合として重ね合わせ状態が記述されるのです。

式(2.3)の量子ビットを1量子ビットと呼びます。1量子ビットの場合、対応する1古典ビットは2つの状態をとるので2次元の複素ベクトルで表せます。

▶ n 量子ビットの場合

n 量子ビットの場合はどうなるのでしょうか。 n 古典ビット列は全て0から全て1までの 2^n 個の異なる状態のパターンがあります。量子の世界ではこれらを重ね合わせる事ができるので、それぞれを単位ベクトルとして定義される 2^n 次元の複素ベクトルとして n 量子ビットの状態が次のように定義されます。

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= c_{0\dots0}|0\dots0\rangle + \dots + c_{1\dots1}|1\dots1\rangle \\ &= \begin{pmatrix} c_{0\dots0} \\ c_{0\dots1} \\ \vdots \\ c_{1\dots1} \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.4) \end{aligned}$$

● 量子状態の可視化にはGUIを使ってみる

このような高次元の複素ベクトルを直感的にイメージすることはわれわれ専門家でも難しいです。今回は、理解の助けのために、量子回路を構成し状態を可視化するGUI(グラフィカル・ユーザ・インターフェース)。

<https://qulacs-gui.github.io/qulacs-simulator/>

を活用してみます。

図1(a)が、量子回路を作るための画面です。[+] ボタンをクリックすると量子ビット数を増やせます