

ソーシャルネットワーク情報に基づく FLARE プログラマブルノードによる SDN 拡張経路制御

平久 紬¹ 柳田 晴香¹ 丸 千尋¹ 中尾 彰宏² 山本周² 山口 実靖³ 小口 正人¹

概要: 現在のインターネットは、モバイル端末の高機能化やクラウドコンピューティングの発達により、多種多様なアプリケーションのトラフィックが混在しているため、大地震などの緊急災害時のネットワーク輻輳では、すべてトラフィックが同一に扱われ緊急情報に中々アクセスできないという問題が生じる。そこで、トラフィック種別を判定し、アプリケーションごとに制御を行う方式と、Twitter などのソーシャル・データから実社会の急激な状況変化を検出し、自動でユーザが必要とするアプリケーション情報を安定に提供できる仕組みが必要と考える。本研究では、自動制御を実現するプラットフォームとして、広域ネットワークテストベッド JGN-X の各拠点間を VLAN 結合したネットワーク仮想化ノード FLARE を使用し、SDN による自動経路制御実験を行う。

Extended SDN Route Control Enabled by FLARE Programmable Nodes Based On Social Network Information

TSUMUGI TAIRAKU¹ HARUKA YANAGIDA¹ CHIHIRO MARU¹ AKIHIRO NAKAO²
SHU YAMAMOTO² SANEYASU YAMAGUCHI³ MASATO OGUCHI¹

1. はじめに

近年、モバイル端末の高機能化やクラウドコンピューティングの発達により、現在のインターネットは、多種多様なアプリケーションのトラフィックが混在している。このようなネットワークでは、トラフィックは実社会の状況により大きく変動する。このことから、大地震などの緊急災害時のネットワーク輻輳では、ユーザからのアクセスが集中し、ビッグデータが発生し、また、すべてのトラフィックが同一に扱われることから、ユーザが必要とする緊急情報に中々アクセスできないという問題が生じる。また、通常ではネットワークの状態はセンサを使って管理されているが、2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生した際には、トラフィック量は通常の数倍以上にも増えた [1]。また、経路制御に必要なトラフィック状態に関する情報が膨大で

あり、センサのみでネットワーク全体の状態を迅速に把握することは困難であった。そのため、長い間、ネットワーク障害により、電話が繋がらないなどといった問題が生じた。その一方で、地震発生から 1 時間以内に、東京からだけで毎分 1,200 件以上のツイートが投稿され、地震に関するリアルタイムでの情報のやりとりが非常に活発に行われたことが示されている [2]。このことから、Twitter などのソーシャル情報は、災害時に有用なものであると言える。そこで、トラフィックの種別を判定して、アプリケーションごとに制御を行う方式と、Twitter などのソーシャル・データから実社会の急激な状況変化を検出し、自動でユーザが必要とするアプリケーション情報を安定に提供できる仕組みの実現が必要と考えられる。本研究では、自動制御を実現するプラットフォームとして研究開発テストベッドネットワーク JGN-X の各拠点間を VLAN 結合したネットワーク仮想化ノード FLARE スイッチを使用し、Twitter などのソーシャル情報に基づく SDN によるトラフィックの自動経路制御実証実験を行う。本稿の構成は以下の通りである。2. 章で関連研究について述べ、3. 章でソーシャ

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan

² 東京大学
Tokyo University, Bunkyo, Tokyo, 113-8654, Japan

³ 工学院大学
Gokakuin University, Shinjuku, Tokyo, 163-8677, Japan

ル情報に基づく経路制御システム概要について紹介する。4. 章では本研究の実験環境を、5. 章では JGN-X における実験ネットワークについて説明し、6. 章でアプリケーション毎の制御機能の実装を説明する。7. 章では JGN-X 上の FLARE スイッチで実証実験を行い、本システムの動作を確認する。8. 章では、経路切替の性能評価とその考察を行う。最後に、9. 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

SDN や OpenFlow[3] の技術を用いた、トラフィックの自動制御は既に実現している [4][5][6]。ネットワークのトラフィック量の変動に応じて、ネットワークの構成などを動的に制御している。通常のトラフィック操作のみで制御ネットワークをスイッチ間接続によって構成されるデータネットワーク上に自動構築することを可能としている。また、Twitter 上で発信している緊急地震速報や Yahoo! ニュースの地震カテゴリの記事による情報を基にしたトラフィック制御も存在する [7][8]。これらの研究は、アプリケーションの種別を判定し、電話などの情報通信を行うアプリケーションは重要と判断し優先的にトラフィックを流し、YouTube やゲームなどの娯楽目的のアプリケーションは災害時には重要ではないと判断し、トラフィックを後回しにするような、アプリケーション毎の経路制御を行っていない。そのため、ユーザが緊急災害時に必要とするアプリケーション情報を安定に提供することを目標としている本研究とは異なる。そこで、本研究ではアプリケーションの種別を判断し、アプリケーション毎に経路を切り替えることが可能な FLARE スイッチ [9][10][11][12] を使用し、トラフィック制御実験を行っていく。

3. ソーシャル情報に基づく経路制御システム概要

災害時におけるソーシャル・データに基づいた、トラフィックの自動経路切り替えシステムの概要は以下の通りである。図 1 はシステムの概要図を示している。(1)-(4)の流れで、自動で経路設定を行っていく。

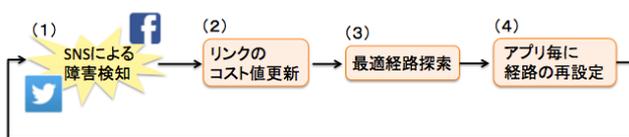


図 1 自動経路制御システムの概要

(1) Twitter による障害検知 [13]

リアルタイムにツイートを監視し、通信障害がどこで起こっているかを検知する。通信障害に関係あるキー

ワードを含むツイートを取得し、取得したツイートを同じ地名名詞が含まれるツイートごとにまとめる。機械学習を用い、ツイートに出現する地名が「その地域で障害が起きている」かを判断し、都道府県ごとにツイート数を数える。

(2) スイッチ間のコスト値の更新

スイッチ間のリンクのコスト値を、60 秒間隔で更新する。リンクのコスト値の初期値を 1 とし、通信障害に関係のあるツイート中にスイッチと対応させた地名を含むツイートが 20 件以上あったら、+1 する。

(3) 最適経路探索

グラフ上の 2 頂点間の最短経路を求めるアルゴリズムである、ダイクストラ法を用い、コスト値が最小になるような最適経路探索を行い、トラフィックの経路を決定する。

(4) アプリ毎に経路の再設定

OpenFlow の REST-API を使用し、あらかじめ経路を記述したシェルスクリプトを用意しておく。アプリケーションを識別し、(3) で決定された経路に、コントローラから自動で再設定を行い、経路を切り替える。

4. 実験環境

本研究では、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) が運用する研究用ネットワークである JGN-X[14] を使用する。JGN-X の拠点および大学に設置した DPN の FLARE ノードを使用し、ソーシャル情報による SDN 切替実験を実施する。

DPN (Deeply Programmable Network) は、SDN (Software Defined Network) を発展させたものであり、従来の SDN との違いは、ネットワークの制御を担うコントロールプレーンだけでなく、パケットを転送するデータプレーンのプログラムも可能であるということである。この DPN のコンセプトを実装したスイッチに、FLARE スイッチが存在する。FLARE は物理的なスイッチ上にスライズと呼ばれる仮想的なスイッチを複数個設置可能で、Slicer スライスでパケットを各スライスに割り当てる仕組みになっている。このスライズは互いに独立している。FLARE はネットワーク仮想化により、複数のネットワーク機能をプログラミングし動作させることができる。よって、それぞれのアプリケーションに対し、適切な仮想化されたネットワークに割り当て、制御できる。そこで、この FLARE を使用することにより、SDN では不可能であった。緊急時に特定のアプリケーションのトラフィックを優先的に流すような、きめこまやかな制御が可能となる。

5. 実験ネットワーク

本研究で使用する JGN-X 上の FLARE は図 2 のように

全国 8 カ所に 9 個設置されており、それぞれのノードは VLAN で接続されている。JGN-X 上の FLARE 間のノードでは、タグ VLAN が使用されている。タグ VLAN では、イーサネットフレームにタグをつけて VLAN を識別しており、1つの通信ポートで複数の異なる VLAN を通信させることが可能となっている。図 2 に、それぞれのノード間のリンクにおける VLAN ID を示している。

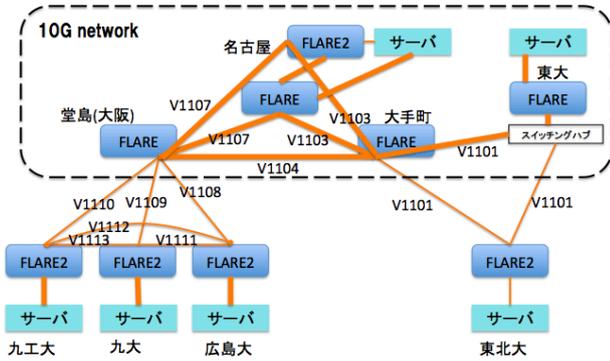


図 2 JGN-X 上の FLARE

実験を行うにあたり、各ノードにおいて FLARE スイッチを VLAN 対応の形で構成した。図 3 は名古屋の FLARE スイッチである。このように、FLARE は OpenFlow 機能をサポートしており、FLARE の OpenFlow は Click で実装されているため、VLAN 機能をスイッチ外で処理することが可能である [15]。

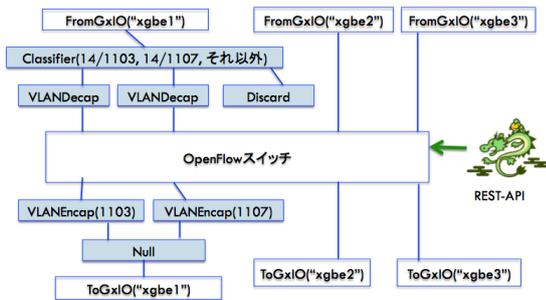


図 3 FLARE ノード (名古屋)

xgbe1 のポートは、大手町、堂島に繋がっているため、流れてくるパケットを OpenFlow スイッチに流す前に VLAN のタグを外し、また、OpenFlow スイッチから出てきたパケットには堂島や大手町に流すため、VLAN のタグをつける構成になっている。また、xgbe2 や xgbe3 は、それぞれ名古屋のもう一つの FLARE スイッチとサーバに繋がっているため、VLAN のタグをつけたり外したりする必要はない。このようなスイッチを作成することにより、VLAN で接続されていることを考えずに、REST-API を使用した経路設定をコントローラから指示することが可能である。

6. アプリ毎の制御機能の実装

図 4 のように、コントローラ側で収集したソーシャル情報を解析し、あるアプリケーションはルート 1 の経路を、またあるアプリケーションはルート 2 の経路を流れるように、アプリケーション毎の経路制御を行うことを考える。そのため、新たにスライスを作り、各 FLARE ノードのスライスに OpenFlow 機能を同様に実装する。

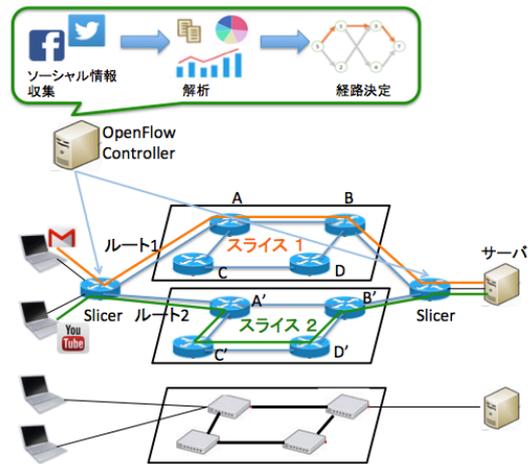


図 4 アプリケーションごとの経路制御

また、Slicer スライスに OpenFlow スイッチを実装することにより、コントローラから Slicer スライスにスライスを切り替えるように指示を与えることによって、スライス間の切り替えを行う。図 5 のように FLARE ノードの Slicer スライスに OpenFlow スイッチを使用し、OpenFlow コントローラから指示を与えられるように構成する。

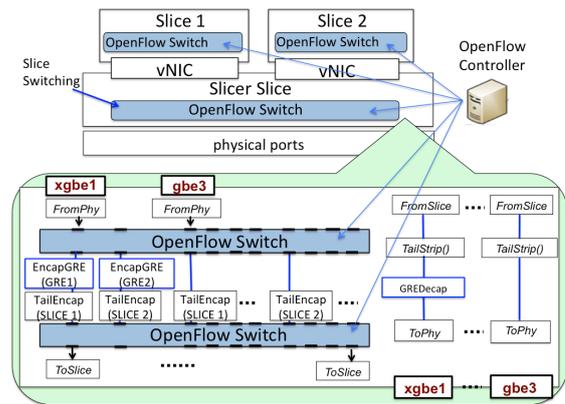


図 5 Slicer スライスに OpenFlow スイッチを使用した FLARE ノード

ここで、Slicer スライスに流れてきたパケットが、どのスライスに流れるものかを判定するために、GRE トンネルを使用する。GRE トンネルは、あるトラフィックを別の

プロトコルでカプセル化して伝送する。GRE トンネルを経由し通信が行われる場合、GRE ヘッダとともに新しい IP ヘッダが付加されてパケットが転送される。図 6 に図 5 の Slicer スライスの内部を示す。これは、九工大の例である。サーバに接続されている xgb1 のポートから入ってくるパケットは、スライス ID のタグを追加する前に、GRE トンネルのタグを追加する。また、JGN-X のネットワークに繋がっている gbe3 から xgbe1 に出力するパケットは、GRE を外す必要がある。GRE トンネルは OpenFlow 機能でサポートされていないので、GRE トンネルを使用したスイッチは、FLARE ならではである。このような形にすることで、スライス間の切り替えが可能となり、アプリケーション毎の経路制御も可能となる。

7. JGN-X 上の実験

7.1 実験概要

JGN-X での実験では、東日本大震災時の 2011 年 3 月 11 日 14 時から 15 時の実際のツイートに基づき、東北大から東大への通信を想定する。実験構成の都合上、東北大-東大サーバ間の障害経路切替として、アクセスするサーバを東大のサーバのデータをレプリケーションしている名古屋に設置したサーバにアクセスする経路切替シナリオで実験を行う。

7.2 実験結果

図 6 に実験の結果を示す。2700 秒付近で経路の切り替えが行われている。経路が切り替わったことを Ping の応答遅延時間を測定することにより確認した。

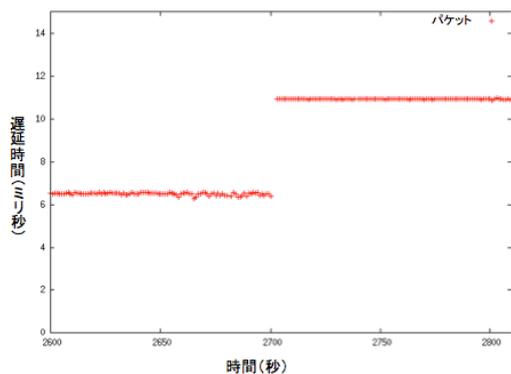


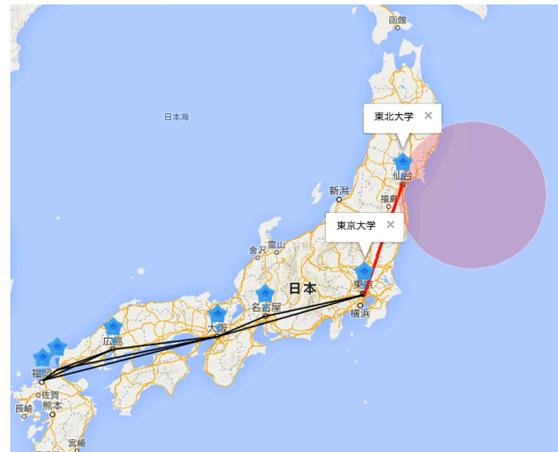
図 6 実験結果 (Ping の応答遅延時間)

最初は東北大と東大間の経路を通る通信を行っていたが、東北大と東大の間で障害を検知した後、東北大、大手町、名古屋の経路を通り通信が行われたことが、Ping の応答遅延時間から分かる。現時点では、システムが障害を検知してから、約 3 秒ほどでパケットが流れる経路が切り替わることを確認する。

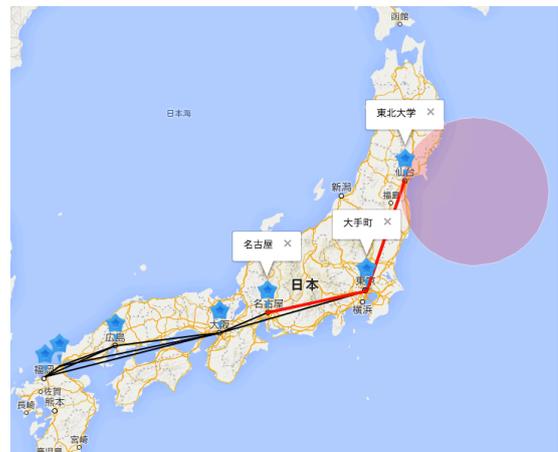
この結果より、ソーシャル・データとして Twitter の情報からネットワークの経路を自動で切り替える実験に成功し、本システムが有効であると言える。

7.3 実験結果の可視化

経路が自動で切り替わったことを確認するため、ネットワークの経路の可視化を行う。実証実験での障害検知前と障害検知後のネットワークを図 7 に示す。



(a) 障害検知前



(b) 障害検知後

図 7 実験結果の可視化

(a) は障害検知前を、(b) は障害検知後のネットワークを示したものである。それぞれ、図 2 の JGN-X 上の FLARE を Google Map 上に表示している。青いピンは各 FLARE スイッチ、黒い線は FLARE スイッチ間のリンク、赤い円は震源地を表している。赤い線がパケットが実際に流れた経路を表している。(a) 障害検知前は東北大から東大へパケットが流れており、(b) 障害検知後は東北大、大手町、名古屋の経路を通っている。可視化結果からも、ネットワークの経路が切り替わったことを確認できる。

8. 性能評価

FLARE スイッチ 3 台を使用し、性能評価を行う。RTP を使用する VoIP のアプリケーションでは、パケットロスが発生するとサービス品質の劣化が起こるとされている [16]。また、通信事業者の IP 通信サービスが満たすべき国際標準規格 (Y.1541) では、パケットロス率の上限は 0.1% と規定されている。そこで、2 点間の通話におけるパケット損失評価を行う。FLARE ノードをそれぞれ、東京、石川、宮城にあると想定し、実験を行う。各 FLARE スイッチ間は 10G で接続されている。東日本大震災時のツイートを基にシステムを動作させると、東京と宮城の間で通信障害を検知し、経路 1 から石川を経由する経路 2 に経路が切り替わる。

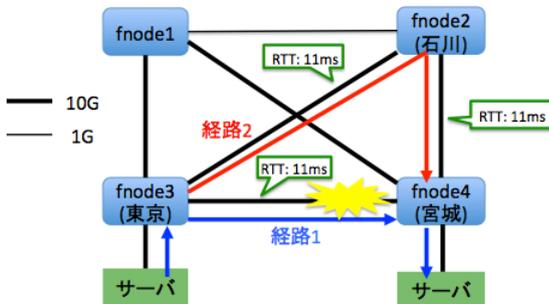


図 8 性能評価に使用する FLARE ノード

各 FLARE ノード間に、距離に基づいた遅延を発生させ、障害検知前の経路である経路 1 の東京に対応するノードと宮城に対応するノードの間でのみパケットロスをコマンドで 0~0.05% 発生させる。経路 1 のパケットロス率に対する経路 1 と経路 2 のスループットを測定する。ここでは、各都道府県間の直線距離から計算して、各ノード間の RTT を 11ms と仮定し、それぞれ遅延を挿入する。図 9 は性能測定結果である。

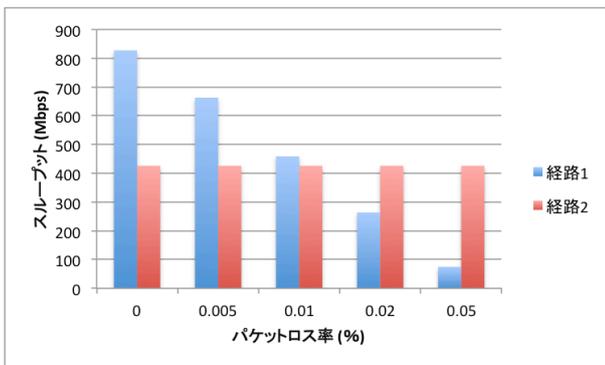


図 9 東京と宮城間のパケットロス率を変化発生させた場合の経路 1 と経路 2 のスループット

パケットロスが 0% の場合、経路 1 のスループットは石

川に対応する fnode3 の FLARE スイッチを経由している経路 2 のスループットに比べ、2 倍ほどスループットの値が高い。経路 2 の方がスループットが低いのは、経由する FLARE ノードが多いからであると考えられる。0.01% のパケットロスが起こると、経路 2 とほぼ同じ性能になり、0.02% のパケットロス率になると、経路 2 の方が性能が良くなることが分かる。0.05% のパケットロス率であると、格段に経路 2 の方が性能が良いことが確認できる。これにより、0.01% を超えるパケットロスが起こった場合には、石川を経由する経路に切り替える方がスループットの値が大きくなる、つまり性能が良くなることが分かる。

9. まとめと今後の課題

VLAN で接続されている JGN-X 上の各ノードにおいて FLARE スイッチを VLAN 対応の形で構成し、実験環境を整えた。これにより、VLAN で接続されていないスイッチを使用している場合と同じ経路設定を記述し、実行可能となる。また、スライス間の切り替えを行うため、各 FLARE ノードの Slicer スライスに OpenFlow スイッチを入れ、また、GRE トンネルを使用し、複数あるスライスを識別し、スライス間の切り替えを可能にする。そこで、実際に 2011 年 3 月に起こった東日本大震災時のツイートを基に、ネットワークの経路を自動的に切り替える実験を研究開発用テストベッド環境である JGN-X 上で本システムの実証実験を行った。JGN-X では Ping の応答遅延時間を測定することによって、本システムが正常に動作し経路が切り替わったことを確認した。パケットが流れる経路を Google Map 上に可視化した結果からも、本システムにより経路が切り替わったことを確認した。その結果、ソーシャル・データを基にした自動的な経路切り替え実験に成功し、本システムが有効であることを示した。また、パケットロスがどの位起こった時に、障害検知後の経路の性能がよくなるのかを確認した。

今後の課題としては、ポート番号ではなく、他の方法でアプリケーションの種類を判別し、アプリケーション毎に経路を切り替える実験を行っていく。また、2011 年 3 月に起こった東日本大震災時のツイートだけでなく、他の災害時におけるツイートを基に本システムの実証実験を行っていく。

謝辞

本研究は一部、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 先進的通信アプリケーション開発推進型研究開発および科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST) によるものである。

参考文献

- [1] 総務省: 「東日本大震災における通信の被災・輻輳状況」, <http://www.soumu.go.jp/maincontent/000136962.pdf>
- [2] 吉次由美: 「東日本大震災に見る大災害時のソーシャルメディアの役割」, https://www.nhk.or.jp/bunken/summary/research/report/2011_07/20110702.pdf
- [3] OpenFlow コンソーシアム: OpenFlow 仕様, Open Networking Foundation: <http://www.openflow.org/050819.pdf>, 2005 年 8 月 19 日
- [4] 飯島明夫: 「OpenFlow/SDN のキャリアネットワークへの適用について」 電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム 112.231 (2012): 85-87.
- [5] NEC: 「OpenFlow の活用により災害時における移動通信ネットワークの動的なソフトウェア制御を実現」, <http://jpn.nec.com/rd/innovation/feature/2013/11-openflow.html?>, コンセンサス, 2013 年 11-12 月号
- [6] 橋本直樹, 廣津登志夫: 「冗長経路を利用した OpenFlow 制御ネットワークの自動構築」, 日本ソフトウェア科学会 第 15 回 インターネットテクノロジーワークショップ
- [7] 原瑠理子, 長谷川友香, 小口正人: 「モニタリング情報に基づく OpenFlow を用いたネットワークトラフィック制御モデル」, DEIM2014, C9-6, 2014 年 3 月
- [8] 高橋裕, 秋山友理愛, 神津智樹, 山口実靖: 「バースト的負荷変動を考慮した OpenFlow を用いた動的資源割り当て (SDN/OpenFlow)」, 電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム 113.472 (2014): 225-229.
- [9] Akihiro Nakao, "FLARE: Open Deeply Programmable Network Node Architecture", Stanford Univ. Networking Seminar, October 2012, http://netseminar.stanford.edu/10_18_12.html
- [10] A. Nakao, Software-defined data plane enhancing sdn and nfv, Special Section on Quality of Diversifying Communication Networks and Services, IEICE Transactions on Communications, E98- B(1): 12-19, 2015.
- [11] Akihiro Nakao, "Software-Defined Data Plane Enhancing SDN and NFV", Special Section on Quality of Diversifying Communication Networks and Services, IEICE Transactions on Communications, 2015 Jan
- [12] Akihiro Nakao, Ping Du, "Application and Device Specific Slicing for MVNO", 2014 International Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC), 2014, October
- [13] Chihiro Maru, Miki Enoki, Akihiro Nakao, Shu Yamamoto, Saneyasu Yamaguchi, and Masato Oguchi, "Network Failure Detection System for Traffic Control using Social Information in Large-Scale Disasters," ITU Kaleidoscope Conference 2015: Trust in the Information Society, S5.3, 9-11 December 2015.
- [14] NICT, Network Testbed JGN-X <http://www.jgn.nict.go.jp>
- [15] UCLA.edu, The Click Module Router Project <http://read.cs.ucla.edu/click/click>
- [16] 「次世代 IP ネットワーク推進フォーラム技術基準検討 WG 検討報告」, 次世代 IP ネットワーク推進フォーラム技術基準検討 WG