

# 通信リンクの使用状況を考慮した サイクルに基づく障害復旧方式の OpenFlow による実現

永山 千博<sup>†</sup> 長野 純一<sup>†</sup> 篠宮 紀彦<sup>†</sup>

創価大学 工学研究科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

近年、情報通信ネットワークは大規模かつ複雑になっており、短時間の障害でも通信サービスに大きな影響を与えるため、高速かつ効率の良い障害復旧の実現が求められている。一般的な障害復旧方式として、リング型のトポロジを構築し、運用する技術が存在する[1],[2]。リング型トポロジの障害復旧は、そのトポロジの単純さから、現在主流のメッシュ型トポロジに比べ、高速に障害復旧が可能であるといわれている。そのため、本研究室ではメッシュネットワーク内に存在するループである、サイクル構造に着目し、サイクル単位でネットワークを効率的に制御・管理することを目指している[3]。

先行研究において、ネットワークのリンク障害をサイクル単位で復旧する方式が提案されている[4]。先行研究では、多項式時間で算出可能な基本タイセット系を用いて、全ての単一リンク障害に対応可能な障害復旧方式が示されている。しかし、先行研究では、障害復旧に使用可能なサイクルが複数存在した際のサイクル選択方法が示されておらず、障害復旧後の通信において輻輳が発生する可能性があった。ネットワーク通信における輻輳は、そのリンクを用いた通信を困難にし、リンクを利用するすべての通信に影響を及ぼす。本研究では、リンクの使用状況に応じて、最も輻輳が発生しづらいサイクルを障害復旧に用いることで、障害復旧後の通信をより安定して行えることを目指す。

## 2 サイクルに基づく障害復旧方式

### 2.1 諸定義

メッシュ型ネットワークのリング構成を効率的に被覆するために、タイセットグラフ理論を応用する。

【定義】グラフ  $G = (V, E)$  における任意の初等的な閉路上の枝集合をタイセットと定義する。  $V$  はグラフ内の点を表し、  $E$  は点を結ぶ枝を表す。また、  $G$  のどのタイセットも部分集合として含まないような枝集合  $T \subset E$  を  $G$  の木と定義し、  $T$  に含まれない枝集合  $\bar{T} = E - T$  を  $T$  に関する補木と定

義する。ここで、グラフ  $G$  における任意の木  $T$  に関する全てのタイセットの組を基本タイセット系と呼ぶ。なお、実際のネットワークではそれぞれ、点はノード、枝はリンク、補木はバックアップリンクに相当する。

### 2.2 動作の概要

本方式は通常使用される経路（現用経路）をあらかじめ設定しておく。この経路はグラフ上の木に則った経路とする。そのため、木を構成する各枝に対応するケーブルは、十分なリソースを有していることが望ましい。例として、図1の点  $v_1$  から点  $v_6$  へデータを送信する際は、  $\{e_1, e_4, e_8\}$ 、点  $v_1$  から点  $v_5$  へは、  $\{e_1, e_5\}$  といった経路を使う。

通常使用されている経路に障害が発生した場合、新たな経路を選択する。その際に、前節で述べた基本タイセット系の定義を用いる。前節の定義からグラフ上に木を構成すると、それに伴い基本タイセット系、補木が決定される。また、補木の任意の枝に対して、それに対応するタイセットを一意に決定することができる。このとき通常の経路を使用せずに目的の点までデータを送信する場合、そこには補木が含まれることになる。本方式では、その補木に対応するタイセットに操作を加えることで、通常の経路とは別に新たな経路を選出する。

### 2.3 OpenFlow による実装

先行研究では、障害復旧方式の検証環境として OpenFlow[5]を用いて、シミュレーション環境を作成した。OpenFlow ネットワークは、ネットワークの制御を担当するコントローラと、コントローラから送られる制御ルールに従いパケットを転送する OpenFlow スイッチの2つの構成要素からなっている。そして、ユーザがネットワーク制御のポリシーを自由に決定し、そのポリシーをスイッチング機能に反映させることで、より柔軟で、自由度が高いネットワーク制御を可能とする技術である。また、ネットワーク機器が持つ統計情報をカウンタとして定義しており、任意の情報を取得するための仕組みも存在する。

コントローラ側では初期設定として、各スイッチが所持する経路情報の基となるツリーデー

Cycle-based failure recovery by OpenFlow with considering utilization of communication links  
†Yukihiko NAGAYAMA †Junichi NAGANO †Norihiko SHINOMIYA

†Graduate School of Engineering, Soka University

ブルと、サイクル構造を把握するために使用するタイセットテーブルを算出し、経路情報を各スイッチに配布する。初期設定終了後には、ネットワークの監視を行い、障害検知のメッセージを受け取り次第、スイッチに経路を変更する制御命令を送信する。命令を受け取ったスイッチは、命令に従い経路を変更する。予備経路上の各スイッチは、配布された経路情報を基にパケットを転送することで障害を復旧する。

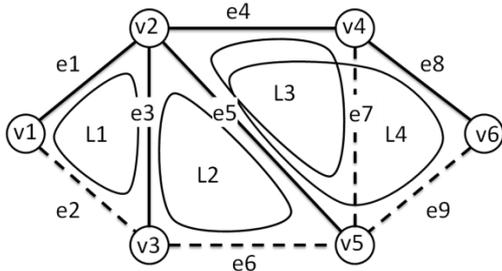


図1 ネットワークグラフ

### 3 リンク使用率を考慮したサイクル選択

先行研究では、障害リンクに複数のサイクルが隣接する際にサイクルの選択ができないため、何らかの選択基準を設け、それを基にサイクルを選択できるようにする必要がある。選択基準には帯域幅、リンク使用率、リンクの信頼性、ホップ数等が考えられる。本研究では、障害復旧後の通信で、輻輳の発生を防ぐことを目的としているため、最も輻輳が発生しにくいサイクルを選択する必要がある。そのため、サイクル選択基準としてはリンク使用率が適当である。

本研究では、先に挙げた OpenFlow の仕組みを用いて、1秒毎にネットワーク内の各リンク使用率を計算する。そして、障害が発生した際には、障害リンクに隣接するサイクルを調べ、障害復旧に利用可能なサイクルが複数存在する場合は、サイクルの選択プロセスを経て、適切なサイクルを選択し、障害を復旧する。

障害復旧に使用するサイクルの選択には、サイクルのリンク使用率を用いる。サイクルのリンク使用率には、サイクルに含まれるリンク使用率を比較し、使用率が最大の値を設定する。このサイクルのリンク使用率が高ければ高い程、そのサイクルで障害を復旧した後の通信において、輻輳が発生する可能性が高くなる。そのため、算出したサイクルのリンク使用率を、障害復旧可能なサイクル間で比較し、最もサイクルのリンク使用率が低いサイクルが、障害復旧に使用される。

### 4 検証実験・結果

提案手法の有効性を検証するため、障害復旧

時に利用可能なサイクル数が多い、フルメッシュトポロジにて実験を行った。フルメッシュトポロジとは、各ノードがその他の全ノードへ接続されているトポロジである。実験では、ネットワーク内のルートノードに対して、その他の全ノードからパケットを送信し、トラフィックを発生させる。そして、適当な単一リンクを意図的に自動シャットダウンし、障害を起こす。その後、提案手法と先行研究手法で障害復旧を行い、復旧後のバックアップリンク経由のリンク使用率を比較する。上記の操作を同一のトポロジを対象に、トラフィックパターンをランダムに変化させ30回実施した。結果を図2に示す。実験結果より、提案手法では、リンク使用率が先行研究手法に比べ低くなっており、輻輳の発生を低減できていることを確認した。

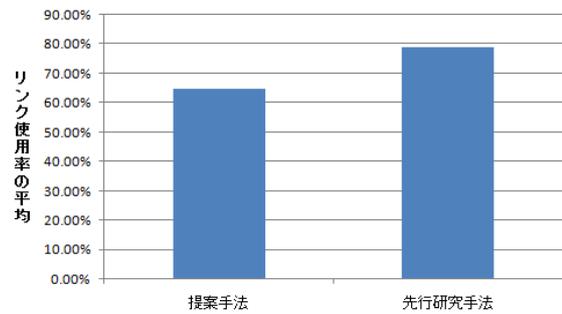


図2 障害復旧後のリンク使用率の比較

### 5 まとめと今後の課題

提案手法では、選択するサイクルが持つトラフィックと、障害リンクが持つトラフィックの合計を可能な限り小さくし、障害復旧後の輻輳を抑えることを目指した。しかし、トラフィックの合計が輻輳となりうる通信量であった場合は、提案手法においても輻輳が発生してしまう。今後は、トラフィック分散を考慮した輻輳回避手法の検討を行う必要がある。

### 参考文献

- [1]. ITU-T Rec. G.8032, "Ethernet Ring Protection Switching," June 2008.
- [2]. ANSI T1. 105.01-1998, "Telecommunications Synchronous Optical Network (SONET) - Automatic Protection Switching," Jan. 1998.
- [3]. T. Koide, etc. "A study on the tie-set graph theory and network flow optimization problems", Int. J. of Circuit Theory and Applications, vol. 32, pp.447-470(2004).
- [4]. 福田他"グラフのサイクル構造に着目した障害復旧方式の検討", 信学技報, Vol.111, no.468, NS2011-230, pp.283-288, 2012年3月.
- [5]. N. McKeown, etc. "OpenFlow : Enabling Innovation in Campas Networks", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 38, No. 2, (Apr 2008).