

## 光電子融合型パケットルータを用いた データセンターネットワーク向け 低消費電力化制御の一検討

大阪大学 大学院情報科学研究科  
 ○ 西島 孝通  
 小泉 佑揮  
 大下 裕一  
 村田 正幸

### データセンターネットワークの課題と解決法

- 高通信性能と低消費電力の両立の要望
  - 光通信技術の活用が考えられるが、いくつかの問題が存在
    - 光パスの設定に時間がかかる、パケットの衝突回避制御が必要、大容量光バッファの実現が難しいなど
- 光通信技術と電気技術の融合
  - 光電子融合型パケットルータ
    - 光通信技術の問題を電気バッファを用いることで解決
  - 光電子融合型パケットルータネットワーク上での低消費電力化制御
    - ネットワーク全体の総消費電力を抑えるように、発生したトラフィックの経路を選択することで**遅延の性能要件を満たした上で消費電力を削減**

2014/3/7 IN研究会 2

### 光電子融合型パケットルータ

- 光通信技術と電気技術を融合
  - 光ポートと電気ポートを持つ
    - 光ポートを用いて他のルータと接続
    - 電気ポートを用いてサーバラック内の電気スイッチと接続
  - 光パケットと電気パケットを変換するための変換器・電気バッファを持つ

2014/3/7 3

### 光電子融合型パケットルータの特徴

- 光通信技術の高性能・低消費電力を維持したまま、光通信技術における制御や実現性の問題を解決
  - パケットの衝突が発生しない場合、光/電気変換が不要で、光パケットをそのまま中継可能
    - ➡ 低遅延・低消費電力で通信可能
  - パケットの衝突が発生する場合、電気バッファに一旦保存したのち、再度転送を試みることが可能
    - ➡ 大容量光バッファの実現やパケットの衝突回避の制御が不要

2014/3/7 IN研究会 4

### 光電子融合型パケットルータを用いた データセンターネットワーク

- データセンター内のコアネットワーク
  - 各光電子融合型パケットルータが多数のサーバラックからの通信を束ねて転送するネットワーク構造

2014/3/7 IN研究会 5

### トラフィック経路選択による低消費電力化制御

- 従来のネットワークの低消費電力化制御
  - 発生したトラフィックの経路を選択する際、必要な機器のみ電源を投入
    - IP ルータの電源や、NIC のポート、光電気変換器など
- 光電子融合型パケットルータネットワークの低消費電力化制御
  - 発生したトラフィックの経路を選択する際、ルータの電源のみではなく、**バッファ**についても不要な箇所の電源を落とすことが可能

2014/3/7 IN研究会

### 研究の目的

トラヒック経路選択により  
 遅延の性能要件を満たした上で消費電力を削減

- 課題
  - 必ずしもバッファの電源を落とすことが遅延および消費電力の削減に繋がるとは限らない
- アプローチ
  - 既にトラヒックが収容されている経路を部分的に再利用することで、既に電源が投入されているルータおよびバッファを効率的に利用
  - 再利用が容易なルータ・バッファの電源を優先的に投入

2014/3/7 IN研究会 7

### 低消費電力なトラヒック経路選択手法のアイデア

- 必要最低限のバッファのみを用いてトラヒックを集約し、電源の投入が必要なルータ・バッファの総消費電力を最小化
- ➡ 多くのトラヒックで利用可能なルータおよびバッファのみ電源を投入

2014/3/7 IN研究会 8

### 低消費電力なトラヒック経路選択手法のアイデア

- 必要最低限のバッファのみを用いてトラヒックを集約し、電源の投入が必要なルータ・バッファの総消費電力を最小化
- ➡ 多くのトラヒックで利用可能なルータおよびバッファのみ電源を投入

2014/3/7 IN研究会 8

### 低消費電力なトラヒック経路選択手法のアイデア

- 必要最低限のバッファのみを用いてトラヒックを集約し、電源の投入が必要なルータ・バッファの総消費電力を最小化
- ➡ 多くのトラヒックで利用可能なルータおよびバッファのみ電源を投入

2014/3/7 IN研究会 8

### 低消費電力なトラヒック経路選択手法のアイデア

- 必要最低限のバッファのみを用いてトラヒックを集約し、電源の投入が必要なルータ・バッファの総消費電力を最小化
- ➡ 多くのトラヒックで利用可能なルータおよびバッファのみ電源を投入

2014/3/7 IN研究会 8

### ルータ・バッファの利用される可能性を調べる指標

- 再利用容易性
 

ノード  $n$  を通るトラヒック量の期待値に相当

$$\text{ノード } n \text{ の再利用容易性} = \sum_{s,d} \frac{N_{s,n,d} \lambda_{s,d}}{N_{s,d}}$$

$\lambda_{s,d}$  :  $s-d$  間のトラヒック量  
 $N_{s,d}$  :  $s-d$  間の最短ホップ経路数  
 $N_{s,n,d}$  :  $s-d$  間の最短ホップ経路のうち、 $n$  を経由するもの数
- 再利用容易性が高いノード程、他のトラヒックの経路でも利用されやすい

2014/3/7 IN研究会 9

### 再利用容易性を用いた 低消費電力なトラヒック経路選択手法

- 物理ホップ数が短いトラヒックから順に収容先の経路を確定
  - 短時間で経路を決めるため、最適化問題はいらない
- エンド間のトラヒックの経路決定の手順
  1. 性能要件を満たすエンド間の経路の候補 P を取得
  2. 経路の候補 P の内、新たに電源の投入の必要があるルータ・バッファの総消費電力が最小の候補を選択
  3. 最小の候補が複数ある場合、再利用容易性を計算し、**再利用容易性が最も大きい経路**を選択

2014/3/7 10

### 評価方法

- 評価対象
  - 提案手法
  - 最短ホップ経路にトラヒックを収容し、不要な機器の電源を落とす手法
  - すべての機器の電源を投入する手法
- 評価条件
  - ネットワーク
    - 10 ルータ×10 ルータのグリッド
    - リンク帯域：10 Gbps
  - トラヒックパターン
    - 総トラヒック量：240 Gbps
    - 全体の 30 % の ToR 間でパレート分布に従うトラヒックが発生
  - 性能要件
    - ToR 間 27 ホップ以下(最大ホップ数の 1.5 倍までを許容)

2014/3/7 11

### 消費電力の削減効果

ルータの消費電力

- バッファの電源を落とした場合：60 W
- バッファの電源を投入した場合：180 W (追加で 120 W 消費)

- 最短ホップ経路と比較して、34 % 程度の消費電力削減
  - 提案手法を用いた場合、ルータやバッファを再利用するために最短ホップ経路以外の経路も選択するため、平均ホップ数は増加
  - ただし、最大ホップ数は遅延の制約条件を満足

2014/3/7 12

### ネットワークに流入するトラヒック量の影響

- トラヒック量によらず消費電力を削減
  - トラヒック量が大きくなるにつれ削減効果が低下
  - 消費電力削減効果を高めるためには、トラヒック量が大きいエンド間を同一サーバラックに配置するなどのトラヒック量を削減する工夫が有効

2014/3/7 13

### まとめと今後の課題

- データセンターネットワークにおいて、高通信性能と低消費電力の両立の要望
- 光電子融合型パケットルータネットワーク上の低消費電力化制御を提案
  - 遅延の性能要件を満たした上で消費電力を削減するようにトラヒック経路を選択
  - 簡単な評価により、提案手法が遅延の制約条件を満たした上で消費電力を最大 34 % 削減可能なことを確認
- 今後の課題
  - 多様なデータセンター環境における性能評価

本研究は情報通信研究機構の委託研究「高機能光電子融合型パケットルータ基盤技術の研究開発」の成果による

2014/3/7 IN14-3 18

### 付録1：消費電力削減効果とホップ数の変化

- 最短ホップ経路に収容した場合と比較して、34 % 程度の消費電力削減
  - ただし、提案手法を用いた場合、低消費電力な最短ホップ経路以外の経路も利用するため、平均ホップ数が増加
  - 最大ホップ数は遅延の制約条件を満足

	平均ホップ数	最大ホップ数
提案手法	12.77	27
最短ホップ経路	7.83	18

- 遅延の性能要件：27 ホップ
  - 最も遠い ToR 間の最短ホップ数 18 の 1.5 倍

2014/3/7 IN14-3 18

## 付録2：バッファの電源を落とすことによる利点・欠点

### ■ 必ずしもバッファの電源を落とすことが消費電力削減に繋がるとは限らない

#### □ バッファの電源オフ

- ルータ単位での消費電力を抑えることができ、キューイング遅延が無い
- エンド間で1波長を占有するなど、資源の利用効率が低く、ネットワークが大規模化することにより、消費電力が増加し、伝搬遅延が増加

#### □ バッファの電源オン

- リンクを複数のエンド間で共有できるため必要なルータ数を削減可能で、消費電力の削減、伝搬遅延の削減が可能
- ルータ単位の消費電力は増加し、キューイング遅延が増加

バッファの電源を投入すべきか、落とすべきかは、  
ネットワーク機器やトラフィック状況により変化