

応答曲面法を適用した最適パラメータ探索

3W-01

青山 功†, 羽下 誠司†, 佐藤 裕幸†

†三菱電機 (株) 情報技術総合研究所

‡三菱電機 (株) 設計システム技術センター

1 はじめに

構造解析, 熱流体解析などの各種設計作業における設計パラメータ (以降, 単にパラメータと略す) の最適化は製品の性能を左右する重要な作業であるが, 一般にパラメータの組合わせ数は膨大であり, 設計者は各人の経験に基づいて予めパラメータの範囲を絞り込んでから最適パラメータの探索を行うことが多い。このため, 求まる最適パラメータは設計者によって左右されてしまう。さらに, 1組のパラメータのシミュレーション時間に数十分かそれ以上を要する場合は, 最適パラメータの探索には膨大な時間を要することになる。

そこで, 我々は最適パラメータの自動探索と探索時間の短縮を目的として, 最適パラメータ探索支援ツールの開発を行っている [1]。本ツールの特長は, **応答曲面法 (Response Surface Method)** [2] を用いてシミュレーション時間の短縮を図ること, 複数の探索アルゴリズムを実装していることである。

2 応答曲面法を用いたシミュレーション近似

応答曲面法を用いてパラメータのシミュレーション計算の近似式 (応答曲面) を求め, シミュレーション時間を短縮する手法が試みられている。しかし, シミュレーションで用いる関数が複雑な形状をしている場合などは, パラメータの変域全体 (全探索範囲) に対して 1 つの応答曲面を求めると精度の良い応答曲面が得られにくい。

そこで我々は, パラメータの全探索範囲を複数の領域に分割し, 領域毎に異なる応答曲面を求めることで近似精度の向上を図る。

2.1 応答曲面の生成

応答曲面を生成するためにはパラメータ値とそのシミュレーション結果が必要である (以降, 応答曲面を求めるためのパラメータ値を実験点, 実験点のシミュレーション結果を応答値と呼ぶことにする)。実験点の選び方は応答曲面の精度に影響し, また計算時間の観点からはなるべく少ない実験点で応答曲面を求めたい。そこで, 実験点は**実験計画法 (直交表)** を用いて求めることにする。

2.2 領域分割

求めた応答曲面に対して**分散分析**を行い, 応答曲面の近似精度が基準値に達しない場合, その応答曲面を求めた領域を分割し (これを**領域分割**と呼ぶ), 探索範囲を狭めた新たな領域に対して応答曲面を再計算する。この応答曲面の生成と領域分割を, 応答曲面の近似精度が基準値に達するか, 分割回数が上限値に達するまで繰り返す。

● 応答曲面の近似精度

応答曲面の**決定係数**を近似精度の指標として用いる。 i 番目の実験点における応答値を z_i , 応答曲面の近似値を y_i , 実験点の数を n , 応答曲面の式における変数項の数を k とすると, 決定係数 R^2 は式 (1)~式 (3) で与えられる。

$$SSE = \sum_{i=1}^n (z_i - y_i)^2 \quad (1)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n z_i^2 - \frac{\{\sum_{i=1}^n z_i\}^2}{n} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{S_{yy}/(n-1)} \quad (3)$$

● 領域分割の実行および終了判定

式 (3) で求まる決定係数が予め定めた基準値に達しない場合は, 精度不十分としてその応答曲面を求めた領域を分割し, 決定係数が基準値に達するか領域分割の回数が上限に達したら, その領域に関する領域分割を終了する。

An Optimal Parameter Survey Using Response Surface Method
Isao Aoyama†, Seiji Haga†, Hiroyuki Sato†
†Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center
‡Mitsubishi Electric Corporation Design Systems Engineering Center

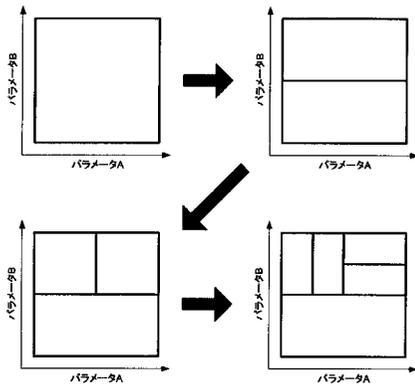


図 1: パラメータが 2 種類の場合の領域分割例

領域分割を実行する場合、複数あるパラメータの中から分散分析により求めた寄与率が最も高いパラメータを 1 つ選び、そのパラメータの探索範囲を 2 等分し、2 つの新たな探索領域を生成する。図 1 に領域分割の例を示す。

3 最適パラメータ探索

領域分割を完了し、各領域の応答曲面が求まると、領域毎に、応答曲面の出力値を基に求めた目的関数値が最小となるパラメータの組み合わせを求める。この時、応答曲面の決定係数が予め定めた基準値（領域分割の終了判定に用いたものとは別の値）に達しない領域は近似誤差の大きな領域として探索対象から除外する。

さらに、最適パラメータの探索アルゴリズムは複数の候補から選択できる。現在実装しているアルゴリズムは、二分探索、近傍探索、遺伝的アルゴリズム (GA, Genetic Algorithm) である。

4 比較実験

シミュレーション計算を直接実行する場合（以降、直接探索と呼ぶ）と、応答曲面を用いた近似計算を行う場合（以降、近似探索と呼ぶ）の比較を行った。

実験に用いた問題は、パラメータ数を 3、各パラメータの変域を、いずれも、0.1~3.0、パラメータ値の最小刻みを 10^{-4} とした。また、決定係数の基準値は、領域分割の判定、探索対象からの除外のいずれも 0.999 とし

た。表 1 に直接探索による結果を、表 2 には近似探索による結果を示す。

表 1: 直接探索結果

	二分探索	近傍探索	GA 探索
目的関数値	0.952	1.137	21.415
総探索時間 (秒)	1357	887	362
総探索数	3763	2502	1018
探索回数/秒	2.77	2.82	2.81

表 2: 近似探索結果 (領域分割回数上限: 4)

	二分探索	近傍探索	GA 探索
目的関数値	1.192	35.736	24.624
総探索時間 (秒)	979	721	319
総探索数	10469	7385	2601
探索回数/秒	10.69	10.24	8.15

今回用いたシミュレーションプログラムは計算時間が短いものであったが、近似探索により 1 秒あたりの探索回数を約 4 倍に増加させることができた。その一方で総探索時間は若干短くなっただけで大きな差は見られなかった。これは、領域分割により生成された複数の探索領域に対して、それぞれ探索処理を行っていることが原因と考えられる。

5 おわりに

応答曲面法と領域分割を組合わせた最適パラメータの探索手法について述べた。今後は、総探索時間を短縮するため、最適パラメータが得られる見込みのない領域の探索を打ち切る手法の検討を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 佐藤 他, “分散型並列パラメータサーベイ支援ツール ParaVEY”, 第 55 回情処全国大会, 2G-04, (1997).
- [2] 轟 章, “応答曲面法”, インターネット講義, <http://florida.mes.titech.ac.jp/rec-res.html>