

# 複数コントローラによって管理される OpenFlow ネットワークへの グラフ分割アルゴリズムの応用

福田 伸一郎†      篠宮 紀彦†

† 創価大学工学部情報システム工学科

## 1 研究の背景

近年、ネットワークの大規模・複雑化に伴い、より効率的にネットワークの運用管理を行う重要性が増してきている。そこで、ソフトウェアによってネットワークの制御を行う SDN(Software-Defined Networking) に注目が集まっている [?]. SDN の主な特徴は、経路計算を行うコントロールプレーンとデータ転送を行うデータプレーンが分離されていることである。そして、SDN を実現するための標準的なプロトコルとして OpenFlow がある。OpenFlow を用いたネットワークでは、コントローラをコントロールプレーン、スイッチをデータプレーンとして、コントローラがスイッチの packets 転送を制御することによってネットワークの管理を行う。

しかし、単一のコントローラを用いてネットワークの制御を行う場合、スケーラビリティの問題や通信遅延が発生しうる [?]. このような問題に対処するため、複数のコントローラを用いてネットワークの分散制御を行う手法が提案されている。

## 2 関連研究

### 2.1 複数コントローラ

複数コントローラを用いた OpenFlow ネットワークでは、各コントローラ間でのネットワーク情報の同期が重要となる。各コントローラ間でのネットワーク情報の同期を行うために、分散データベース (DDB) を用いる手法がある。しかし、ネットワークの大規模化に伴い、ネットワークのトポロジ情報やイベント情報などの増加により、コントローラが情報の同期を行う際の負荷が増大してしまう可能性がある。そこで、コントロールプレーンの階層化を行い共有情報量を削減するためのさまざまな手法が提案されている。Onix[3] では、各コントローラの制御下にあるネットワークのトポロジ情報を一つのスイッチとして縮約し DDB に登録することによってトポロジ情報の縮約を行っている。

### 2.2 階層化コントロールプレーン

複数コントローラを用いたネットワークでは、各コントローラは、自身の管理領域内のスイッチの制御と、他のコントローラとの協調動作によるネットワーク全体の制御の 2 つの役割を持つ。このようにコントロールプレーンは、前者の機能を担うローカル層と、後者の機能を担うフェデレーション層の 2 つの層に階層化を行うことができる。ローカル層では、各コントローラは管理領域内のサブネットワークのトポロジ情報をローカルグラフとして保持する。同様にフェデレーション層では、フェデレーショングラフをネットワーク全体のトポロジ情報として保持する。ここで、フェデレーショングラフは、各々のローカルグラフ内のノードを一つのノードへと縮約し、異なる管理領域間を跨ぐリンクをエッジとすることにより作成される。図 1 は、コントロールプレーンの階層化を用いた共有情報量削減の例である。

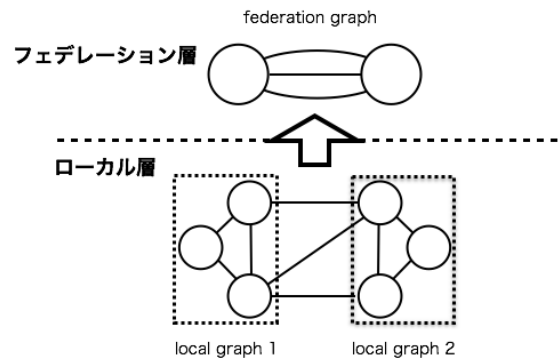


図 1: コントロールプレーンの階層化による共有情報量削減

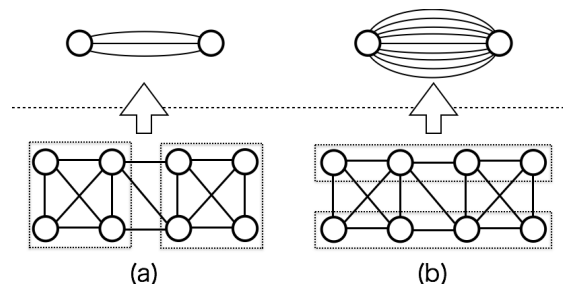


図 2: 管理領域の違いによるフェデレーショングラフの変化

## 3 研究目的

??節で述べた共有情報削減手法においては、各コントローラの管理領域の決め方の違いによって、作成されるフェデレーショングラフのトポロジ、とくにエッジ数が変化してしまう点がある。図 ?? はその例である。図 (a) のように管理領域を取ると、作成されるフェデレーショングラフのエッジ数は 3 本だが、(b) は 9 本となっている。フェデレーショングラフのエッジ数の増加は、ネットワークの共有トポロジ情報や状態情報の増加に繋がりうる。

そこで、本研究では共有情報量をより効果的に削減するためのコントローラの管理領域の決め方についての考察を行う。

## 4 問題の定式化

### 4.1 クラスタリング

グラフのクラスタリングとは、グラフ  $G = (V, E)$  の頂点集合  $V$  をクラスタと呼ばれる複数の部分集合に分割することを指す。クラスタリングによって得られた各クラスタ  $C = \{C_1, \dots, C_n\}$  は次の 3 つの条件を満たす。

- 1)  $C_i \neq \phi$ .
- 2)  $C_i \cap C_j = \phi (i \neq j)$ .
- 3)  $\bigcup_{i=1}^n C_i = V$ .

これらの条件から、クラスタリングによって得られた各々のクラスタ内のノードを一つに縮約することによって、フェデレーショングラフを作成することができる。

Graph Partitioning Algorithm for OpenFlow Network with Multiple Controllers

†Shinitirou Fukuda    †Norihiko Shinomiya

†Faculty of Engineering, Soka University

## 4.2 目的関数

グラフ  $G$  にクラスタリングを行った結果を  $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ , 得られたフェデレーショングラフを  $G^f = (V^f, E^f)$ , 一つのコントローラが制御できるスイッチ数の上限を  $k$  とおく. ??節で述べた通り, 共有情報量はフェデレーショングラフのエッジ数に依存するため, 共有情報量を削減するという問題はクラスタ間エッジ数が最小となるようなクラスタリングを行うという問題に置き換えることができる. 従って目的関数は以下ようになる.

$$\text{Minimize } |E^f| \text{ s.t. } \forall i |C_i| < k \quad (1)$$

なお  $|C_i|$  は各クラスタ内のノード数である.

## 5 実験

### 5.1 実験環境

本研究では, 次のクラスタリングアルゴリズムの共有情報削減効果のシミュレーション実験を行った. また, 実験を行ったグラフは, Newman-wattz-storgaz(NWS) グラフ, Barabasi Albert(BA) グラフ, 格子状グラフ, America モデルである.

Grivan Neman[?] Newman[?]  
 Nomalized Cut[?] Conductance[?]  
 Spectral Clustering[?] Scotch[?]  
 Metis[?]

### 5.2 実験結果

各クラスタリングアルゴリズムの共有情報削減効果を, 「グラフのノード数を固定しクラスタ内ノード数の上限  $k$  を変化させる」, という実験で検証を行った. 本稿では, 共有情報削減効果が高かった Girvan-Newman, Scotch, Metis の3つのアルゴリズムを NWS グラフに適用した結果を図??, また, Scotch, Metis を America モデルに適用した結果を図??に示す.

### 5.3 考察

NWS グラフにおいて, 図??から Metis アルゴリズムを用いることによって最もクラスタ間エッジ数, すなわち共有情報量の削減を削減することが可能である. この結果は BA グラフ, 格子状グラフでも概ね同じ結果を得られた. America モデルにおいては, 図??のとおり, Scotch が Metis よりもクラスタ間エッジ数が少なくなっている. America モデルは, NWS グラフなどと比べ比較的エッジの密度が低い. なので, エッジ密度の低いネットワークには Scotch, エッジ密度が高いネットワークには Metis を用いると効果的な共有情報量の削減が可能であると言える.

## 6 まとめと今後の課題

本稿では, 複数の OpenFlow コントローラ間の共有情報量を削減するための各コントローラの管理領域の決め方についての検証を行った. 検証の結果, Metis もしくは Scotch を用いると効果的な共有情報量削減を行えることが分かった. 今後の課題として, 共有情報量を削減することによって負荷がどれほど軽減可能かなどの検証を行う.

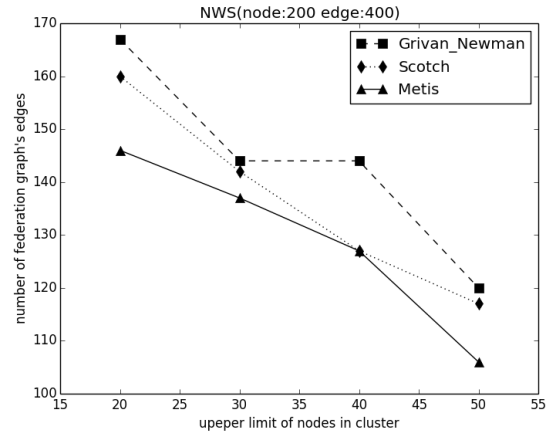


図 3: NWS グラフにおける結果

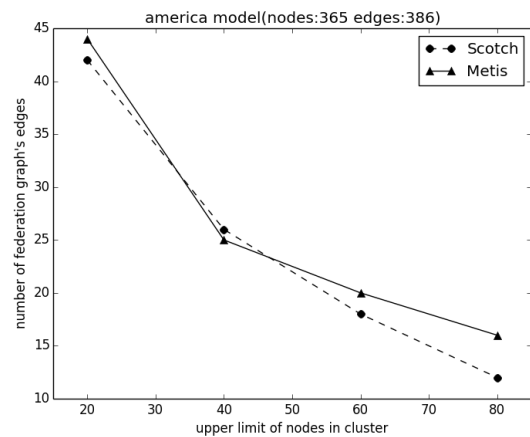


図 4: america モデルにおける Scotch と Metis

## 参考文献

- [1] S. Sezer, et al. "Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks." Communications Magazine, IEEE 51.7 (2013): 36-43.
- [2] A. Tootoonchian, et al. "On scalability of software-defined networking." Communications Magazine, IEEE 51.2 (2013): 136-141.
- [3] T. Koponen, et al. "Onix: A Distributed Control Platform for Large-scale Production Networks." OSDI. Vol. 10. 2010.
- [4] M. Girvan, et al. "Community structure in social and biological networks." Proceedings of the national academy of sciences 99.12 (2002): 7821-7826.
- [5] M. E. J. Newman., "Fast algorithm for detecting community structure in networks." Physical review E 69.6 (2004): 066133.
- [6] S. Jianbo, et al. "Normalized cuts and image segmentation." Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on 22.8 (2000): 888-905.
- [7] U. Brandes, et al, "Network analysis." Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [8] V. Luxburg, et al. "A tutorial on spectral clustering." Statistics and computing 17.4 (2007): 395-416.
- [9] C. Cedric, et al. "PT-Scotch: A tool for efficient parallel graph ordering." Parallel computing 34.6 (2008): 318-331.
- [10] K. George, et al. "A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs." SIAM Journal on scientific Computing 20.1 (1998): 359-392.