

1

MAP-Elitesアルゴリズムを用いた予測困難な トラフィック変動に対する適応性を有する 仮想ネットワーク埋め込み手法の提案と評価

大阪大学 基礎工学部 情報科学科 村田研究室
大月天渡

2022年2月15日

1

2

研究背景

- クラウドサービスや IoT 技術が普及
 - サービスごとに柔軟にネットワークを構築・提供することが不可欠
 - ネットワーク仮想化技術が重要視
 - 実装上の問題が多数存在
- 仮想ネットワーク埋め込み問題 (VNE 問題)
 - 仮想ノード・リンクと物理ノード・経路を対応付ける資源割り当て問題
 - ネットワークの規模が大きくなるに従い計算量が爆発的に増加
 - 実用上は、トラフィック変動に伴う仮想ネットワークの変更に対応して即座に解くことが必要
- 生物進化の仕組みに倣った進化的アルゴリズム
 - 組み合わせ最適化問題をヒューリスティックに解くアルゴリズム
 - 従来の進化的アルゴリズムでは解の多様性が失われる (初期収束)
 - 動的環境に適応して進化計算を行うことが困難
 - 解の多様性を維持しながら良い解を求めるアルゴリズムが注目
 - MAP-Elites (Multi-dimensional Archive of Phenotypic Elites)^[5] はそのひとつ

[5] J. Mouret and J. Clune, "Illuminating search spaces by mapping elites," CoRR, vol. abs/1504.04909, Apr. 2015. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1504.04909>

2

3

研究目的とアプローチ

- 研究目的
 - 環境変動に適応して動的 VNE 問題を効率的に解く手法の提案
 - 提案手法の VNE 問題に対する有効性の検証
 - 動的環境における適応性を評価
 - 解の多様性と解の探索効率の関係の評価
- アプローチ
 - 解の多様性を維持する MAP-Elites アルゴリズムを利用
 - 多様な解を保存することが環境変動時に有利に働く可能性
 - シミュレーションにより動的環境での適応性を評価
 - 一定間隔で仮想ネットワークをランダムに変更し適応度の推移を計測
 - 従来の進化的アルゴリズムと比較検証
 - 代表的な遺伝的アルゴリズムを比較対象として使用
 - MAP-Elites と類似点のある NSLC アルゴリズム^[4]とも比較

[4] J. Lehman and K. O. Stanley, "Evolving a diversity of virtual creatures through novelty search and local competition," in Proceedings of annual conference on Genetic and evolutionary computation, Jul. 2011, pp. 211–218.

3

4

MAP-Elites アルゴリズム

- 多様性を維持する進化的アルゴリズム
 - ユーザが選択した特徴量を軸とする特徴空間上に解が広く分布するよう工夫
 - 特徴空間をある粒度のセルに分割し各セルで最適解 (エリート) を出力
- 以下のステップで動作
 - ランダムに初期解 (個体) を N 個生成し特徴空間にマッピング
 - 個体群からランダムに一つ個体を選択する
 - 個体に突然変異を適用して新たな解を生成
 - 新しい解の適応度と特徴量を計算
 - 対応するセルの個体より適応度が高ければ置換
 - ステップ 2～5 を繰り返す

図. MAP-Elites アルゴリズムの動作

4

5

仮想ネットワーク埋め込み問題 (VNE 問題)

- ネットワーク仮想化における資源割り当て問題
 - 仮想ノード・リンクと物理ノード・経路の対応を決定
 - CPU やリンク帯域などの資源要求を満たす必要
- 仮想ネットワーク埋め込みは以下のステップで実行
 - 仮想ノード埋め込み: 各仮想ノードを重複なく物理ノードに割り当て
 - 仮想リンク埋め込み: 各仮想リンクを物理経路に割り当て

図. 仮想ネットワーク埋め込みのモデル

5

6

MAP-Elites を用いた VNE 手法の提案

- 解の符号化
 - 各仮想ノード・リンクに対応する物理ノード・経路の番号を配列
 - 経路の番号はホップ長の短い順・同じなら経路上のノード番号を並べた辞書順
 - 復号の規則
 - 物理ノードの割り当てが重複する場合仮想ノード番号の若い方を優先
 - 資源要求量に対して物理資源量が不足する場合最大限の資源を割り当て
- 適応度の定義: 残余資源量から割当資源の不足量を重み付けして引いた値
- 特徴空間: 以下の2軸で定義
 - 特徴量 1: 割り当てた物理ノードの番号の総和
 - 特徴量 2: 割り当てた物理経路の長さの総和

図. 解の符号化の例 (2進数表記)

6

比較対象の進化的アルゴリズム

7

- 遺伝的アルゴリズム
 - 代表的な進化的アルゴリズムのひとつ
 - 個体群から適応度に応じて選択を行い遺伝的操作（交叉・突然変異）を適用して新たな解を生成
 - ◆ 選択：選択確率が適応度に比例するルーレット選択
 - ◆ 交叉：二点に囲まれた部分を入れ替える二点交叉
 - ◆ 突然変異：無作為に遺伝子座を選択して値を反転
- NSLC (Novelty Search with Local Competition)^[4]
 - 行動空間での新奇性（ノベルティ）と k 近傍内での相対的な適応度をもとに個体を選択する多目的最適化アルゴリズム
 - ◆ シミュレーションでは行動空間と特徴空間は同一
 - 遺伝的アルゴリズムの拡張として実装

[4] J. Lehman and K. O. Stanley, "Evolving a diversity of virtual creatures through novelty search and local competition," in Proceedings of annual conference on Genetic and evolutionary computation, Jul. 2011, pp. 211–218.

7

シミュレーション設定

8

- 物理ネットワーク上に一つの仮想ネットワークを埋め込む VNE を想定
 - 物理ネットワーク
 - ◆ ノード数 32 の無向ランダムトポロジー
 - ◆ 物理ノード・リンク資源量：対数正規分布に従って割り当て
 - 仮想ネットワーク：
 - ◆ 仮想ノード数：5の無向ランダムトポロジー
 - ◆ 要求ノード・リンク資源量：少なくとも一つは埋め込み可能な割り当て方が存在することを保証した上でランダムに設定
 - ◆ 仮想リンク埋め込みでは 1~8 番目に短い物理経路から一つ選択
 - 環境変動モデル
 - ◆ 要求する仮想ネットワークを 100 世代ごとに変更
 - ◆ 各シミュレーションで環境変動は 9 回

表. シミュレーションに用いる個体群

個体群	アルゴリズム	突然変異率	交叉率	ノベルティの重み
ME	MAP-Elites	(100%)	-	-
SGA1	GA	1%	90%	-
SGA2	GA	100%	90%	-
NSLC1	NSLC	10%	90%	0.8
NSLC2	NSLC	10%	90%	0.5

8

提案手法の評価結果

9

- 評価指標
 - 最大適応度：環境への適応性
 - 最小適応度：環境変動への耐性
 - 資源要求の達成率：解の探索性能
 - 達成の順位：解の探索効率
 - ⇒ いずれも MAP-Elites が最良
- VNE 問題を扱うアルゴリズムとして MAP-Elites が最も有効
 - 多様性を維持する NSLC2 と突然変異率の高い SGA2 が次点

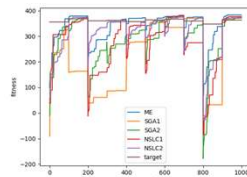


図. 適応度の推移

表. 適応度に関する指標

	ME	SGA1	SGA2	NSLC1	NSLC2
最大適応度	363.5	223.7	348.3	341.9	335.4
最小適応度	256.7	96.9	166.2	140.9	194.9
資源要求の達成率(%)	78	15	47	31	56
達成の順位	1.7	4.5	3.6	4.3	3.1

9

解の多様性と適応性の関係

10

- 適応度の高い個体の分布と適応性に相関
 - ME・NSLC2：適応度の高い個体が特徴空間で広く分布
 - SGA2・NSLC1 は多様性は大きいが高適応度の高い個体が少数
- ⇒ 適応度の高い個体が多様に存在することが重要

表. 多様性に関する指標

	ME	SGA1	SGA2	NSLC1	NSLC2
エントロピー	34.0	3.9	34.1	26.2	15.8
網羅率(%)	68.7	1.6	17.1	33.3	15.9
達成個体数	18.0	14.4	0.6	0.5	11.3



図. 特徴空間での適応度の分布

10

まとめと今後の課題

11

- まとめ
 - 動的な仮想ネットワーク埋め込み問題を MAP-Elites アルゴリズムを用いて解く手法を提案
 - 既存の進化的アルゴリズムを用いた手法と比較検証
 - ◆ MAP-Elites が最も解の探索が速く達成率も高いことを確認
 - 解の多様性と解の探索性能に相関があることを確認
 - ◆ 適応度の高い個体が多様に存在することが重要
- 今後の課題
 - 特徴空間での探索の重要性の評価
 - ◆ 多様で適応度の高い解を出力する他のアルゴリズムとの比較
 - VNE 問題に対してより有効な特徴空間の検討
 - 長期的な変動に対する耐性の評価
 - トラヒック変動の規模と適応性の関係の評価

11