

補助 qubit を使った量子状態推定

國安 京

2008 年 2 月

概要

現在、私たちの生活にコンピュータの存在を切り離して考えることが出来ないほど、その関係は密接なものとなっている。そしてその役割は日々重要さを増し、生活全体に広く浸透している。その現在のコンピュータを凌ぐ処理能力を持つコンピュータがある。それは量子コンピュータと呼ばれ、未だ実験段階にあるが、その実現に向け様々な努力がなされ実用化に期待が高まっている。この量子コンピュータは現在使われているコンピュータとは異なり、量子力学に従い、量子情報理論によって記述される。

現在のコンピュータはその最小単位にビット (bit) が用いられ、ビットは 0 または 1 の状態をとる。これに対して量子コンピュータの最小単位には量子ビット (qubit) が用いられ、0 または 1、さらには 0 と 1 の重ね合わせの状態もとる。この重ね合わせの状態にある qubit を複数利用することによって、従来の計算機では成し得なかった並列性を実現する。量子もつれ合い (非局所性) 状態も量子情報理論には用いられる。これを量子エンタングルメントとも呼び、量子テレポーテーションや、盗聴不可能な量子暗号などに応用される。なお、今回はこの量子エンタングルメントについては本文中では扱わない。

量子力学において、もう 1 つ重要となってくる性質がある。それは、測定を行うことでその対象の状態は壊れ、測定の結果は確率的に現れる、ということである。これは古典力学ではみられない特徴的な性質であるが、量子コンピュータにおいてもまた、これは同様に現れる。では、qubit の状態が 0 なのか、1 なのか、または 0 と 1 の重ね合わせた状態なのか。その状態をどのようにして知ることができるであろうか。

そこで、本論文では状態がわからない qubit を測定したときに、その結果からどのように状態を推定するかという量子状態推定について議論する。そして、推定した状態がどれだけもとの状態の qubit に忠実であるかを示す忠実度をできるだけ大きくする推定方法について調べる。

昨年度の出口智美氏による卒業研究で、qubit が 1 つ与えられた場合、それから同じ状態にある qubit が複数 (2 つ、3 つ、4 つ) と与えられた場合のある 1 つの測定方法での忠実度が求められた。今回はこの出口氏の結果を受けて、はじめにある同じ状態にある qubit が 2 つ与えられた場合の忠実度について、さらに大きくなるような推定方法を考える。ある同等な qubit が 2 つ与えられた場合に、この qubit の状態を推定するための測定には 3 種類の方法がある。(1) その 2 つの qubit をそれぞれ測定する方法、(2) 2 つを 1 つの系とみなして測定する方法、(3) 補助 qubit を加え 3 つを 1 つの系とみなして測定する方法である。出口氏によって、(1) 別々に測定する方法での忠実度が求められている。この結果から、2 つを別々に測定するよりもこれらを 1 つの系とみなし、全体を測定する方がより大きな忠実度が得られるのではないかと、という予想を立てた。そこで、qubit が 2 つ与えられた場合の (2)、(3) の測定方法によって状態推定したときの忠実度を求め、この結果を比較した。

(2) 2 つの qubit を 1 つの系とみなして測定を行った場合に、この忠実度を求める一般式を導いた。ところが、これを最大とするような測定する正規直交基底を見つけることが出来なかった。これより、(3) 補助 qubit を用いての測定を考えた。(2) で求めた一般式を応用してそのときの忠実度を求めた。このとき、その測定が大きくなるように測定に用いる正規直交基底を選んだ。するとその結果、(1) のときよりもわずかながらも大きな忠実度を得ることができた。

しかし、当初の目的であった (2) の測定によって (1) の忠実度を上回ることができなかった。今後の課題として、(1) の結果を上回るような (2) の場合の測定を見つけること、さらには (3) 補助 qubit を使った場合においても、その測定に用いた正規直交基底の選び方によってより大きな忠実度が得られる可能性を追求することなどがある。