

Dynamic Network Slicing Control Method for Beyond 5G Mobile Network using Quality-Diversity Algorithms

大月 天渡
 大阪大学 大学院情報科学研究科
 情報ネットワーク学専攻 村田研究室
 博士前期課程2年

1

研究背景

- 通信のユースケースの多様化
 - サービスによって要件が大きく異なる
 - URLLC: 高信頼低遅延
 - eMBB: 高速大容量
 - mMTC: 多数同時接続
- ネットワークスライシング技術
 - 共有基盤資源を仮想的に分割
 - 要件に応じた柔軟なNWの構築
- 資源割り当て問題
 - 多様な要件のスライスを同時にホスト

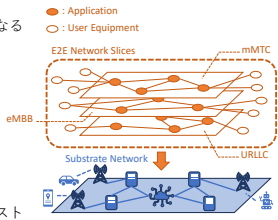


図. ネットワークスライシングの概念図

2

先行研究の課題

- Network Slice Embedding (NSE) 問題
 - UE・アプリケーション間 E2E 通信
 - 組み合わせ最適化問題
 - NP困難
 - ヒューリスティクスの提案
- 複数スライスの並列制御
 - スライス要求の数で組み合わせ爆発
 - 個別での制御が必要
- 個別制御による全体最適化
 - 多様なスライス要件の考慮

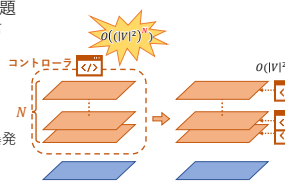


図. NSE問題空間のオーダー

3

研究目的と方針

- 複数スライスの協調的な制御手法の実現
 - 他のスライスの要件を考慮
 - 種々の環境変動に適応
 - 新規スライス要求の到着
 - 他のコントローラによる割合の変更
- 遺伝的アルゴリズム (GA)
 - 生物進化モデルによる環境変動への適応
 - 目標関数の設計自由度を活用
 - 従来の GA では解の多様性が低下
- 品質多様性 (QD) アルゴリズム
 - 多様かつ優れた解を出力可能な GA
 - MAP-Elites アルゴリズムに注目

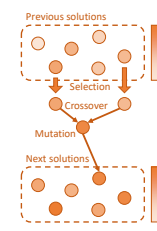


図. 遺伝的アルゴリズム

4

MAP-Elites アルゴリズム

- 特徴空間上での多様な解の探索
 - ユーザー定義の特徴量で探索空間を設計
 - 特徴空間はある粒度のセルで分割
 - 各セルで最良の解を出力するように動作
- アルゴリズム
 - 無作為に初期集団を生成
 - 個体を無作為に選択
 - 個体を変異させ新しい個体を生成
 - 新しい個体の評価値と特徴量を評価
 - 対応するセルの既存解との競争
 - 2~5を繰り返す

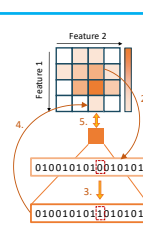


図. MAP-Elites の動作

5

NSE 問題の定式化

- 基盤ネットワーク
 - $G_S = (V_U, V_C, E_S)$
 - UEノード, クラウドノード (CN), 物理リンク
 - CNと物理リンクは有限な資源を持つ
 - CPU, メモリ, スループット, レイテンシ
- ネットワークスライス
 - $G_R = (V'_U, V'_A, E_R)$
 - 一部のUE, アプリケーション (App), 仮想リンク
 - Appと仮想リンクは資源要求量を持つ
 - 基盤資源を消費して要求を満たす
- 2つの写像を決定
 - $M_N: V_A \rightarrow V_C, M_L: E_R \rightarrow P_S (P_S: \text{物理パス})$

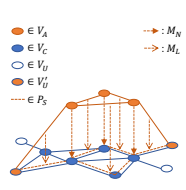
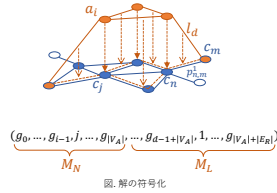


図. NSE問題のモデル

6

解の符号化

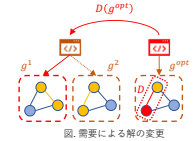
- 解の遺伝型への符号化が必要
 - 基盤 NW とスライスの対応を直接符号化
- 探索空間の限定
 - 有限長の遺伝型での符号化
 - K 番目までに短い経路から選択



7

適応度の定義

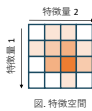
- $F(g) = R(g) - \lambda P(g) + \varepsilon B(g) - f_a \cdot \delta D(g)$
 - $R(g)$: 総残余資源量
 - 資源の効率的な利用
 - $P(g)$: 資源要求違反ペナルティ
 - スライスの資源要求の満足
 - $B(g)$: 負荷分散項
 - スライスに割り当てた基盤要素の残余資源の総和
 - 協調動作 1: 資源の断片化の抑制
 - $D(g)$: 利用資源の総需要
 - 需要: 未割当スライスの最適解による消費量
 - 最も受容可能性の高い解が要求する資源
 - 協調動作 2: 他のスライスを優先した解への変更



8

特徴空間の設計

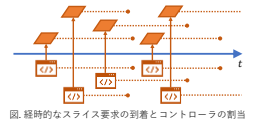
- 効率的な解探索のために重要
 - 多様な実行可能解が広範に存在する空間
 - 環境によって最適値が異なる特徴量
- 特徴空間の定義
 - 特徴量 1: 割当ノードの総資源量
 - ノードの種類によって資源量が大きく異なる
 - ノード選択の多様化につながる
 - 特徴量 2: 割当経路の総レイテンシ
 - 任意の経路選択を区別し多様化
 - 負荷分散や高需要資源の利用回避につながる
 - 10 x 10 のセルに分割



9

シミュレーション設定

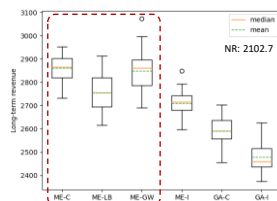
- 比較評価のため 3つのアルゴリズムを評価
 - MAP-Elites, GA, NodeRank
 - 適応度の項の有無でも比較
- 3タイプのスライス要求
 - URLLC, mMTC, eMBB
- 2つのシナリオでシミュレーション
 - 動的シナリオ
 - ポアソン過程でモデル化
 - 平均40個のスライスを並列制御
 - 静的シナリオ
 - 100個のスライスを一斉制御



10

動的シナリオでの評価結果

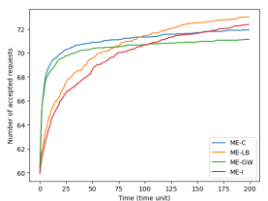
- 平均収益の比較
 - 収益: スライスの総要求資源量
 - 提案手法群が比較手法より高い
 - より多くのスライス要求を満足
 - 協調的な動作による全体最適化が実現



11

静的シナリオでの評価結果

- 提案手法間での受容率推移の比較
 - ME-C, ME-LB の増加が急峻
 - 高需要資源利用の回避が他の受容を促進
 - 効率的な実行可能解の発見
 - 最終的な受容率はME-LBが最大
 - 資源の断片化の抑制効果



12

表. 手法名の表記法

アルゴリズム	ε	δ
ME MAP-Elites	-C 10^{-5}	10^2
GA 従来型遺伝的アルゴリズム	-LB 10^{-5}	0
NR NodeRank (既存手法)	-GW 0	10^2
	-I 0	0

$$F(g) = R(g) - \lambda P(g) + \varepsilon B(g) - f_a \cdot \delta D(g)$$

表. 手法名の表記法

アルゴリズム	ε	δ
ME MAP-Elites	-C 10^{-5}	10^2
GA 従来型遺伝的アルゴリズム	-LB 10^{-5}	0
NR NodeRank (既存手法)	-GW 0	10^2
	-I 0	0

$$F(g) = R(g) - \lambda P(g) + \varepsilon B(g) - f_a \cdot \delta D(g)$$

11

まとめと今後の課題

- NSE問題の全体最適化手法の提案
 - 個別最適化に協調的な動作を組み込み実現
- 比較評価により協調的な動作の効果を検証
 - 平均収益の増加を確認
- 提案手法ごとの性質の違いを評価
 - 高需要資源の利用回避が迅速な受容につながる
- 今後の課題
 - シミュレーションの実行時間の削減
 - 大規模シミュレーションの実施
 - 統計的な解析による性質の評価

13