電子基板における最大温度低減を目的とした熱源配置の最適化

Heat source layout optimization to lower the maximum temperature for electronic substrate

名大院工 [1], 理研 AIP[2], 名大未来研 [3]
°(M1)佐藤　陸彌 [1], 沓掛　健太朗 [2,3], 原田　俊太 [1,3], 田川　美穂 [1,3], 宇治原　徹 [1,3]
Grad.School of Eng.Nagoya Univ.[1], AIP RIKEN[2], IMass Nagoya Univ.[3]
° Rikuya Sato[1], Kentaro Kutsukake[1,2], Shunta Harada[1,3], Miho Tagawa[1,3], Toru Ujihara[1,3]
E-mail: sato.r@unno.material.nagoya-u.ac.jp

はじめに　近年、電子機器の小型化と高出力化が進み、熱設計の重要性が高まっている。熱設計とは製品設計の段階でシミュレーション等によって必要な熱対策を盛り込むことである。熱対策として、基板や筐体に熱伝導率の高い材料を用いる、冷却部品を取り付ける、熱源の配置を変更する、などが挙げられる。しかし、膨大な候補から最適な組み合わせを見出すことは難しいため、機械学習を用いて計算コストを削減した研究が報告されている。

熱源配置の最適化に関する先行研究[1]では、基板を 10×10 の行列で表現し、100 の要素から熱源の個数分の要素を選ぶことで熱源の配置を生成することが提案されている。最適化の変数は各熱源の座標となる。しかし、この手法ではすべての熱源の大きさが等しく、さらに配置の自由度も小さい。そこで本研究では、任意の熱源の配置とサイズを考慮可能な最適化手法を検討した。

実験方法　基板両面に熱源となる IC チップを取り付け、基板と IC 間に抵抗を、IC 上に放熱部品を考慮した簡単なモデルで本手法の検討を行った。先行研究と同様に、計算コスト削減のため、最適化アルゴリズム内での目的関数（最大温度）の計算には、熱流体解析をもとに構築した機械学習（畳み込みニューラルネットワーク）モデルを使用した。教師データは、熱流体解析ソフト stream を用いて 2600 通り作成した。基板の面方向熱伝導率、基板の厚み方向熱伝導率、熱源の厚み、熱源の熱伝導率、熱源の発熱量、熱抵抗の厚み、熱抵抗の熱伝導率、放熱部品熱伝導率の 8 つのパラメータを基板の両面で設定し、基板の厚みを合わせた計 17 個のパラメータをランダムに変え計算を行った。入力パラメータを 17 個の行列で表現し、各行列は 200×200 の大きさで数値の有無で熱源を表現した。計算後、行列の全要素に温度が出力された温度分布を取得した。1 回の計算時間は約 10 秒であった。

次に、構築した機械学習モデルを用いて熱源配置の最適化を行った。最適化手法には遺伝的アルゴリズムを使用し、変数を熱源の座標、目的関数を基板表面の最大温度の最小化に設定した。配置以外のパラメータは固定した。熱源が重なった場合は最大温度を 10000℃とすることで、解として得られないようにした。

結果及び考察　構築した機械学習モデルの精度をテストデータ 200 条件で検証したところ、誤差率は全要素 10％以内におさまった予測時間は 0.05 秒程度であり、高速かつ高精度な温度分布予測モデルを構築することができた。

次に最適化結果を示す。ここでは一例として、表面に異なる大きさの熱源を 5 個、裏面に 3 個配置し、すべての熱源の各物性値を等しい値にした結果を Fig. 2 に示す。最適化前にランダムに作成した配置では最大温度は 100℃を超えていたが、計算回数が 60000 の時点では 67.20℃となり、30℃以上低減させることができた。熱源は互いに離れ合う配置がみられるが、これは熱干渉によって生じる温度の上昇を防いでいると考えられる。

以上のように、基板の部品実装において、任意の熱源の配置とサイズを考慮可能にした熱源配置の高速探索手法を開発した。しかし、初期値によって得られる解が大きく異なっていた。幾何学的制約により熱源が入れ替わるような配置の変更が起こりにくく、初期値に依存してしまっていると考えられ、今後の課題である。

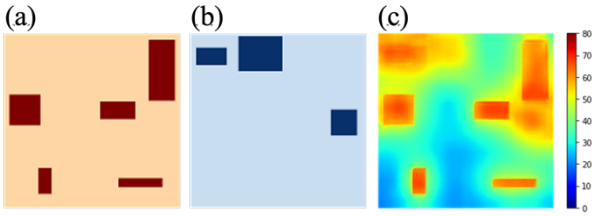

Fig. 1 Optimized heat source layout on the electronic substrate. (a)front side, (b)back side, (c)temperature distribution.

[1] Xiaoqian Chen *et al*., Structural and Multidisciplinary Optimization, 62, (2020), 3127-3148.