

局所場応答による基底状態探索演算

Ground State Searching Computation by Local Field Response

日立中研 ○戸丸 辰也

Hitachi, Central Research Laboratory, ○Tatsuya Tomaru

E-mail: tatsuya.tomaru.yq@hitachi.com

はじめに：量子アニーリング[1]や断熱量子計算[2]といった演算法は元々古典的な方法論に量子纏れやトンネル効果といった量子力学的な効果を付加することにより性能向上を図ろうとしたものである。元々が古典的なのでゲート型の量子コンピュータのように 100%の量子性が保障されていなくても動作可能である。そこで現実的立場を推し進め、古典的なマシンに量子力学的な因子を付加する方法を提案する。

原理：断熱量子計算と同様に $t=0$ で横磁場を印加し($H_0 = -\gamma \sum_j \sigma_j^x$)全スピンを x 方向に揃える (基底状態)。その後、 $t=\tau$ で問題設定のハミルトニアン($H_p = -\sum_{ij} J_{ij} \sigma_i^z \sigma_j^z - \sum_j g_j \sigma_j^z$)の基底状態になるように状態を徐々に移行させる。古典的な運用を考え、時間軸を離散的にし、各サイトのスピンはサイトごとに局所場に従い時間発展させる (図 1)。量子力学的期待値と応答関数 $r_j(t)$ を使って定式化すれば $\langle \sigma_j^z \rangle / \langle \sigma_j^x \rangle = r_j(t) \langle B_{\text{eff},j}^z \rangle / \langle B_{\text{eff},j}^x \rangle$ である。量子力学的な相互作用がない場合はスピンの向きは磁場に追従するので $r_j(t) = 1$ である (古典的)。このような時間発展は原理的に簡単であるが、基底状態に留まることが保障されない。そこで、断熱時間発展する (基底状態に留まる) ように $r_j(t)$ を決めることを考える。

シミュレーション：まず、断熱時間発展の様子を調べるために時刻 t の基底状態を 8 ビット系において数値計算した。スピンの向きは xz 面内に留まるので応答関数として $r_b(t) = s_{zx} / B_{zx}$ ($s_{zx} = \langle \sigma_j^z \rangle / \langle \sigma_j^x \rangle$, $B_{zx} = \langle B_{\text{eff},j}^z \rangle / \langle B_{\text{eff},j}^x \rangle$) を利用した。 $t = 0.15\tau$ の $r_b(t)$ を図 2 に示す。ばらつきは大きいながらも平均的な傾向は見られる (丸印)。量子力学を完全に反映した $r_b(t)$ を古典的なマシンで実現することは困難であるが、平均的な $r_b(t)$ ならば実現可能である。また、 J_{ij} 及び g_j の分布の情報から平均的な $r_b(t)$ をある程度推定できる (図 2 の実線)。推定した $r_b(t)$ を使って局所場応答演算をシミュレートしたところ正解率 90% 程度を得た。 $r_b(t) = 1$ の古典的な場合は 84% 程度の正解率であった。

謝辞：本研究の一部は文部科学省 イノベーションシステム整備事業の支援により遂行された。

[1] T. Kadowaki and H. Nishimori, Phys. Rev. E 58, 5355 (1998).

[2] E. Farhi, J. Goldstone, S. Gutmann, J. Lapan, A. Lundgren, and D. Preda, Science 292, 472 (2001).

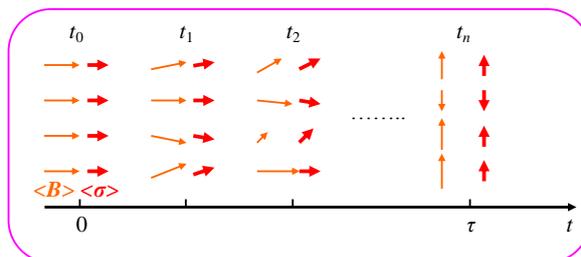


Fig. 1. Schematically described local field response method.

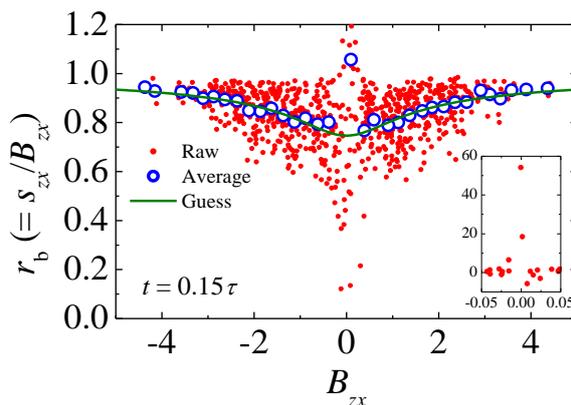


Fig. 2. Plots of $r_b(t = 0.15\tau)$ for 100 kinds of problems, where 8-bits system was adiabatically time-evolved. Points show raw data. Circles show values averaged in each region of horizontal 40 divisions. Line was guessed from the distribution of J_{ij} and g_j that were random numbers of $[-5, 5]$.