

Order/Degree 問題と Order/Radix 問題 のための最適化アルゴリズムの開発

Development of Optimization Algorithm for Order/Degree and Order/Radix Problems

花田良子

関西大学システム理工学部

1. 研究目的

ネットワークの設計で多く見られるグラフ最適化問題である Order/Degree Problem (ODP) と Order/Radix Problem (ORP) を対象として、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) に基づく最適化アルゴリズムを開発する。複数の探索点を用いた近似解法である GA により大域探索を実現し、単一の探索点を用いる従来の Simulated Annealing (SA) をもとにした解法より、さらに精度の高い解を得ることが当初の目的である。GA は従来の SA よりも解の評価計算回数が膨大で、高い計算コストが必要であるため、並列化で処理の高速化を図る。

2. 研究成果の内容

ODP はホスト（ノード）を一定の接続数（次数，Degree）を満たす頂点とし、ネットワークケーブルを辺とした直接網を表すグラフをモデル化したものである。また，ORP は次数 1 のホストと一定のポート数（Radix）を満たすスイッチの 2 種の頂点と辺からなる間接網を表すグラフを扱う。いずれも平均ホスト間距離（host-Average Shortest Path Length: h-ASPL）を最小化する最適化問題として定義される。本研究では，ODP の中で各頂点が格子状に配置され，各辺に距離制約を課したグリッドグラフ問題，および一般的な ORP（以降，ホストスイッチグラフ問題とよぶ）を対象として，GA を用いた解法を開発した。

GA においては各探索点を持つ情報を交換する交叉が主探索オペレータであり，2 つの探索点の交換辺の規模が大きいほど大きな頂点・辺集合からなる形質（部分解）を生成，すなわち大域性の高い探索を可能とし，交換辺の規模が小さいほど限られた頂点・辺集合からなる小さな形質が生成され，局所性の高い探索を可能としている。

グリッドグラフは近傍頂点間の辺の距離制約により，限られた近傍頂点集合と辺の組合せからなる小さな形質を持ち，それらが複雑に依存しあった結果，多数の広域の頂点・辺の組合せからなる大きな形質をなす問題である。そのため，近傍頂点の集合であるブロック構造を生成・遺伝すべき形質ととらえ，解全体を縦横方向にランダムに分割したブロックを基に，一様に交換する大域探索交叉と，少ないブロックを段階的に交換させる局所探索交叉の 2 種を開発した。2 種の交叉を GA に組み入れ，それぞれ

GraphGolf の 2019 年のコンペティションのベンチマーク^[1]に単純に適用したところ、大域探索交叉、局所探索交叉いずれも従来の SA の性能を下回った。得られた複数の解を分析したところ、いずれも SA と比較して、解全体に広がる大きな形質が発見できていないと考えられたため、SA で得られている暫定的な最良解をもとに GA の初期集団の分布にバイアスをかけて探索した結果、表 1 のように、いずれも SA で得られている最良既知解を更新することができた（表中 BX が大域探索交叉、MSBX が局所探索交叉）。ここで、 $h \times w$ はノード数であり、 d は最大次数、 r は距離制約である。その際に得られた解の例を図 1 に示す。これは $h \times w = 10 \times 10$ 、 $d = 8$ 、 $r = 4$ における局所探索交叉で得られた解と最良既知解の例であり、赤い辺が両者で異なる辺である。

表 1 提案手法と SA の h-ASPL の比較

$(h \times w, d, r)$	GA(BX)	GA(MSBX)	Graph Golf Best(SA)
$(4 \times 16, 4, 4)$	2.96974	2.96974	2.96974
$(10 \times 10, 4, 2)$	3.98343	3.98343	3.98586
$(10 \times 10, 6, 3)$	2.90248	2.90242	2.90303
$(10 \times 10, 8, 4)$	2.42626	2.42606	2.42626
$(20 \times 20, 4, 2)$	7.33344	7.19875	7.19875

図 1 から、辺の組換えは局所的であり、GA により、より高精度な局所探索ができたことがわかる。なお、大域探索交叉（BX）も同様の傾向が得られることがわかっている。研究開始当初は、GA による高い大域探索性能の実現を期待したが、探索集団の収束の制御が困難で、SA の大域探索性能を上回ることではできなかった。一方で、ある程度大きな形質を求めたもとの局所形質の探索で GA は SA と比較して高い性能を示すことがわかった。

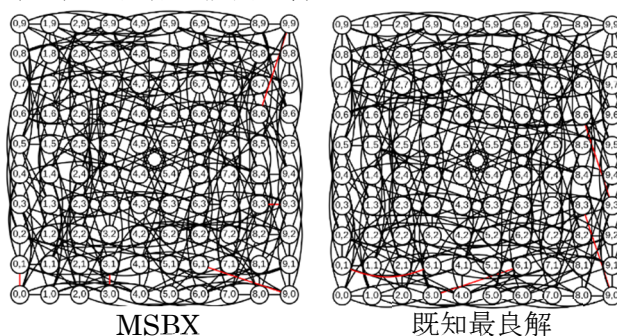


図 1 得られたグラフ

なお、ホストスイッチグラフ問題においては、従来の SA の近傍生成オペレータをベースとした交叉を開発したが、まだ性能の向上を確認できておらず、現在も開発途中である。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

ODP, ORP は各頂点の次数が高く、一定ではないため、解の h-ASPL の評価以外にも探索オペレータ自体の計算コストが高く、探索の収束に必要なステップも増大する。また、GA は確率的探索手法であることから、各パラメータ設定で数十回の試行を通じて探索性能、挙動を検証する必要があり、開発コストも高い。本プログラムにおいて、試行を並列化することで多くの解の分析が可能となり、大幅な計算時間の短縮が図れ、探索オ

[1] <https://research.nii.ac.jp/graphgolf/2019/ranking.html>

ペレータの改善に注力できた。ODP（グリッドグラフ）については、小さい形質を局所的に精度よく発見する GA が完成し、SA と併用することで小規模な例題ではあるが、目標通り、既知最良解を更新することができた。

4. 今後の展望

GA は多点探索であるため探索点を単純に分割することで並列化が可能であり、今後、中～大規模な例題で性能を検証する。また、GA による大きな形質の発見については、交換ブロックの重なりを許すことで可能となると考えており、現在途上である ORP（ホストスイッチグラフ問題）における GA の開発とともに現在の課題としている。

5. 成果発表

(1) 学術論文 0 件

(2) 学会発表 1 件

木村弘登，花田良子，中尾昌広，山本啓二，グリッドグラフを対象とする Order/Degree 問題における多段階探索交叉を用いた遺伝的アルゴリズムの提案，コンピュータシステム研究会（CPSY），電子情報通信学会技術研究報告，vol. 124, No. 307 (CPSY2024 42-44), pp. 1--6, 2024

(3) その他

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	2,000		
Pegasus	○	4,000		
Wisteria/BDEC-01	○	50,000		
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				