

学生番号	17232017	氏名	上田天馬
論文題目	超伝導体内の量子化磁束運動を利用したリザーバーコンピューティングに関する研究		

1. はじめに

2次元の時間依存 Ginzburg-Landau 方程式をアフィン変換数値積分法(AFI法)によって解き、プログラム実装することで量子化磁束およびそれに係る電磁現象の時間変化の様子を可視化した。また、印加電流を周期的に変化させたときの超伝導体内において、印加電流を入力に、複数の地点における電界の時間変化をリザーバー層のノードとしてリザーバーコンピューティングにより出力波形の予測を行い、NMSE (Normalized Mean Square Error)を算出することで予測の精度を確認した。

2. 計算方法

TDGL 方程式を AFI 法で実装する。初期条件、更新式に従い、座標 $(i, j)$ におけるオーダーパラメータ $\psi_{i, j}$ を更新する。時間刻み幅 $\tau$ を決めておき、 $\tau$ ごとに $\psi_{i, j}$ の描画を行った。

2次元超伝導領域において、 $y$ 方向に印加する電流値を正弦波的に変化させたとき、ランダムに場所を決めた $n$ 箇所の電界の組をリザーバー層のノード $X_n(t)$ とし、教師データの出力 $Y_r$ を正弦波、三角波、矩形波、鋸波とした。

$$W_{out} = (Y_r X^T)^T \quad (1)$$

で出力重みを求める。ここで

$$X^{-1} = (X^T X)^{-1} X^T \quad (2)$$

であり、これを疑似逆行列という。

以上より出力の予測値

$$Y(t) = \sum_{k=1}^n W_{out, k} X_k(t) \quad (3)$$

を求めた。

また、出力と予測値の差を表す指標として、

$$NMSE = \frac{\sum_{k=1}^n \{Y(t_k) - Y_r(t_k)\}^2}{\sum_{k=1}^n \{Y_r(t_k)\}^2} \quad (4)$$

を計算した。これが小さいほど予測の精度が良いといえる。

3. 結果と考察

まず、AFI で二次元超伝導領域の可視化実装を行った。量子化磁束が動く様子が観測できた。

次に、リザーバーコンピューティングにおける出力予測について、教師データを三角波とし、150箇所の電界の時間変化をとったときの出力の様子を Fig. 1 に示す。

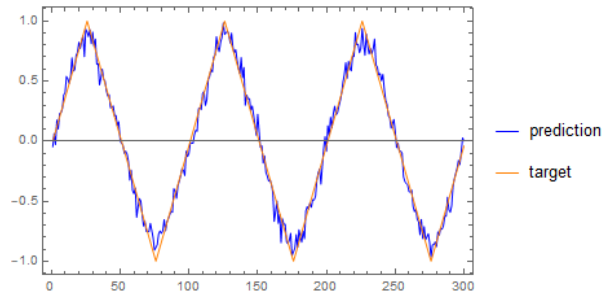


Fig. 1 リザーバーコンピューティングによる三角波の学習 ( $n = 150$ 、シミュレーション範囲  $1500\tau, 1501\tau, \dots, 1799\tau$ )

次に、正弦波、三角波、矩形波、鋸波について、抽出する電界の数を50、100、...、350と変化させたときのそれぞれのNMSEを Fig. 2 に示す。どの波形についても、電界の抽出数が多いほどNMSEが小さくなった。また、NMSEは鋸波、矩形波、三角波、正弦波の順番で大きくなった。鋸波、矩形波、三角波は正弦波を合成してできる波形で、高調波成分をふんだんに持つ波形ほど式(3)のように和で表現するのが困難で、誤差が大きくなったと考える。

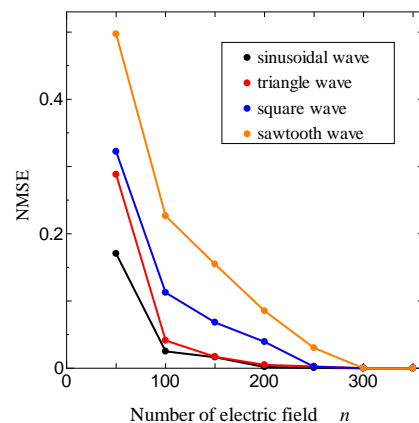


Fig. 2 各波形の出力予測における NMSE

4. 研究業績

上田天馬ほか 2020 年度応用物理学会九州支部 学術講演会、29Da-1