

# トランスポートネットワーク伝送パスの 負荷分散並列設定方式

鈴木 敏明<sup>1,a)</sup> 星原 隼人<sup>2</sup> 久保 広行<sup>1</sup> 小河 太郎<sup>3</sup>

受付日 2017年5月9日, 採録日 2017年11月7日

**概要:** 大規模なネットワーク障害等において、迅速な復旧が望まれている。障害の発生を検知した後に復旧用の伝送パスを迅速に設定するためのトランスポートネットワーク伝送パス設定方式を提案する。提案方式では、複数の伝送パスが利用するリンクの使用率を平均化するように伝送パスの経路を算出する。また、リンクの利用率が最大のリンクを利用する複数の伝送パスを異なるグループに所属させ、各グループに属した伝送パスを中心に、リンクを共有しない伝送パスを同一のグループに属するように管理する。さらに、グループごとにはシーケンシャルに伝送パスの設定を実行するが、グループ内では並列に伝送パスの設定を実行することにより、全伝送パスの設定時間を短縮する。提案した方式に対して、端点間接続型およびメッシュ型の2種類のネットワークトポロジにおいて、1,000本程度の伝送パスを設定する場合について評価を行った。その結果、シーケンシャルに伝送パスを設定する従来方式に比較し、提案方式では5倍程度迅速に伝送パスの設定が可能であることを明らかにした。

**キーワード:** トランスポートネットワーク, ネットワーク管理, 障害復旧, パス設定

## Distributed Parallel Configuration for Packet Transport Paths

TOSHIAKI SUZUKI<sup>1,a)</sup> HAYATO HOSHIHARA<sup>2</sup> HIROYUKI KUBO<sup>1</sup> TARO OGAWA<sup>3</sup>

Received: May 9, 2017, Accepted: November 7, 2017

**Abstract:** Rapid network recovery is demanded in the case of catastrophic failures. Prompt transport network paths' configuration scheme, which is called as a distributed parallel path configuration, is proposed in order to recover from the failures after detecting them. In the proposed scheme, each recovery path is calculated not to share the same link as much as possible to be load-balanced to use network routes. In addition, a link which is most commonly used by multiple paths is detected. Paths which use the link are categorized into different groups. In each group, remaining recovery paths that do not share links used by the categorized path are categorized into the same group. Besides, each group is configured sequentially and paths in each group are configured concurrently. Then all recovery paths are promptly configured. The proposed scheme is evaluated by using two types of network topologies. One is an end-to-end connection type network and the other is a mesh type connection network. The proposed scheme is evaluated in the case of about 1,000 recovery paths. As a result, it is verified that the proposed scheme is able to configure recovery paths about five times faster than a conventional one that configures them sequentially.

**Keywords:** transport network, network management, failure recovery, path configuration

<sup>1</sup> 株式会社日立製作所研究開発グループ  
Research & Development Group, Hitachi Ltd., Kokubunji,  
Tokyo 185-8601, Japan

<sup>2</sup> 株式会社日立製作所 IoT・クラウドサービス事業部  
IoT & Cloud Services Business Division, Hitachi, Ltd.,  
Shinagawa, Tokyo 140-0013, Japan

<sup>3</sup> 株式会社日立製作所通信ネットワーク事業部  
Telecommunications & Network Systems Division, Hitachi,  
Ltd., Yokohama, Kanagawa 240-0005, Japan

a) toshiaki.suzuki.cs@hitachi.com

### 1. はじめに

近年、アプリケーション等が必要とするネットワーク環境をソフトウェア制御により動的に構成し、ユーザが高品質にアプリケーションを利用可能とするリソース制御 (SDN: Software-Defined Networking) [1], [2], [3] が注目されている。SDNでは、必要とされるネットワークリソース

スが確保され、データ伝送のための設定が動的に実行される。そのため、新たなアプリケーションを導入する場合に必要な帯域等の確保や、災害等において発生した通信サービス停止を早急に復旧する場合等において期待されている。たとえば、大震災といった場合においては、多数の通信装置に障害が発生し、通信サービスを復旧させるまでに長時間を要することが想定される。そのため、災害等において発生した通信サービス停止を迅速に復旧する高信頼なネットワークが求められている。

帯域や遅延等の通信品質を保証するような通信サービスでは、ネットワークを構成する通信装置ごとにそのサービスに応じた QoS (Quality of Service) 等の保証が可能な LSP (Label Switched Path) [4] や PW (Pseudo Wire) [5] 等の伝送パスを設定し、これを単数あるいは複数ユーザに割り当てることで提供される。このような通信ネットワークにおける障害復旧方式として、プロテクション方式とリストラクション方式が研究 [6], [7] されている。プロテクション方式は、障害復旧用の予備経路をあらかじめ設定する方式であり、迅速な復旧が可能である。しかし、多重障害に対応するためには、2 倍、3 倍のネットワークリソースが必要となる。一方、リストラクション方式は、障害発生後において利用可能な通信装置を検出し、復旧用の伝送経路を算出する方式である。そのため、復旧するネットワークが大規模な場合、復旧用の経路算出とデータ伝送のための設定に長時間を要する。

筆者らは、伝送経路を設定してデータ伝送するトランスポートネットワークにおいて、大規模な障害や多重障害から迅速に復旧する方式を提案 [8] している。提案済みの方式では、ネットワーク全体を複数のエリアに分割し、エリア単位で発生する障害の組合せに対する復旧用の伝送経路をあらかじめ算出、および通信装置側で保持しておく。特に、エリア単位の障害発生に対する復旧パターンごとに対して識別子を付与し、識別子とともに復旧用の伝送経路設定を通信装置側で保持する。ネットワーク全体を管理するサーバが、発生したエリア単位の障害から復旧パターンを特定し、その識別子を通信装置へ通知する。復旧用の識別子を受信した通信装置は、指定された識別子に従い復旧用の伝送パス設定を実行することにより、迅速に障害を復旧させる。しかし、筆者らの既提案では、通信装置に障害が発生した場合において、伝送パスをすべて同時に設定可能な条件下における障害復旧方式として提案している。

本論文では、高品質な伝送パスによりデータ伝送が実行される高信頼なネットワークを対象とした障害復旧のための伝送パスの並列設定方式を提案する。具体的には、高信頼な伝送パスは、設定後においてその伝送品質を検証し、予定した伝送品質が検証されると次の伝送パスを設定するネットワークを対象とする。一例としては、MPLS-TP (Multi-Protocol Label Switching – Transport Profile)

ネットワーク [9] が該当する。

障害を復旧するプロセスは、1) 障害発生の検知、2) 復旧のための伝送パス算出、および3) 伝送パスの設定、とから構成される。1) 障害発生の検知においては、Operations, Administration and Maintenance (OAM) [10] の機能を活用して検知が可能である。筆者らは、2) 伝送パス算出に関して、既提案 [8] において伝送パス算出を事前に実行し、かつ通信装置側で保持することにより、障害復旧を迅速化する方式についてこれまでに提案した。本論文では、3) 伝送パスを迅速に設定する方式、について提案する。特に、同一のリンクを共有する伝送パスは同時には設定できない高品質なネットワークにおいて、伝送パスの迅速な設定方式について提案する。

以降の構成は、以下のとおりである。2 章において関連研究について述べる。3 章では、伝送パスが同一のリンクを極力共有しないように経路を算出し、かつリンクを共有しない伝送パスをグループ化して並列にパス設定する方式について提案する。4 章では提案方式について評価を行い、5 章において結論を述べる。

## 2. 関連研究

障害の発生した通信サービスの復旧方式として、プロテクション方式およびリストラクション方式が精力的に研究されている。たとえば、プロテクション方式として、予備経路による高速な復旧を実行する Fast Reroute 方式 [11]、ループ形成を防止する複数障害対応方式 [12]、および複数レベルの範囲に応じた復旧方式 [13] 等が研究されている。しかし、予備経路を含む広範囲で障害が発生した場合には、伝送経路の計算と再設定が必要であり、ネットワークサービスの提供が停止するという課題がある。また、リストラクション方式として、2 重の通信装置障害に対する再経路設定による復旧方式 [14]、分断されたリンクに対するデータ伝送のみ迂回設定する復旧方式 [15]、およびランドマークとなる通信装置経由による伝送経路の計算量を削減した復旧方式 [16] 等が研究されている。一方、段階を追ったリンクの復旧において、伝送可能となる帯域に着目した復旧方式 [17] についても研究されている。

しかし、大規模なネットワークでは、障害検出後に膨大に設定された現用系の伝送経路すべてに対する迂回路を算出、および算出した迂回路の設定には相当数の時間を要する課題がある。これまでの研究においては、大規模な障害、あるいは多重の障害に対して、迂回路の算出を迅速に実行する点に主眼をおくものが多い。また、一部において、復旧する帯域を最大化する方式について研究がなされている。一方、復旧する伝送パスの品質や伝送パスの設定時間について考慮が必要である。特に、設定した個々の伝送パス品質を検証する点に着目した場合、同一のリンクを利用する複数の伝送パスは、同時には個々の伝送パス品質を正確に

検証することが困難である。そのため、同一のリンクを共有する複数の伝送パスは、同時には設定検証ができない条件が発生する。本論文では、リストラクション方式において、同時に設定可能な複数の伝送パスをグループ化することで、障害復旧までの時間を短縮する方式を提案する。

### 3. 伝送パス並列設定方式提案

#### 3.1 伝送パス設定条件

高信頼な伝送パスはそれぞれで品質検証が必要なため、リンクを共有する伝送パスは同時に設定できない。一方、同一の通信装置を介するリンクであっても、通信インタフェースが異なる別のリンクであれば、伝送パスの設定を同時に行うことができる。そのため、同一リンクを共有しない複数の伝送パスをグループ化し、同時に設定を行えば、大量の伝送パスを迅速に構築することができ、障害から短時間で復旧することが可能になる。

#### 3.2 伝送パスグループ化の課題

設定すべき伝送パスが  $N$  本存在し、それらを  $N$  個以下のグループに分類したときのグループ総数は、ベル数 [18] として知られている。ここで、 $N = 1,000$  本とした場合、グループとして場合分け可能なグループ数は、1つのグループから 1,000 のグループまで存在し、組合せとして存在するパターンは膨大である。この膨大なパターンの中から、リンクを共有せずに組合せが可能かつグループ数が最小となる伝送パスの組合せパターンが最適解になるが、実時間における算出は困難であり、近似的な解を算出する必要がある。

#### 3.3 伝送パスの経路算出とグループ化の方針

複数の高信頼な伝送パスを迅速に設定するためには、同時に設定が可能な伝送パス、すなわちリンクを共有しない伝送パスをグループ化し、グループ内の伝送パスを同時に設定（伝送パスを構成する各通信装置/通信インタフェースへの設定）を行うことが有効である。リンクを共有しない伝送パスであれば、それぞれにおいて品質の確認が可能であり、同時に複数の伝送パスの設定を行うことが可能である。このとき、グループ単位ではシーケンシャルに伝送パスの設定を実行する必要があるため、各伝送パスの設定時間が一定だとすれば、グループ数が伝送パスの設定総時間に比例する。そのため、本論文では、グループ数を少なくすることを目的として方式提案を行う。

グループ数を少なくするためには、同一グループで設定可能な伝送パスを多くしなければならない。一般に、伝送パスの経路は、伝送パスのリンク数が小さくなるような経路探索（ダイクストラ法）[19] により行われる。これに対し、同一グループで設定可能な伝送パスを多くするためには、ある伝送パスが使用するリンクを用いずに設定可能な

伝送パスを発見し、これを前述の伝送パスと同一グループにする、という方式が必要になる。

リンクを共有しないように伝送パスの経路を算出する方法として、どの伝送パスも使用していないリンクに対しては小さい値 ( $x$ ) をリンクコストとして設定し、ある伝送パスが使用する経路のリンクに対しては、大きい値 ( $X \gg x$ ) を設定する。別の伝送パスの経路探索時には、経路のリンクコストの総和が小さい経路を探索することで、算出済みの伝送パスが使用するリンクを避けて経路を算出可能となる [20]。そして、ある算出済み伝送パスが使用するリンクに対して設定するリンクコストが、どの伝送パスも使用していないリンクのコストよりも十分に大きければ、探索された経路のリンクコスト総和が  $X$  以上のとき、他の伝送パスと経路を共有せずに求める伝送パスを探索することができなかつた、と判断することができる。

具体的には、リンクコストの初期値として  $x = 1$  と設定し、ネットワークボロジのリンク総数を 1,000 とすると、伝送パスの最長経路におけるコスト値はたかだか 1,000 となる。このとき、 $X$  を 1,000 以上に設定した場合、伝送パスのリンクコスト総和が 1,000 未満であれば、他の伝送パスが使用するリンクを共有せずに伝送パスを求めることができ、総和が 1,000 以上であれば、いずれかのリンクを共有している、と判断することができる。

他の伝送パスが利用するリンクを避けて伝送パスを計算したとしても、ネットワークボロジ形状あるいは設定する伝送パス数によって、同一リンクを使用せざるをえない複数の伝送パスが存在することがある。このとき、同一リンクを使用する伝送パスは、別のグループに設定する。

伝送パスの経路探索が、他の伝送パスの経路探索状況に依存する場合、その特性は複数の伝送パスをどのような順序で設定していくか、に依存すると考えられる。たとえば、図 1 の例において、同様の 4 つの伝送パス (A-B, C-D, E-F, G-H) を設定しようとしたとき、a) の順序 (C-D, A-B, E-F, G-H) では 2 つの伝送パスしか一度に設定できないが、b) の順序 (A-B, E-F, G-H, C-D) では 3 つの伝送パスをグループ化して一度に設定することができる。

経路を構成するリンク数が多い伝送パスは、他の伝送パスとリンクを共有する可能性が高い。そのため、伝送パスの経路を設定する順序は、リンク数が多い（経路長が長い）伝送パスから順に行うことが望ましい。一般に、ネットワークボロジが複雑で迂回路が多い場合、最短経路のリンク数が少ない（経路長が短い）伝送パスは、他の伝送パスのリンク使用状況に基づき迂回路を算出したとしても、リンク数が少ない（経路長が短い）と考えられる。

以上の原理から、本論文ではまず、各伝送パスの最短経路を個々に求め、その最短経路のリンク数に基づき、伝送パスの経路設定順序を決定する。また、算出した伝送パスに対して、リンクを共有しない伝送パスをグループ化する

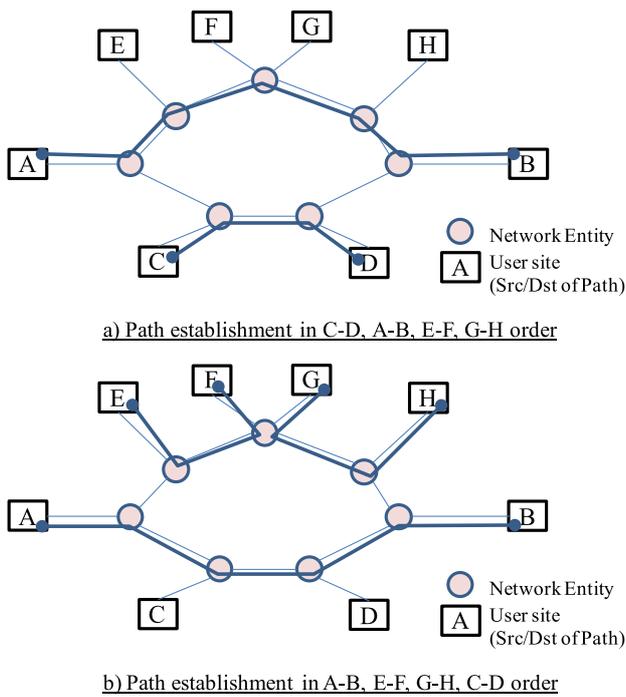


図 1 伝送パス経路算出順序とグループ化パス数

Fig. 1 Group of paths based on an order of path calculation.

が、構成されるグループ数を最少にする場合、少なくとも特定のリンクを共有する伝送パスは、異なるグループに所属する必要がある。そのため、各リンクにおいて、最大の共有数を有するリンクを特定し、そのリンクを利用する複数の伝送パスを、異なるグループに属するようにグループを構成する。また、各グループにおいて、そのグループに属する他の伝送パスと異なるリンクを利用する伝送パスを順次同一のグループに所属させる処理を実行する。これにより、構成されるグループ数を削減した伝送パスの経路が算出される。

### 3.4 伝送パスのグループ化方式の提案

伝送パスのグループ化機構を、図 2 に示す。提案する方式は、1) 伝送パスの経路を算出プロセスと、2) 算出された伝送パスをグループ化するプロセスとから構成される。

以下、図 2 の手順に従って、提案方式の各処理を述べる。

#### [1 伝送パスの経路算出プロセス]

- A) 各伝送パスに対し、通信装置が接続された全リンクを用いて、最短経路で仮の伝送パス経路（仮経路）と経路長（仮経路長）が算出される。ここで、最短経路とは、経由するリンクの数が最も小さい経路を指す。
- B) 算出した仮経路群に対して、経路長が大きい順にソートする。
- C) 前処理でソートされた順に、各伝送パスに対して最小コストとなる経路を探索し、最小コストの経路を本経路として確定する。ここでの経路コストは、その経路を構成する各リンクのリンクコストの総和となる。リ

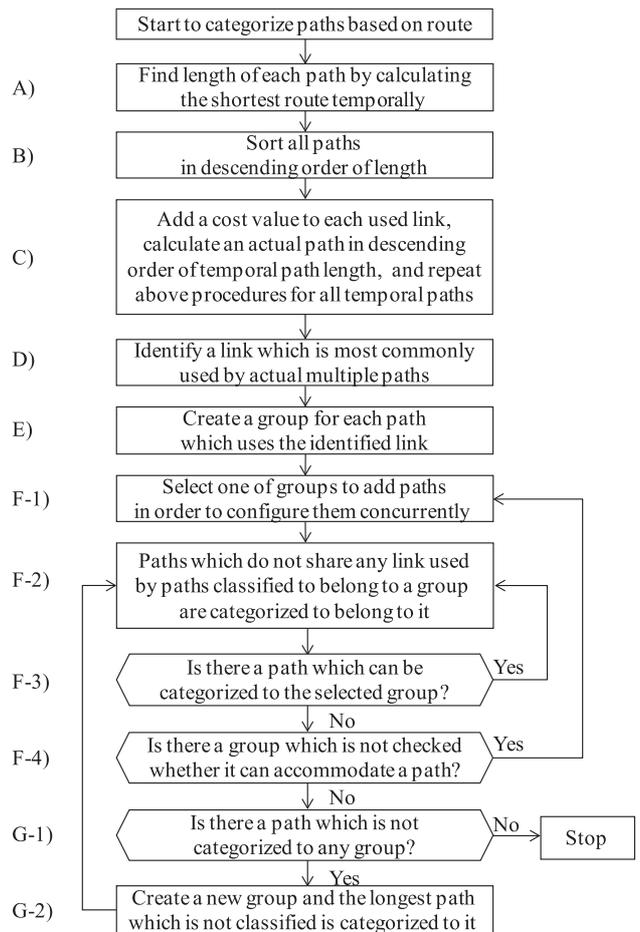


図 2 伝送パス経路算出とグループ化機構概要

Fig. 2 Scheme to calculate paths' routes and groups.

ンクコストは、そのリンクを含む経路が本経路として用いられるたびに一定値（リンクの総数以上の値  $X$ ）が加算される。

#### [2 伝送パスのグループ化プロセス]

- D) まず、各リンクの共用利用度（何本の伝送パスが本経路でそのリンクを通過するか）を求める。
- E) 共有利用度が最大のリンクを経由する各伝送パスを、異なるグループへ分ける。
- F) 区分けしたグループの 1 つを選択する。グループの選択は、たとえば伝送パスにはサービス要求が行われた順に管理番号が振られているものと想定し、その管理番号が最も小さいものから選択する、等の手段で行う。次に、グループ分けされていない伝送パスに対し、ソート済みの順番に従い、選択したグループに所属可能か否かが判定され、所属可能と判定された伝送パスが順次選択されたグループに所属するように管理される。当該グループへの所属可否は、グループ内に存在するすべての伝送パスが本経路として利用するリンクを使用していないか、によって判定される。続いて、同時設定可能な伝送パスを探索していないグループを順次選択して、同時設定可能な伝送パスのグループ化

を実行する。

- G) F) で所属グループが決定されなかった伝送パスが存在する場合、新たなグループを作成し、ソート済みの順番に従い、同時設定が可能な伝送パスをグループ化する。また、G) の処理を、所属グループが決定されていない伝送パスが存在しなくなるまで繰り返し実行する。

## 4. 評価

### 4.1 伝送パス設定時間の評価方法

提案する伝送パス設定方式を評価するにあたり、異なるトポロジを有する2種類の評価を実施する。第1の評価は、企業等における事業所の端点である通信装置間を接続するコアネットワークを想定したトポロジに対して、伝送パス設定時間を評価する。第2の評価では、端点の通信装置間接続だけでなく、メッシュでの接続を有するネットワークを想定したトポロジで、伝送パスの設定時間を評価する。

また、基本的な伝送経路設定方法として、最短経路で伝送パスを算出する方法を選択し、長経路な伝送パスから同一のリンクを共有しない伝送パスをグループ化する方式(基本並列化方式)と、提案方式(負荷分散並列化方式)とを比較評価する。基本並列化方式は負荷分散並列化方式に比べ、伝送パスが集中するリンクに着目したグループ化を行わないため、両方式を比較することにより、負荷分散並列化方式のグループ化手法の効果を定量的に把握することができる。さらに、事前に伝送パスのグループ化等を行わず、障害発生後に管理番号に従って1本1本の伝送パスを順次設定する従来の伝送パス設定方式(シーケンシャル方式)とも比較を行う。

本評価においては、各ネットワークトポロジにおける初期のリンクコスト値を1とし、一度利用されたリンクに対してコスト値1,000を加算し、経路の探索を行った。本評価に用いたネットワークトポロジではリンク総数が1,000未満であるため、このようにリンクコストを設定すると、経路探索結果の伝送パスのコストが1,000以上となっている場合に、グループ内の他の伝送パスが用いているリンクを用いたと判断することができる。

#### 4.1.1 端点接続型ネットワークに対する評価

端点接続型の評価ネットワークトポロジを、図3に示す。図において、左端の通信装置(Transport node)10台と右端の通信装置10台間において、伝送パスを設定する構成で評価を実施する。本トポロジにおける条件では、合計100本、200本、400本、600本、800本、1,000本の伝送パスを設定する。伝送パス100本の設定では、左端の通信装置10台と右端の通信装置10台と間において、すべての組合せに対して伝送パスを設定する構成である。伝送パス200本~1,000本の設定では、100本の伝送パスそれぞれに対してN倍化することにより求めている。評価では、設

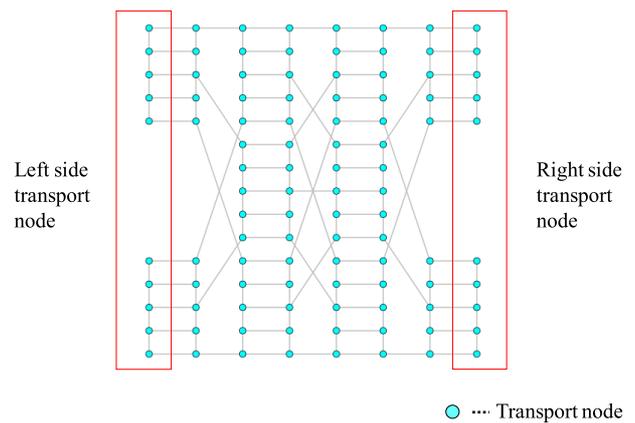


図3 端点接続型ネットワークトポロジ

Fig. 3 Network topology with end-to-end connections.

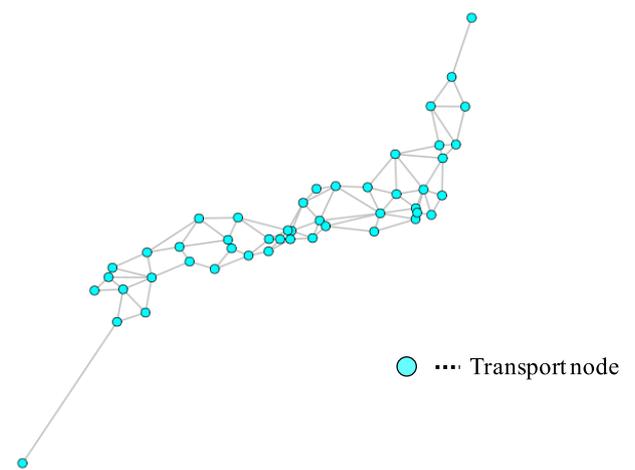


図4 メッシュ接続型ネットワークトポロジ

Fig. 4 Network topology with mesh connections.

定する全伝送パスに対して、通信装置間のリンクを共有せず並列に設定可能な伝送パスをグループ化し、そのグループ数を評価する。ここでは、各グループにおける伝送パス設定は同時に行われ、グループごとに対しては伝送パス設定時間に大きな相違はないとして扱い、全伝送パス設定には、グループ数が大きく影響するとして評価する。そのため、構成されるグループ数が少ない方が、より迅速に全伝送パスの設定が完了すると評価される。

#### 4.1.2 メッシュ型ネットワークに対する評価

メッシュ接続型の評価ネットワークトポロジを、図4に示す。図におけるネットワークトポロジは、日本国内における県庁所在地(1都1道2府43県)の位置に対して通信装置を配備した場合の位置関係で構成されている。評価は、任意に選択した2台の通信装置間に伝送パスを設定する構成で実施する。具体的には、47台の通信装置が配備されるため、2台の通信装置におけるすべての組合せ ${}_{47}C_2$ パターンに対する伝送パスに対して評価を実施する。端点接続型のネットワークトポロジ同様に、通信装置間のリンクを共有せず同時に設定可能な伝送パスをグループ化し、そのグループ数を評価する。

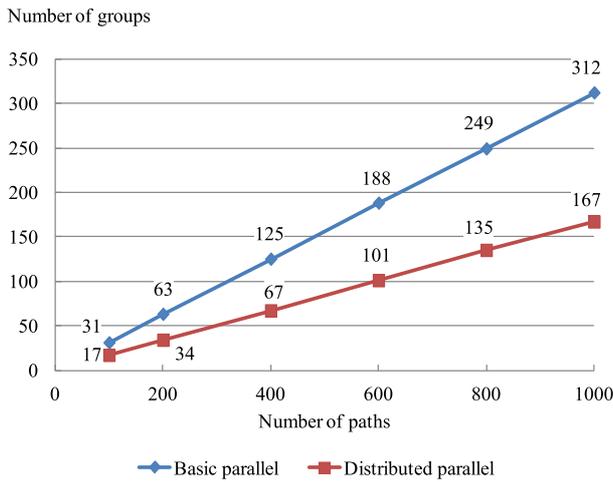


図 5 端点接続型ネットワークにおけるグループ数

Fig. 5 Number of groups in the case of end-to-end network.

## 4.2 評価結果

### 4.2.1 端点接続型ネットワークにおける評価結果

総伝送パス数に対して構成されたグループ数の評価結果を図 5 に示す。図より、全体的な傾向として、総伝送パス数の増加とともにグループ数もおおむね線形的に増加している。総伝送パス数が 1,000 本の場合、すべての伝送パスを 1 本 1 本順番に設定するシーケンシャル方式では、1,000 のグループが存在することに相当するため、1,000 回の伝送パス設定処理が必要となる。基本並列化方式 (Basic parallel) ではグループ数が 312 であり、負荷分散並列化方式 (Distributed parallel) ではグループ数が 167 であった。このことから、従来の障害復旧手段であるシーケンシャル方式に比較し、基本並列化方式では約 3.2 倍、提案した負荷分散並列化方式では約 5.9 倍高速に、すべての伝送パスを設定可能になる。

基本並列化方式では、伝送パスの経路が最短となる経路を算出するため、特定のリンクを共有する伝送パスが多くなってしまふ。しかし、組合せ可能な伝送パスを極力グループ化することで、シーケンシャル方式に比較し、約 3.2 倍高速に全伝送パスの設定が可能となっている。一方、提案した負荷分散並列化方式では、伝送パスの経路算出時点で特定のリンクをなるべく共有しないようにしているため、同一リンクを利用する伝送パスが少なくなり、伝送パスをグループ化しやすくなるため、従来のシーケンシャル方式に比較し約 5.9 倍高速に全伝送パスの設定が可能となる。

グループにおける平均伝送パス数の評価結果を図 6 に示す。図より、全体的な傾向としては、グループ内における平均の伝送パス数は、総伝送パス数の増加に対する依存性が少なく、おおむね一定の値を維持していることを検証した。具体的には、基本並列化方式においては、グループ内伝送パス数が、平均として約 3.2 で推移することを検証した。また、負荷分散並列化方式では、グループ内伝送パス数が、平均として約 5.9 で推移することを検証した。本結

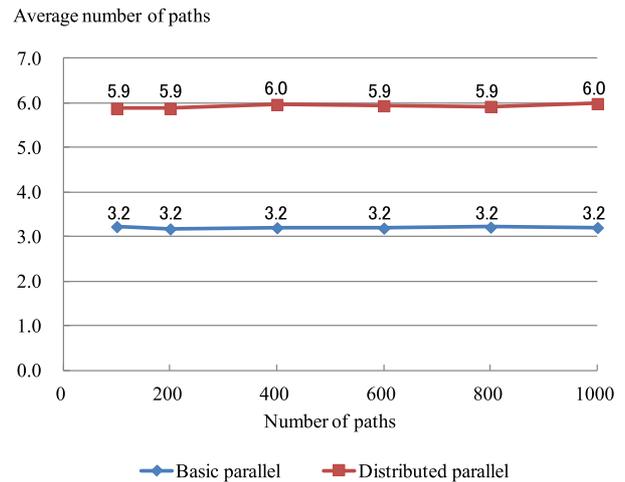


図 6 端点接続型ネットワークにおける平均伝送パス数

Fig. 6 Average number of paths in the case of end-to-end network.

表 1 メッシュ型ネットワークにおけるグループ数および平均伝送パス数

Table 1 Number of groups and average number of paths in the case of mesh network.

No.	Item	Basic parallel	Distributed parallel
1	Number of groups	287	199
2	Average number of paths	3.8	5.4

果により、負荷分散並列化方式では、すべての伝送パスをシーケンシャルに設定する場合に比較し、約 5.9 倍高速に伝送パスの設定が可能であることを検証した。

グループにおける平均の伝送パス数は、並列に設定が可能な伝送パス数を表しており、この値が高い方が全伝送パスの設定が迅速に完了することを意味している。従来方式では、伝送パスをシーケンシャルに設定するため、グループごとの伝送パス数は 1 本に相当する。基本並列化方式では、各グループに平均約 3.2 本の伝送パスが存在し、それらが並列に設定されるため、従来方式に比較し、約 3.2 倍高速に全伝送パスの設定が可能となる。提案方式である負荷分散並列化方式では、各グループに平均約 5.9 本の伝送パスが存在し、それらが並列に設定されるため、従来方式と比較し、約 5.9 倍高速に全伝送パスの設定が可能となっている。

### 4.2.2 メッシュネットワークにおける評価結果

メッシュ型のネットワークトポロジ (設定伝送パス数 1,081 本) に対して構成されたグループ数、および各グループにおける平均の伝送パス数の評価結果を表 1 に示す。表より、構成されたグループ数は、基本並列化方式では 287 であり、負荷分散並列化方式では 199 であった。一方、各グループにおける伝送パス数は、基本並列化方式では平均約 3.8 本であり、負荷分散並列化方式では平均約 5.4 本で

あった。グループにおける平均の伝送パス数は、並列に設定が可能な伝送パス数を表しており、この値が高い方が全伝送パスの設定が迅速に完了することを意味している。

従来方式では、伝送パスをシーケンシャルに設定するため、グループごとの伝送パス数は1本に相当する。メッシュ型ネットワークに対して、基本並列化方式では、各グループに平均約3.8本の伝送パスが存在し、それらが並列に設定されるため、従来方式に比較し、約3.8倍高速に全伝送パスの設定が可能であることを検証した。提案方式である負荷分散並列化方式では、各グループに平均約5.4本の伝送パスが存在し、それらが並列に設定されるため、従来方式に比較し、約5.4倍高速に全伝送パスの設定が可能であることを検証した。

#### 4.3 伝送パス算出とグループ化結果の考察

図5、図6および表1より、端点接続型およびメッシュ型のネットワークワークトポロジ双方に対して、伝送パスをシーケンシャルに設定する従来方式に比較し、提案した負荷分散並列化方式では5倍以上高速に高信頼な伝送パスの設定が可能であることを検証した。その結果、新たなネットワークサービスを立ち上げる場合、あるいはネットワーク障害等により伝送パスを復旧する必要がある場合において、従来に比較し迅速に伝送パスの設定が可能である。たとえば、設定すべき高信頼な伝送パスが1,000本存在し、従来方式のようにシーケンシャルにすべての伝送パスを設定する場合、1,000回の伝送パス設定処理が必要となる。一方、提案方式では、リンクを共有しない伝送パスは同時に設定されるため、従来方式の1/5、すなわち200回程程度の伝送パス設定時間に短縮される可能性がある。

#### 5. おわりに

本論文では、大規模なネットワーク障害等において復旧すべき多数の高信頼な伝送パスを同時に設定することで、設定時間を短縮化するための負荷分散並列化設定方式を提案した。提案方式では、複数の伝送パスが利用するリンクの使用率を平均化するように伝送パスの経路を算出する。また、リンクの利用率が最大のリンクを利用する複数の伝送パスを異なるグループに所属させ、各グループに属した伝送パスを基軸に、リンクを共有しない伝送パスを同一のグループに属するように管理する。さらに、グループごとにはシーケンシャルに伝送パスの設定を実行するが、グループ内では同時に伝送パスの設定を実行することにより、全伝送パスの設定時間を短縮する。

提案した方式に対して、端点間接続型およびメッシュ型の2種類のネットワークトポロジにおいて、1,000本程度の伝送パスを設定する場合について評価を行った。その結果、100台の通信装置を有する端点接続型のネットワークに対して1,000本の伝送パスを設定する場合、シーケン

シャルに設定する従来方式に対して約5.9倍高速に伝送パスの設定が可能であることを検証した。また、47台の通信装置を有するメッシュ型のネットワークに対して、1,081本の伝送パスを設定する場合、シーケンシャルに設定する従来方式に対して約5.4倍高速に伝送パスの設定が可能であることを検証した。結果として、シーケンシャルに伝送パスを設定する場合に比較し、提案方式では、5倍程度迅速に伝送パスの設定が可能であることを明らかにした。

今後は、大規模に障害が発生している状況において、より確実に伝送経路変更を制御するシステムを実現する予定である。特に、ユーザから指定された伝送パスの帯域を保証するように、各リンクにおける可用帯域を考慮した伝送パス算出について方式を拡張する予定である。

謝辞 本研究の一部は、総務省の委託研究「自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）の開発・実証 I 自律型モビリティシステムの高信頼化に係る技術の確立」、および「ネットワーク仮想化技術の研究開発（ネットワーク仮想化統合技術の研究開発）」(O3プロジェクト)の一環として実施された。

#### 参考文献

- [1] SDxCentral, SD-WAN (online), available from (<https://www.sdxcentral.com/sd-wan/>) (accessed 2018-01-16).
- [2] Open Networking Foundation, Software-Defined Networking (SDN) Definition (online), available from (<https://www.opennetworking.org/sdn-definition>) (accessed 2018-01-16).
- [3] Haleplidis, E. et al.: Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology, IETF RFC 7426 (2015).
- [4] Rosen, E., Viswanathan, A. and Callon, R.: Multiprotocol Label Switching Architecture, IETF RFC 3031 (2001).
- [5] Bryant, S. and Pate, P.: Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3) Architecture, IETF RFC 3985 (2005).
- [6] Mannie, E. and Papadimitriou, D.: Recovery (Protection and Restoration) Terminology for Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS), IETF RFC 4427 (2006).
- [7] Bocci, M., Bryant, S., Frost, D., Levrau, L. and Berger, L.: A Framework for MPLS in Transport Networks, IETF RFC 5921 (2010).
- [8] Suzuki, T. et al.: A Network-disaster Recovery System using Multiple-backup Operation Planes, *International Journal on Advances in Networks and Services*, Vol.8, No.1&2, pp.118-129 (2015).
- [9] Sprecher, N. and Farrel, A.: MPLS transport profile (MPLS-TP) survivability framework, IETF RFC 6372 (2011).
- [10] Busi, T. and Allan, D.: Operations, administration and maintenance framework for MPLS-based transport networks, IETF RFC 6371 (2011).
- [11] Pan, P., Swallow, G. and Atlas, A.: Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels, IETF RFC 4090 (2005).
- [12] Zhang, J., Zhou, J., Ren, J. and Wang, B.: A LDP fast protection switching scheme for Concurrent multiple fail-

ures in MPLS network, *2009 International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES '09)*, pp.259–262 (2009).

- [13] Jia, Z. and Yunfei, G.: Multiple mode protection switching failure recovery mechanism under MPLS network, *2010 2nd International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods (WMSVM 2010)*, pp.289–292 (2010).
- [14] Lucci, M., Valenti, A., Matera, F. and Del Buono, D.: Investigation on Fast MPLS Restoration Technique for a GbE Wide Area Transport Network: A Disaster Recovery Case, *12th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Tu.C3.4, pp.1–4 (2010).
- [15] Pham, T.S., Lattmann, J., Lutton, J., Valeyre, L., Carlier, J. and Nace, D.: A restoration scheme for virtual networks using switches, *2012 4th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, pp.800–805 (2012).
- [16] Wang, X., Jiang, X., Nguyen, C., Zhang, X. and Lu, S.: Fast Connection Recovery against Region Failures with Landmark-based Source Routing, *2013 9th International Conference on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2013)*, pp.11–19 (2013).
- [17] Wnag, J., Qiao, C. and Yu, H.: On Progressive Network Recovery After a Major Disruption, *IEEE INFOCOM*, pp.1925–1933 (2011).
- [18] Set Partitions: Bell Numbers, available from (<http://dlmf.nist.gov/26.7>) (accessed 2018-01-16).
- [19] Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, *Numerische Mathematik*, Vol.1, pp.269–271 (1959).
- [20] Srisuresh, P. and Joseph, P.: OSPF-xTE: Experimental Extension to OSPF for Traffic Engineering, IETF RFC 4973 (2007).



久保 広行

2009年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了。2011年同大学院博士後期課程修了。2012年(株)日立製作所入社。以来、主にモバイルネットワーク、QoS技術、ネットワーク運用管理技術、車両向け通信技術に関する研究に従事。博士(情報学)。IEEE、電子情報通信学会各会員。



小河 太郎

1991年中央大学理工学部卒業。同年(株)日立製作所入社。以来、音声処理システム、キャリアネットワーク向けサービスノード系交換機、アクセス系伝送装置、SDN技術の研究開発に従事。



鈴木 敏明

1990年東京理科大学理工学部卒業。1992年同大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。以来、臨場感映像通信システム、アクティブネットワーク、省電力クラウドシステム、プログラマブルネットワークの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



星原 隼人

2006年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。2010年同大学院博士課程修了。同年(株)日立製作所入社。以来、キャリアネットワーク向け伝送装置、モバイルコアネットワークの障害管理、モバイルユーザのQoE推定等の研究開発に従事。工学博士。IEEE会員。