

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## Performance Analysis of Optical Path/Packet Integrated Networks

大阪大学大学院情報科学研究科  
情報ネットワーク学専攻  
荒川伸一  
arakawa@ist.osaka-u.ac.jp

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## 研究の背景

- バス交換型の特徴**
  - 広帯域・任意のトランスポートプロトコルが利用可能
  - 光バス設定遅延
- パケット交換型の特徴**
  - 統計多重効果
  - 他のセッションとの競合、輻輳による遅延増大

↓

- 光バス/パケット統合ネットワークの構築**
  - バス交換型ネットワークとパケット交換型ネットワークの双方を利用可能な混在型ネットワーク
    - パケット交換用の波長とバス交換用の波長をそれぞれ割当

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## 光バス/パケット統合ネットワーク

- 統合シナリオ1**
  - ネットワーク分離型：OPSとOCSネットワークを分離し、コントローラがOPSネットワークとOCSネットワークを使い分ける
- 統合シナリオ2**
  - ノード内でOPS/OCSの統合
  - パケットやバスで用いる波長数を可変

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## 光統合ノードの構成：コアノード

- 入力側のスイッチ (10x20 or 1x2を10個) はバス・パケットのリソース制御に利用
  - 上段は光パケット交換 (多波長パケット)、下段は光バス交換 (1波毎に独立して制御)
- コントローラはヘッダ処理回路から統計情報を取得

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## 光統合ノードの構成：エッジノード

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp/

## 研究の内容

- 光統合ネットワークの性能解析**
  - データ転送要求が発生してから、データ転送が完了するまでの時間 (レイテンシ) の期待値を導出
  - データ転送プロトコルとしてTCPを考慮
  - 評価内容
    - 割り当て波長数の違いにより、レイテンシがどのように変化するか
- 関連研究**
  - バスNWの性能解析
    - 荒川伸一, 宮本健太郎, 村田正幸, 宮原秀夫, “フォトニックネットワークにおける高速データ転送のための波長割当方式の性能解析,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J83-B, pp.424-433, April 2000
    - 通信負荷が高い場合の解析結果の精度が悪い
  - バスNWの解析精度の改善
    - Onur Alparaslani, Shin'ichi Arakawa, Masayuki Murata, “Computing Path Blocking Probabilities for Traffic Splitting in Optical Hybrid Switching Networks,” in Proceedings of ICC2012.

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### 光統合NWの性能解析の流れ

7

入力：物理トポロジー、データ転送要求の平均到着率  $e_m$ 、平均データ長

統合NWの平均遅延

バスNW  
波長数:  $W$   
文献[1]で用いられている解析手法を適用  
各リンクの各波長を  $M/G/1/1$  待ち行列により近似  
Reduced load approximation

得られる結果

- ・バス設定要求の棄却率  $L_m$
- ・バス設定遅延

到着率  $e_m \cdot L_m$

パケットNW  
波長数:  $c$   
各リンクを  $M/M/c/K$  待ち行列モデルによりパケットロス率を計算

- ・パケットロス率
- ・TCP Latency

[1] Onur Alparaslari, Shin'ichi Arakawa, Masayuki Murata, "Computing Path Blocking Probabilities for Traffic Splitting in Optical Hybrid Switching Networks," in Proceedings of ICC2012.

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### 解析を行う目的

8

- (本論文では行っていない)
- 最適な割り当て波長数の決定
  - 性能解析に基づいて、レイテンシが最も小さくなるように割り当て波長数を変更する
- バス or パケットのアドミSSION制御
  - パケットNWにより転送した時の転送完了時間(棄却率より算出)とバスNWにより転送した時の転送完了時間(再送時間を含む)を解析的に求め、完了時間の短い方を選択する

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### バスNWの棄却率計算 (1/2)

9

- バスNWに割り当てた波長数を  $W$  とする
- 基本方針:
  - あるリンクのある波長の予約リクエストの平均到着率を求める
  - 波長が占有される時間を求める
- $K$ 本の波長が占有される確率  $\Lambda_k$  を算出

Source Intermediate Destination

PROBE PROBE

RESV RESV

Data Transfer

RELEASE RELEASE

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### バスNWの棄却率計算 (2/2)

10

- $L_m$ : ノードペア  $m$  (ホップ長  $d$ ) のバス棄却率

$$L_m = 1 - (1 - q_{m,W}^d) \prod_{x=2}^d \sum_{j=0}^{W-1} p_{m,j}^{x-1} e^{-\Lambda_m^{x-1} (d-x+1)D/(W-j)}$$

バス設定が成功する確率

Source Intermediate Destination

PROBE PROBE

NACK NACK

Forward Blocking

バスNWに割り当てられた  $W$  波長すべてが利用されている確率 (M/G/W/W アーラン呼損式) 予稿集の式(2)~式(5)

Source Intermediate Destination

PROBE PROBE

NACK NACK

RELEASE RELEASE

Backward Blocking

PROBEで調べた波長が、RESV時に空いている確率。下記のbackward blockingが起こらない確率

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### パケットNWの解析

11

- TCP performance model [18]
- TCP レイテンシ  $P_m (= P_h + P_s + P_l + P_c)$ 
  - $P_h$ : SYN+ACK initial handshake time.
  - $P_s$ : The time in slow start.
  - $P_l$ : The time for recovering the lost packet at the end of slow start.
  - $P_c$ : The time to send the remainder by congestion avoidance.
- [18]は、パケットの(経路上の)ロス率算出が必要
  - 波長変換無、バッファ無:  $M/M/1/1$
  - 波長変換有、バッファ無:  $M/M/c/c$  ( $c$ :バスNWの波長)
  - 波長変換有、バッファ (RAMを仮定) 有:  $M/M/c/K$  ( $K$ :バッファサイズ)

[18] N. Cardwell, S. Savage, and T. Anderson, "Modeling TCP latency," in Proc. IEEE INFOCOM, pp. 1724-1751, 2000.

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

### 平均レイテンシの算出

12

- 平均レイテンシ

$$A_m = (1 - L_m^l) \cdot T_m + L_m^l (F_m + P_m)$$

バス棄却率    バスNWの遅延    バス棄却時の遅延    TCP Latency

- バス棄却時の再送を考慮した拡張
  - 詳細は省略。予稿集の式 19, 式 20

### 性能評価

13

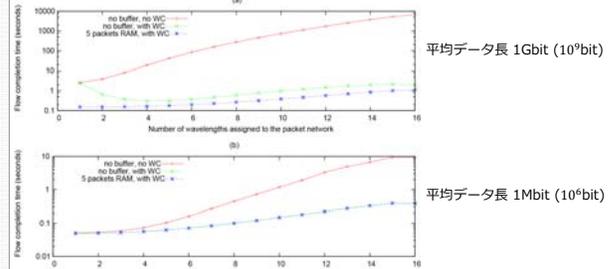
- 物理トポロジー：19ノード 39リンク
- リンクあたりの波長多重数：16
  - 波長あたりの転送容量は10Gbps
- リンクごとの伝搬遅延：10ms
- フローサイズ：指数分布
- フロー到着率：600flow/sec
- パスNWでパス設定を3回試みて、失敗した場合はパケットNWを用いて転送
- パスが設定される場合は、帯域すべてを用いてデータを転送

### レイテンシの解析

14

- パケットNWに割り当てる波長数に対する平均レイテンシ

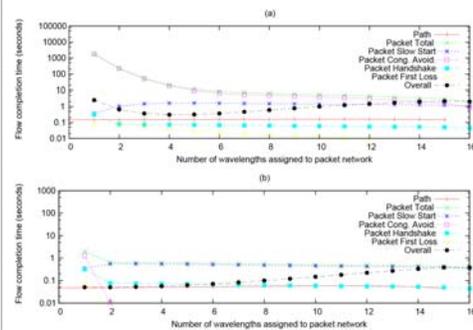
- 赤：バッファなし、波長変換なし
- 緑：バッファなし、波長変換による競回避
- 青：波長変換による競回避、バッファあり (RAMデバイスを仮定)



### レイテンシの詳細分析

15

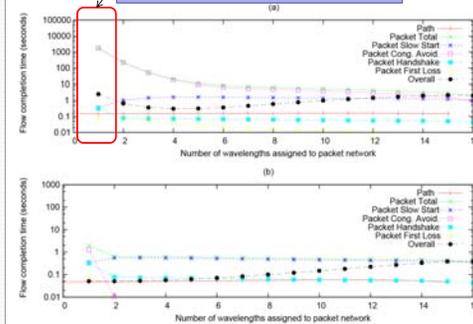
- 波長変換あり、バッファ無



### レイテンシの詳細分析

16

パケットNWのリソース不足により、Cong. Avoid. フェーズの時間が支配的

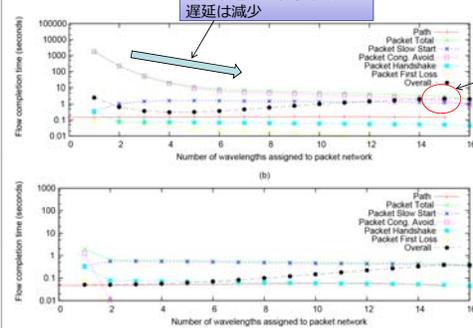


### レイテンシの詳細分析

17

パケットNWのリソースを増やすと、パケットNWの遅延は減少

大部分のデータ転送がパケットNWを使う。→ 平均値が上昇

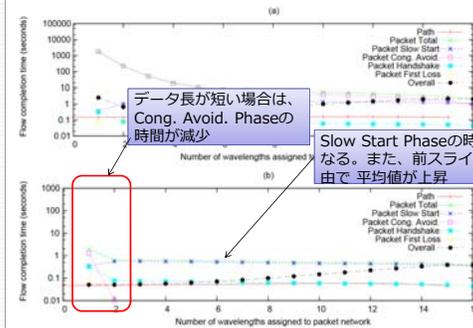


### レイテンシの詳細分析

18

データ長が短い場合は、Cong. Avoid. Phaseの時間が減少

Slow Start Phaseの時間が支配的となる。また、前スライドと同様の理由で平均値が上昇



**まとめと今後の課題**

19

**• まとめ**

- 光統合ネットワークの性能解析
  - 解析精度を改善したバス棄却率解析手法
  - TCPレイテンシの解析手法 [18]
- レイテンシの評価
  - パケットNWに割り当てる波長が少ない場合／バスNWの波長が多い場合
    - バスNWを用いて高速にデータを転送
    - パケットNWのリソース不足により一部のデータ転送のレイテンシは大。データサイズが大きくなると顕著
  - パケットNWに割り当てる波長が多い場合／バスNWの波長が少ない場合
    - パケットNWで多くのデータ転送。ただしTCPの仕組みによりレイテンシが大きくなる  
→ 最適な波長割当が存在

**• 今後の課題**

- 解析精度の検証、シミュレーション結果との比較
- FDLバッファを用いた光統合NWの性能解析手法
- 波長資源の割当手法の検討