

Osaka University

パレート最適制御に基づく 進化的ネットワーク省電力化手法

秋下 謙介
大阪大学 大学院情報科学研究科
博士前期課程 2年
村田研究室

2018/3/3 1

Osaka University

研究背景

- インターネットを介したサービスの普及によるトラフィックの増加に伴い^{[1][2]}, **ネットワークの消費電力は増加**^[3]
- ネットワーク省電力化
 - 環境の変化に合わせてつ, ネットワーク機器を**スリープ化**
 - トラフィック量に応じて, 一部のリンクにトラフィックを**集約**

2018/3/3 2

Osaka University

従来手法

- 単一の目的関数で省電力化
 - オンになるリンク数の最小化^[4]

$$\min \sum_l p(l)$$
 - ノードとリンクの総消費電力の最小化^[5]

$$\min \sum_{(i,j) \in E} P_{i,j} x_{i,j} + \sum_{k \in V} P_k y_k$$
- ネットワークに必要な指標を制約条件として考慮
 - バイナリ変数を含む最適化により計算時間が増加→**変動に対応不可**
 - 省電力化以外の指標について最適化が行われない
- 本来は省電力化以外の指標も考慮したより良い解が望ましい
 - 同じ消費電力でもより性能の高い解, 信頼性の高い解を適用すべき

複数の指標を考慮した多目的最適化が必要

2018/3/3 3

Osaka University

研究目的とアプローチ

- 目的
 - 環境変動に**追従し複数の目的を同時達成**するネットワーク制御手法の確立
 - 環境変動: トラフィック変動, 故障など
 - 複数の目的: 耐故障性, 性能の確保, 低消費電力化など
- アプローチ
 - 複数目的を考慮した最適解は**パレート最適解**
 - パレート最適制御によるネットワーク省電力化
 - パレートフロント** (パレート最適解の集合) を導出
 - パレートフロントから一つをネットワークの設定として投入
 - ネットワークの環境変動により適切な解は変化
 - 環境変動に追従したパレートフロントの導出

2018/3/3 4

Osaka University

パレート最適制御によるネットワーク省電力化

- 以下の手順を 10 分程度の制御間隔で行う
 - 全通信ベアのトラフィック量を取得
 - 多目的進化的アルゴリズムに基づき, パレートフロントを導出
 - パレートフロントから一つをネットワークの設定として選択

2018/3/3 5

Osaka University

環境変動に追従したパレートフロントの導出

- 環境が変動するとパレートフロント自体が変化
 - 過去のパレートフロントを現在の解として使用することは**不適**
 - 各時刻パレートフロントの計算は**高速に行うことが必要**
 - その一方で全探索には時間を要する
- 1世代ごとの計算量の削減
- 収束に要する世代数の削減
 - 選択淘汰, 突然変異の工夫
 - 進化させる初期解の工夫**
 - 前の時刻のパレートフロントを利用: 変動が小さい場合は即座に対応
 - 進化を促進する解の導出: 急激な変動が起きた場合にも対応
 - **Evolvability Search** を導入

2018/3/3 6

Osaka University

ネットワーク制御のための Evolvability Search

- Evolvability Search^[7]
 - 進化的アルゴリズムにおいて Evolvability の高い解を直接選択する方法
 - 高い Evolvability を持つ解は進化を促進
 - 得られる解を **Evolvable Solutions (ES)** と呼ぶ
- ネットワークにおける Evolvability
 - ES は進化により異なる環境に柔軟に対応することが望ましい
 - Evolvability: 十分な回数の遺伝子操作により生成された個体のうち、異なる状況に対応可能な個体数に基づいて定義
 - どのフローがボトルネックリンクを経由するかを考慮して評価
 - ボトルネックリンクを流れるフローを他のリンクを経由できるよう変更
 - 制約を満たした状態に遷移
 - フローを他のリンクに集約
 - 省電力化を促進

Evolvability が高ければフローを柔軟に集約・分散
→ あらゆる環境で**進化を促進**する可能性

2018/3/3 [7] H. Mengshu, J. Lehman, and J. Clune, "Evolvability search: directly selecting for evolvability in order to study and produce it," in Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp. 141-148, ACM, 2016. 7

Osaka University

ES を用いた制御

- Evolvability Search は並列実行
 - 定期的なパレートフロントを初期解として ES を計算
 - パレートフロントから離れない空間で ES を探索
- 多目的進化的アルゴリズムでは保持した解で計算
 - パレートフロントと ES を初期解とする

2018/3/3 8

Osaka University

Evolvability の遷移

- パレートフロントを初期解として ES を導出

少ない世代数で Evolvability は上昇

1世代の計算には時間を要する一方で、ES は少ない世代数で導出可能
→ 現実的な時間間隔で制御が可能

2018/3/3 9

Osaka University

収束に要する世代数の評価

- 評価環境
 - トポロジ: Waxman モデルで生成
 - トラフィック: 各通信ペアにおいてあらかじめ定義したトラフィック量内でランダムに生成
 - 設定した要件: 最大リンク利用率が 0.5 以下で、2本の独立な経路を確保
- 比較手法

手法名	計算に用いる解
Method with Evolvable Solution (w/ ES)	ES, 前の時刻のパレートフロント
Method with Random Solution (w/ RS)	ランダム解, 前の時刻のパレートフロント
Method without Evolvable Solution nor Random Solution (w/o ESRS)	前の時刻のパレートフロント
- 評価方法
 - w/o ESRS で十分進化させたパレートフロントを用意: **変動前を統一**
 - 同じ解に対してトラフィック変動を与え、(1) **要件を満たした解への収束**, (2) **省電力解への収束に要する世代数**を評価

2018/3/3 10

Osaka University

評価: 要件を満たした解への収束

- 総トラフィック量が変化しなかった場合

	w/ ES	w/ RS	w/o ESRS
Avg.	1	1	1
Max	1	1	1
Min	1	1	1
- 総トラフィック量が 2倍に変化した場合

	w/ ES	w/ RS	w/o ESRS
Avg.	3.93	2.93	3.96
Max	14	8	29
Min	1	1	1

変動が大きかった場合にも **4世代程度で収束可能**
→ 環境変動に追いついた制御が可能

2018/3/3 11

Osaka University

評価: 省電力解への収束

- ES の導入によって収束に要する平均世代数は減少
 - ES の計算にかけた世代数の増加に伴い収束までの世代数は減少傾向
- 50 世代以降の ES を用いた場合は平均世代数が上昇
 - ES の計算に要した世代数が大きすぎると、独立な経路などを考慮しない変異が積み重なった解が存在
→ パレートフロントを生成する際に淘汰されてしまうことが多くなる

ES を含めても世代数をかけなければ収束できない場合が存在

2018/3/3 12

Osaka University

評価：省電力解への収束（総トラヒック量が2倍）

- 収束に要する世代数は増加
 - 適切なパレートフロントに対して前の時刻のパレートフロントはかけ離れている
- 変動の大きさによって効果的な ES に差異
 - 前の時刻のパレートフロントは収束には効果的に作用しない
 - ES においては前の時刻のパレートフロントへの近さよりも Evolvability の高さが進化の促進に作用

2018/3/3 13

Osaka University

まとめと今後の課題

- まとめ
 - 提案手法により、変動が大きい場合にも要件を満たした状態に収束可能であることを示した
 - Evolvability Search の導入により、より少ない世代数で消費電力を削減できることを示した
- 今後の課題
 - 局所最適に陥り省電力状態に収束できない場合の改善方法の検討
 - ES の計算に要する世代数の決定方針の検討

2018/3/3 14