

# 光パスネットワークにおける階層化ルーティング のための分散ノードクラスタリング手法

福島 行信  
博士後期課程2年  
大阪大学 大学院情報科学研究科  
村田研究室

1

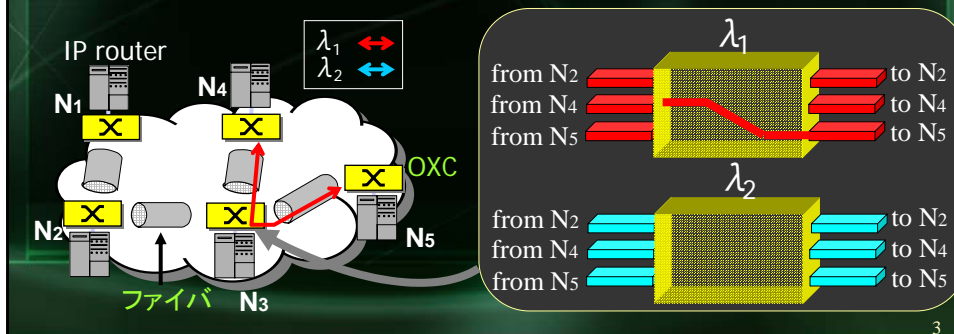
## 発表内容

- 研究の背景
  - 光パスネットワーク
  - ドメイン間光パス設定に関する研究
- ドメイン間光パス設定のためのルーティング  
プロトコル
  - スケーラビリティに関する問題点と解決策
- 従来のノードクラスタリング手法
- 大規模光パスネットワークを対象としたノード  
クラスタリング手法
- 評価結果
- まとめと今後の課題

2

## 光パスネットワーク

- ネットワークアーキテクチャ
  - ノード: 光クロスコネクタ (OXC)
    - 波長ルーティング
  - リンク: ファイバ
- 回線交換型のネットワーク
  - 送受信ノード間に光パスを設定し, 光パス上で通信



3

## 研究の背景

- ドメイン間光パス設定に関する研究
  - 従来研究: 1つのドメイン内のみでの光パス設定を対象
  - BGPがドメイン間光パスのルーティングプロトコルに対する要求条件を満たす唯一のプロトコル[1]
    - 要求条件: ドメイン間経路制御の独立性
    - ドメイン間光パス設定への適用例
      - OBGP (Optical BGP) [3]
- BGPの問題点
  - 経路表サイズの肥大化
    - ドメイン数の増大に伴い経路数が増加
  - ➔ 階層化ルーティングの導入が必要

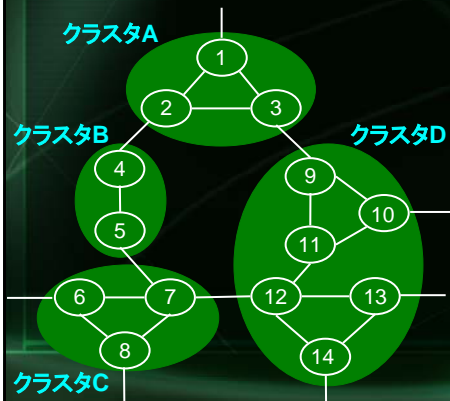
[1] G. Bernstein, B. Rajagopalan, D. Pendarakis, A. Chiu, J. Strand, V. Sharma, D. Cheng, R. Izmailov, L. Ong, and S. Dharanikota, "Optical inter domain routing considerations," *Internet Draft draft-ietf-ipo-optical-inter-domain-02.txt*, Feb. 2003.

[3] M. J. Francisco, S. Simpson, L. Pezoulas, C. Huang, J. Lambadaris, and B. St. Amaud, "Interdomain routing in optical networks," in *Proceedings of Opticomm2001*, pp. 120-129, Aug. 2001.

4

# 階層化ルーティング

- 階層化ルーティング
  - 複数のノードで構成される**クラスタ**を構築
  - 複数のノードへの経路を一つのクラスタへの経路に**集約**し経路表サイズを抑える



ノード1が保持する経路表

階層化ルーティング導入前

目的地:	経路
ノード2:	1,2
ノード3:	1,3
ノード4:	1,2,4
ノード5:	1,2,4,5
ノード6:	1,2,4,5,7,6
ノード7:	1,2,4,5,7
ノード8:	1,2,4,5,7,8
ノード9:	1,3,9
ノード10:	1,3,9,10
ノード11:	1,3,9,11
ノード12:	1,3,9,11,12
ノード13:	1,3,9,11,12,13
ノード14:	1,3,9,11,12,14

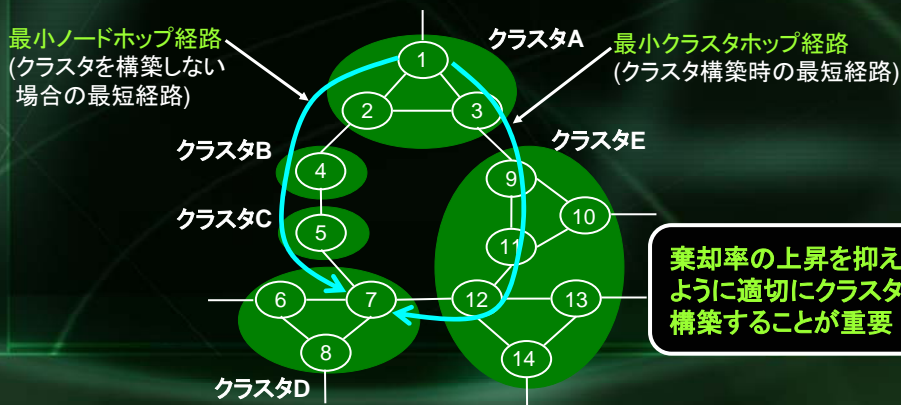
階層化ルーティング導入後

目的地:	経路
ノード2:	1,2
ノード3:	1,3
クラスタB:	A,B
クラスタC:	A,B,C
クラスタD:	A,D

5

# 階層化ルーティングの問題点

- **光パス設定要求の棄却率が増加**
  - 経路長の増加により、波長連続性制約を満たす空き波長が見つかる確率が小さくなる



6

## 研究の目的

- 大規模光パスネットワークで階層化ルーティングを実現するためのノードクラスタリング手法を提案
  - 階層化ルーティングの導入によりルーティングプロトコルのスケーラビリティを向上
  - 光パス設定要求棄却率の上昇を抑えるようにクラスタを構築

7

## 従来のクラスタリング手法

- Bounded, connected, min-cut 問題 [8]
  - 目的関数
    - Min-cut: クラスタ間リンクコストを最小化
      - リンクコストの例: クラスタ間リンク数, 伝播遅延時間など
  - 制約条件
    - Bounded: クラスタが含む要素数が上限値以下
    - Connected: 同一クラスタ内のノードへは, クラスタ内ノードのみを経由して到達可能
  - 集中型のノードクラスタリング手法によりクラスタを構築
    1. 再帰的二分法による初期クラスタの作成
    2. 隣接クラスタ間でのノード交換
    3. クラスタの合併(マージ)
- 問題点
  - 大規模なネットワーク上で集中してクラスタを計算するのは困難
    - ネットワーク全体の完全なトポロジー情報が必要
  - 経路長の増加による光パス設定要求棄却率の上昇を考慮していない

[8] R. Krishnan, R. Ramanathan, and M. Steenstrup, "Optimization algorithms for large self-structuring networks," in *Proceedings of INFOCOM'99*, pp. 71-78, Mar. 1999.

8

## 大規模光パスネットワークを対象とした ノードクラスタリング手法に対する要求条件

### 要求条件1

経路表サイズを抑制

➡ クラスタが含むノード数の上限値を設ける

### 要求条件2

光パス設定要求棄却率を最小化

➡ ノード間で設定可能な光パス数の最大化により棄却率を低減

### 要求条件3

大規模ネットワークでクラスタを構築可能

➡ 各クラスタが分散してクラスタを構築

- ネットワーク全体のトポロジー情報を必要としない

9

## 大規模光パスネットワークを対象とした 分散ノードクラスタリング手法

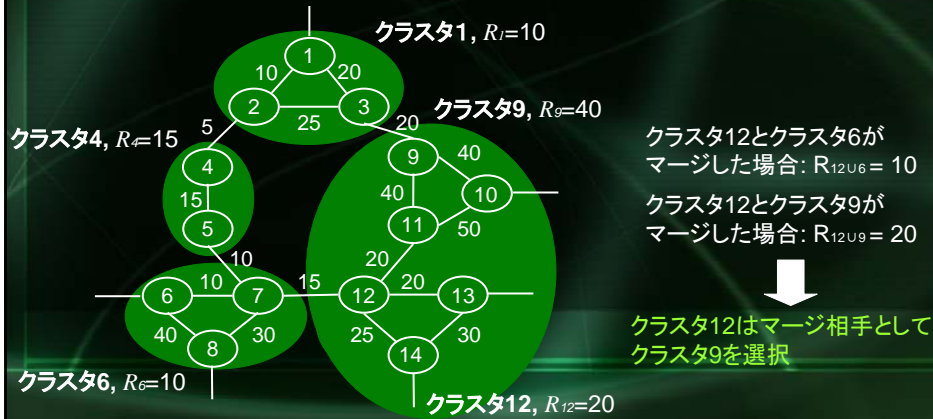
- **Bounded, connected, max-path問題**
  - 目的関数
    - **Max-path**: ノード間で設定可能な光パス数の最大化
      - 光パスが経由する各クラスタの入口ノードから出口ノードまで設定可能な光パス数が大きくなるようにクラスタを構築
  - 制約条件
    - **Bounded**: クラスタが含む要素数が上限値以下
    - **Connected**: 同一クラスタ内のノードへは、クラスタ内のノードのみを経由して到達可能
- 各クラスタが分散してクラスタを構築
  - 初期状態: ノード=クラスタ
  - 下記手順を繰り返すことによりクラスタを構築
    - 一定時間、隣接クラスタからマージ操作要求が到着するのを待つ
      - マージ操作要求が到着
        - ➡ 最良の要求を受け入れ、マージ操作を実行
      - マージ操作要求が到着しない
        - ➡ 最良の隣接クラスタへマージ操作要求を送信

10



## 提案手法によるクラスタ構築例

- マージ後のクラスタにおける入口ノードから出口ノードまで設定可能な光パス数の最小値( $R$ )が最大化されるようにマージ相手を選択



11

## シミュレーションモデル(1/2)

- ネットワークモデル
  - Waxman手法により生成したランダムネットワーク
    - ノード数: 100, 200, 300, 400, 500
    - ファイバ数: 1~30
    - 多重化波長数: 32
    - リンクの伝播遅延時間: 10[ms]
- クラスタリング手法で用いたパラメータ
  - クラスタサイズの上限值:  $\sqrt{N}$  ( $N$ : ノード数)
  - マージ操作要求受付時間: 一様乱数 (10, 20, 30, 40)

12

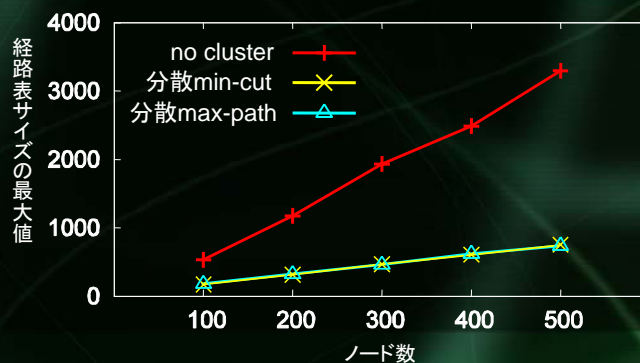
## シミュレーションモデル(2/2)

- 光パス設定要求
  - 平均到着率  $\lambda$  (calls/s)のポアソン分布に従う
  - 光パス保持時間: 平均60[s]の指数分布に従う
- クラスタリング手法
  - 分散max-path
    - 設定可能光パス数の最大化を目指してクラスタを構築
  - 分散min-cut
    - bounded, connected, min-cut問題を分散して解く手法
    - クラスタ間リンク数最小化を目指してクラスタを構築
  - No cluster
    - クラスタを構築しない

13

## 評価結果: 最大経路表サイズ

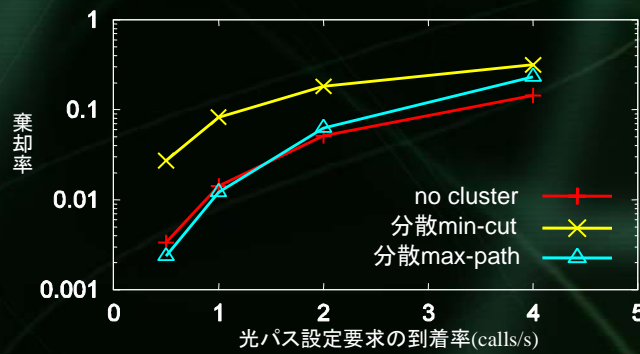
- 分散max-path: クラスタを構築しない場合の22~33%
- ノード数: 大  $\Rightarrow$  経路集約の効果: 大



14

## 評価結果: 光パス設定要求の棄却率

- 低負荷時, 分散max-pathとno clusterはほぼ同等の棄却率を示す
- 分散max-pathは分散min-cutと比較して最大で1桁程度棄却率を抑える



ノードペア間で設定可能な光パス数の平均値

No cluster	分散min-cut	分散max-path
307.8	262.6	337

15

## まとめと今後の課題

- 発表のまとめ
  - 大規模光パスネットワークで階層化ルーティングを実現するための分散ノードクラスタリング手法を提案
    - 設定可能光パス数の最大化により光パス設定要求の棄却率を抑える
  - シミュレーション結果
    - クラスタを構築しない場合と比較して最大経路表サイズを大幅に減少させる
      - ノード数が大きくなるほど経路集約の効果は大きい
    - 分散min-cutと比較して棄却率を最大で1桁程度抑える
    - クラスタを構築しない場合とほぼ同等の棄却率を示す
- 今後の課題
  - トポロジーが変化した際にクラスタを再構成するためのクラスタリング操作を提案

16