

サポートベクターマシンの イジングモデル実装検討

田口 雄大 飯村 凌馬 河原 尊之
東京理科大学大学院 工学研究科 電気工学専攻

1. はじめに

近年の IoT の発展により様々な”モノ”にセンサが搭載されている。しかし、それに伴いクラウドクラウドへの負担が増大している。そこで”モノ”側で情報を処理させるエッジコンピューティングにより、クラウドの負担を軽減し、IoT 社会をさらに躍進させる。

本研究ではサポートベクターマシン(以下:SVM)を、少ない計算量で最適化問題を解決できるイジングモデルに実装した。このシステムの応用として、家屋モデルの損傷した木壁の特定をするシステムを提案する。そのシステムの MATLAB によるシミュレーションと、FPGA 実装を行った。

2. イジングモデル [1]

イジングモデルとは、一様な格子点上に2状態のみをとるスピンを持つ格子模型である。系全体のエネルギー関数は以下の式(1)で表される。

$$E = \sum_i \sigma_i h_i - \sum_{(i,j)} J_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (1)$$

ここで、 i, j は学習データのデータ番号、 σ はスピンの向き、 J_{ij} は相互作用、 h_i は外場の値をそれぞれ表している。このとき系全体のエネルギーを最小或いは最大にする最適なスピンの組み合わせを求めてスピンの向きが2値で更新されていき、これが組合せ最適化問題の解を表す。このように、相互作用 J_{ij} と外場 h_i を決定することで、高速で組み合わせ最適化問題を解くことが期待されている。

これに対して SVM では、次節に示した式(2)のラグランジュ乗数を細かく更新して学習していくため計算量が多い。このことからイジングモデルによって、SVM の高速化及び回路規模の縮小が期待できる。

3. イジングモデルによる SVM の提案

以下に、SVM の学習で最大化する目的関数 L_D を示した。

$$L_D(\alpha) = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{(i,j)} \alpha_i \alpha_j t_i t_j K(x_i, x_j) \quad (2)$$

この目的関数(2)とイジングマシンのエネルギー関数(1)は類似的である。よって式(1)と式(2)が等価になるように相互作用 J_{ij} と外場 h_i を決定して α_i と対応付けることで、SVM をイジングモデルに実装できる。 α_i の最大値をハイパーパラメータ H として、以下のように相互作用 J_{ij} と外場 h_i 、 α_i を表現した。

$$h_{ik} = 2^{-k} H \quad (3)$$

$$\alpha_i = \sum_k 2^{-k} \sigma_{ik} H \quad (4)$$

$$J_{ijkl} = \frac{1}{2} h_i h_j t_i t_j K(x_i, x_j) \quad (5)$$

4. MATLAB シミュレーションと実機検証

本研究では文献[2]の振動データから離散ウェーブレット変換によって特徴量を抽出し、提案したシステムにより任意の壁が損傷しているか否かの2クラス分類を行った。

ここで計算時間と識別率を既存の SVM と比較した。計算時間の短縮は、提案したシステムをハードウェア化した際の小型化を表す指標となる。なお比較対象である既存の SVM は、MATLAB のライブラリ関数として用意されている SVM の `fitsvm` である。結果を以下の表1にまとめた。

表1 提案したシステムと `fitsvm` の性能比較

	提案したシステム	<code>fitsvm</code>
計算時間[s]	0.58	3.6
識別率[%]	94	100

この比較から、イジングモデルによる6倍程度の高速化が確認できた。さらに、識別率も十分に高く、`fitsvm` によるものと同程度であった。またこのとき両者から得られたラグランジュ乗数 α_i のコサイン類似度は0.58であった。よって識別率は `fitsvm` と同程度であったが、分離長超平面は異なっていることが分かった。

最後に Virtex-7 VX485T という FPGA に提案したシステムを実装し、損傷した壁の検出を行った。実機検証と条件を合わせたことで、シミュレーションでの識別率が94%であったのに対し、実機検証では77%であった。これはアルゴリズムに相違があるからであると考えられる。その相違点を具体的に確認し、改善していくことが、今後の課題である。

5. まとめ

以上のように、イジングモデルに実装した SVM によって木壁モデルの損傷位置の特定を行った。識別率は94%と、`fitsvm` によるものと同程度かつ十分に高かった。また計算時間は6分の1程度に短縮できた。このことから従来の SVM のハードウェア化より小規模な回路での実装が可能であると考えられる。よって提案システムはエッジコンピューティングに適しているといえる。今後の課題は、多クラス分類への応用と実機検証での識別率の維持である。

参考文献

- [1] 小野涼斗, 染谷健太, 河原尊之,
“実数変数最適化問題の2進数展開によるイジングモデルへの変換”
電子情報通信学会総合大会, A-1-16, (2016)
- [2] Kohei Koike et al.,
“Damage Position Identification of Wooden House Model Using Machine Learning”,
IEEE APCCAS2020 (2020)