

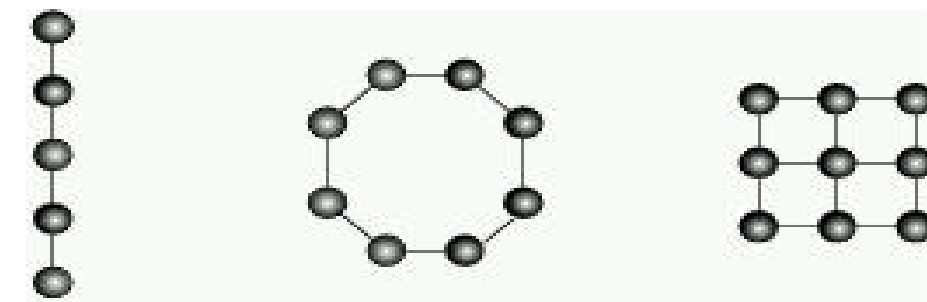
ネットワーク系における量子アルゴリズム

(金沢大理) ○坂本功、山口智也、長尾秀実、西川清

【序】量子コンピュータとは、量子力学の原理に基づく全く新しい計算機である。量子コンピュータを実現できれば、従来のコンピュータでは計算時間がかかりすぎて解けない問題も、高速に解くことができると考えられている。従来のコンピュータでは、ビットは0あるいは1のどちらかしか表現できなかったが、量子コンピュータのビット(量子ビット)は $|0\rangle$ と $|1\rangle$ の重ね合わせ状態を実現でき、それによって超並列計算を可能にする。N量子ビットを用いたなら 2^N 通りの状態を実現できる。例えば、2量子ビットなら $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$ の4通りの状態を同時に取り扱うことができる。この重ね合わせ状態と1量子ビットと2量子ビット間の任意のユニタリー変換が実現できれば、量子コンピュータが実現できるといわれている。

1994年、Shorによる量子コンピュータによる素因数分解アルゴリズムの発見によって、量子コンピュータが全世界で注目を浴びるようになった[1]。以来、ハードウェア実現のための実験的な研究も活発化するようになった。実際には量子コンピュータを実現するために候補となるハードウェアが数多く考えられている。その中でMITのIssac ChuangらによるNMR量子コンピュータ[2]における7量子ビットの実装が最先端であるが、実用的な数十量子ビットの実現の道筋は現段階では分かっていない。その原因として量子ビットの拡張性が困難であるということが挙げられる。実際に量子コンピュータを実用化するには多くの量子ビットを集積化する必要がある。そこで、現在注目されているのがJST、NTTやNECによって研究されている電子スピン[3]、量子ドット[4]や超伝導クーパ対[5]などの固体ナノデバイスを用いた量子コンピュータである。固体ナノデバイスでは量子ビットの拡張は易しいが、拡張に伴って量子ゲート数も増えていくのでコヒーレンス時間の短縮や2量子ビット間のユニタリー変換の実現が問題となってくる。その問題を解決する方法として量子誤り訂正や量子ゲートの最適化などが考えられている。そこで、本研究では遺伝的アルゴリズムを用いて固体ナノデバイスにおける量子ゲートの最適化を試みる。

【方法】GAとは系に存在する複数のパラメータを生物界の遺伝の方則を利用して変化させ、ある問題の最適解を求めようという手法である。GAの手順として、コーディング、初期集団の生成し、評価、選択、交叉・突然変異を繰り返し最適解を求める。本研究の場合、まず固定長の遺伝子の列とアダマール変換やC-NOTなどの量子ゲートとを対応づけるコーディング作業を行う。次に初期集団を生成するために、乱数を利用して遺伝子配列からなる個体群を生成させ遺伝子列で表される量子回路を計算する。その計算結果が求めたい解か、あるいはその解に近いのか、また量子ゲートの数などで個体群を評価の高い順に並べ評価の低い個体群を淘汰する。そして、評価の高い個体群同士の遺伝子を交叉、突然変異させ新しい個体群を先程淘汰した分だけ生成し、また評価するという作業を繰り返し最適解を求める手法をとる。



1次元型

円型

2次元型

図 1

固体ナノデバイスでは、相互作用は隣り合った量子ビット間でしか働かない。よって、遠く離れたところとの相互作用、つまり **C—NOT** を実現するには **Swap** ゲートを用いてその 2 量子ビット間のユニタリー変換を実現する。しかし多量子ビットにおける **C—NOT** を考えたとき、**Swap** ゲートの増加により計算ステップ数も増え、デコヒーレンスが効いて量子計算が不可能になる。

これを防ぎ、できるだけ高い確率で解が求められるような最適な量子ゲートを **GA** を用いて生成する。また、量子ビットの配列についても考える。現在考えられている配列として、図 1 のように量子ビットを 1 列に並べる 1 次元型が通常用いられるが[6]、本研究では図 2 のような縦横に並べる 2 次元型、円型など様々な配置についても考える。これらのモデルで多量子ビットの相互作用を考える時、1 次元型では隣り合う量子ビットが 2 個だが、2 次元型では 4 個になるので **Swap** ゲートが少なくすむことで 1 次元型より簡単な量子ゲートが生成されることが考えられる。また様々な量子ビットの配置における量子ゲートを比較し、ナノデバイスでの量子ビット間の相互作用と量子計算との相関などを検証する。詳細は当日報告する。

参考文献

- [1] P.W. Shor, SIAM J. Comput,(1997) 1484.
- [2] L.M.K. Vandersypen, M. Steffen, G. Breyta, C.S. Yannoni, M.H sherwood and I.L. Chuang, Nature,(2001) 883.
- [3] J.M.Kikkawa, I.P. Smorchkova, N. Samarth and D.D. Awschalom, Science,(1997) 1284.
- [4] H. Kamada, H. Gotoh, J. Temmyo, T. Takagahara and H. Ando, Phys. Rev. Lett,(2001) 246401.
- [5] Y. Nakamura, Yu.A. Pashkin and J.S. Tsai, Nature, (1999) 786.
- [6] ALEXandre Blais, Phys. Rev. A,(2001) 022312.