

# 非同期・可変長パケットを扱う フォトニックパケットスイッチアーキテクチャの提案



大阪大学サイバーメディアセンター  
先端ネットワーク環境研究部門

村田正幸

*e-mail: murata@cmc.osaka-u.ac.jp*

*http://www-ana.ics.es.osaka-u.ac.jp/*



Advanced  
Network  
Architecture  
Research

# フォトニックインターネットアーキテクチャ

## 1. WDM link network

- ☞ 隣接ルータ間を複数波長で接続
- ☞ 複数リンクが提供される

## 2. WDM path network

- ☞ 波長ルーティングに基き、論理トポロジーを形成
- ☞ オプション: ネットワーク内部のルーティング機能

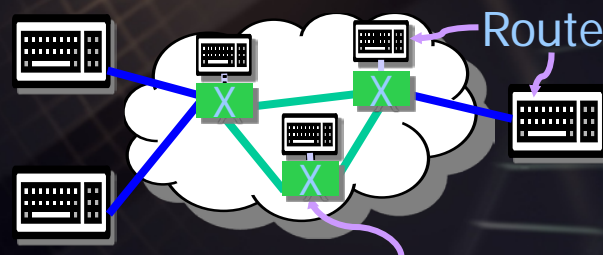
## 3. フォトニックパケットスイッチング

- ☞ バースト到着時に波長(+経路)を定める光バーストスイッチング
- ☞ フォトニックラベル処理
  - フロー識別・処理
  - レイヤ4スイッチングの可能性

Router

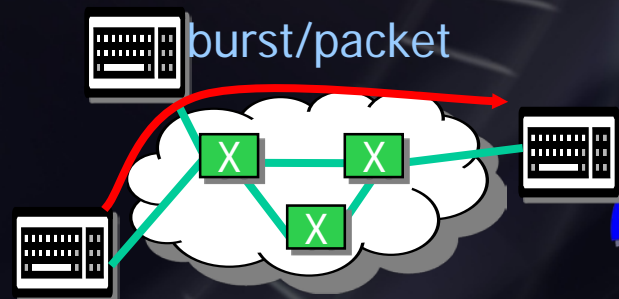


Router



Optical Crossconnect

burst/packet



# フォトニックインターネットの実現に向けた研究課題

## ☐ IP over WDMの実現

### ☐ 機能分割

- IPルーティングとWDMによる波長ルーティングのマッチング

### ☐ 論理パストポロジ設計問題

- トラヒックエンジニアリング
- 必要波長数の問題
- 段階的波長パス設定

## ☐ Packet over Photonicの実現

### ☐ 光バッファリング

## ☐ フォトニック IP ルータの実現

# ネットワークの高速・高品質化

パケット処理の  
簡素化

MPLS

IPv6

...

高速化

複雑なパケット処  
理前提

ポリシー制御

QoS制御

輻輳制御

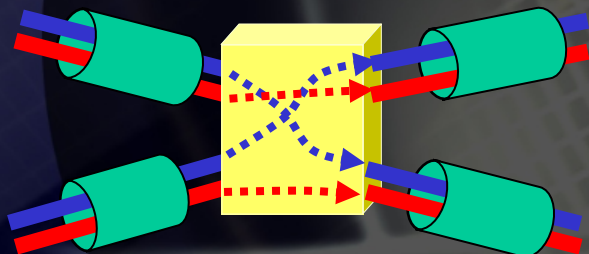
...

高品質化

# フォトニックネットワーク： 3つの選択肢

☐ WDM技術に基づく波長ルーティング

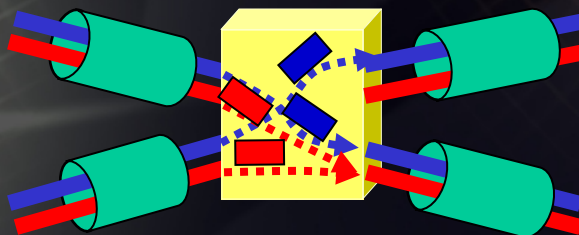
☐ 粒度の問題



☐ パケットスイッチング（波長変換のない場合）

☐ 光バッファリング

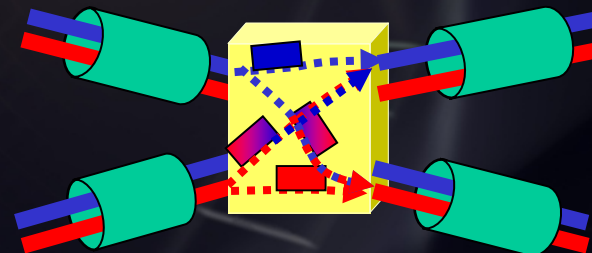
☐ パケットスケジューリング



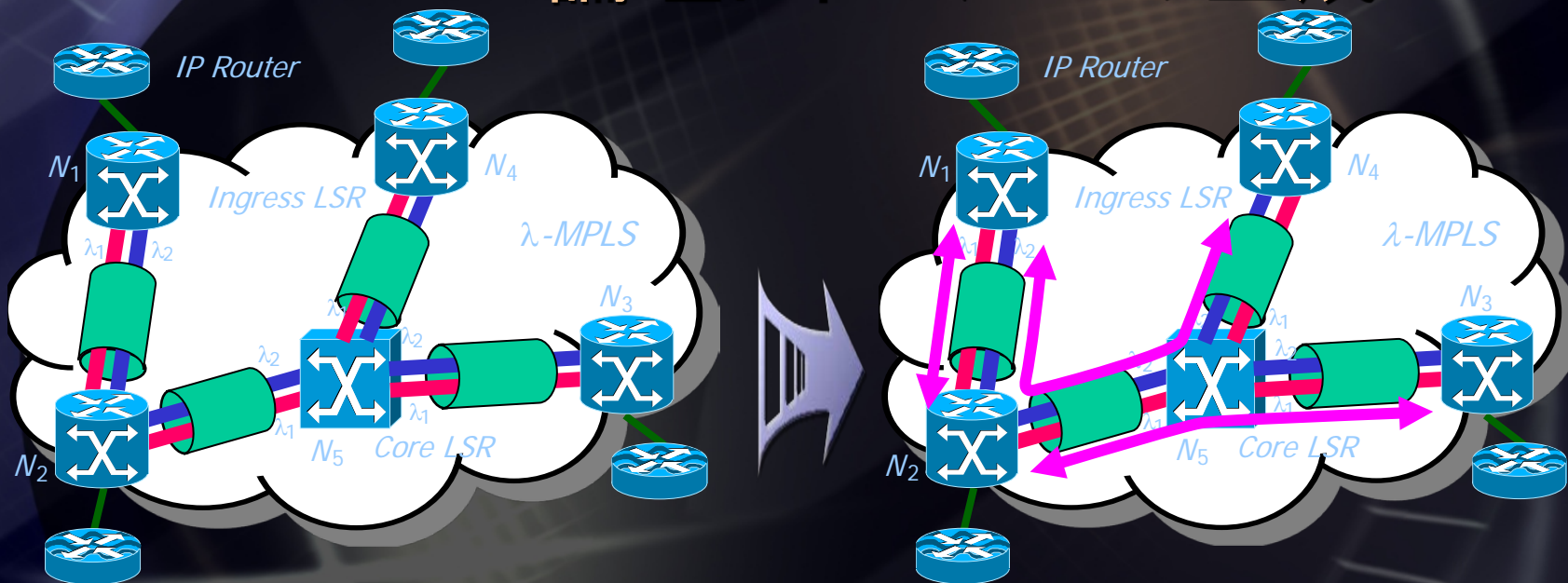
☐ パケットスイッチング（波長変換のある場合）

☐ 光バッファリング

☐ 波長をまたいだパケットスケジューリング



# WDM技術を用いた 論理トポロジーの生成

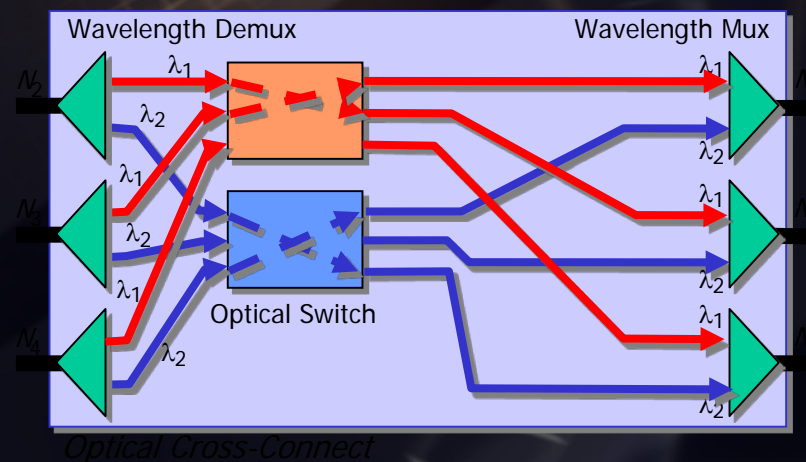
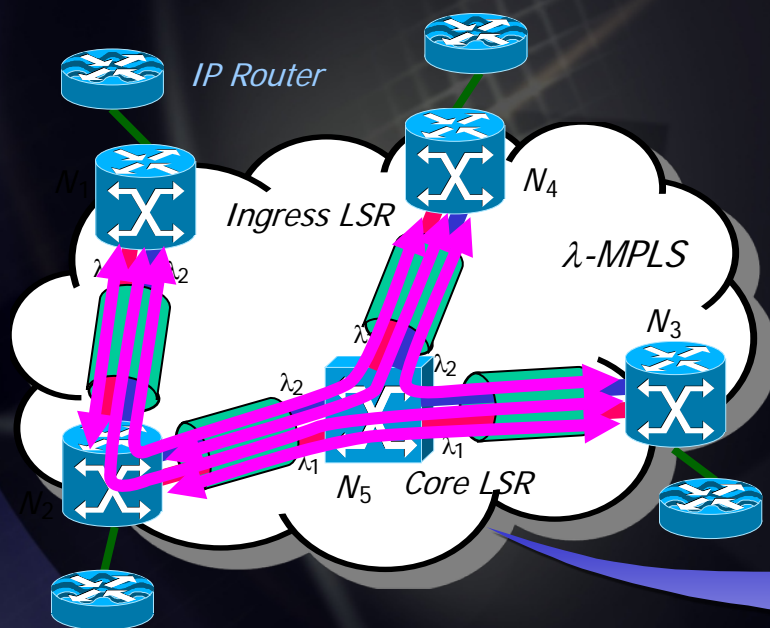


## 最適化問題

- 例: トラフィックデマンドに基づいて、各波長上のトラフィックを最大化するのに必要な最小波長数を求める
- 波長による直接パスをエンド間に設定することにより、ルータボトルネックを解消

# 必要波長数の増大

すべてのノード間でAll-to-All Connectivityを保証するには多くの波長が必要



## λ-MPLSの問題点

- ❑ Labelの粒度が大きい; 波長
  - ❑ Label Merging/Splittingは困難
  - ❑ 4層スイッチングが困難
- ❑ 論理トポロジーの形成手法
  - ❑ トラヒック量既知
  - ❑ 全体のトポロジーを最適化問題として定める
- ❑ Ingress LSRにおけるボトルネック
  - ❑ ただし、WDM Ringなどによる処理分散は可能



# 非同期・可変長パケットを扱う フォトニックパケットスイッチ

## バッファスケジューリング

- WDM／波長変換をスイッチ内部に導入することによる遅延線バッファの効率的な利用

## 可変長パケットへの対応

- バッファ状態保持カウンタ  $b_{ij}$ : 出力線  $j$  向け波長  $i$
- パケット(長さ  $x$ ) 到着ごとに

$$b_{ij} \leftarrow b_{ij} + \begin{matrix} \text{波} \\ x/D \\ \vdots \end{matrix}$$

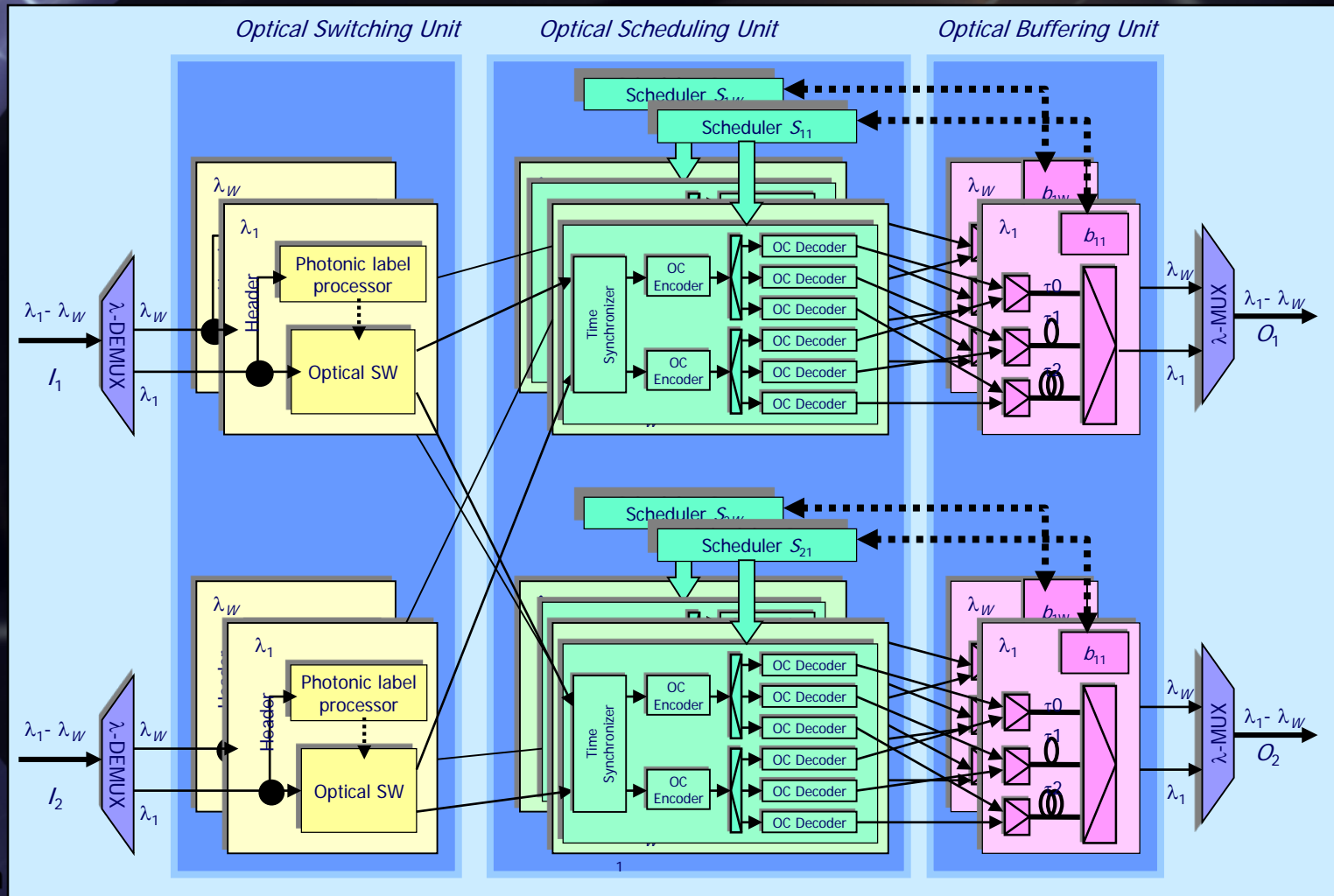
遅延線単位時間  $D$  ごとに

$$b_{ij} \leftarrow b_{ij} - 1$$

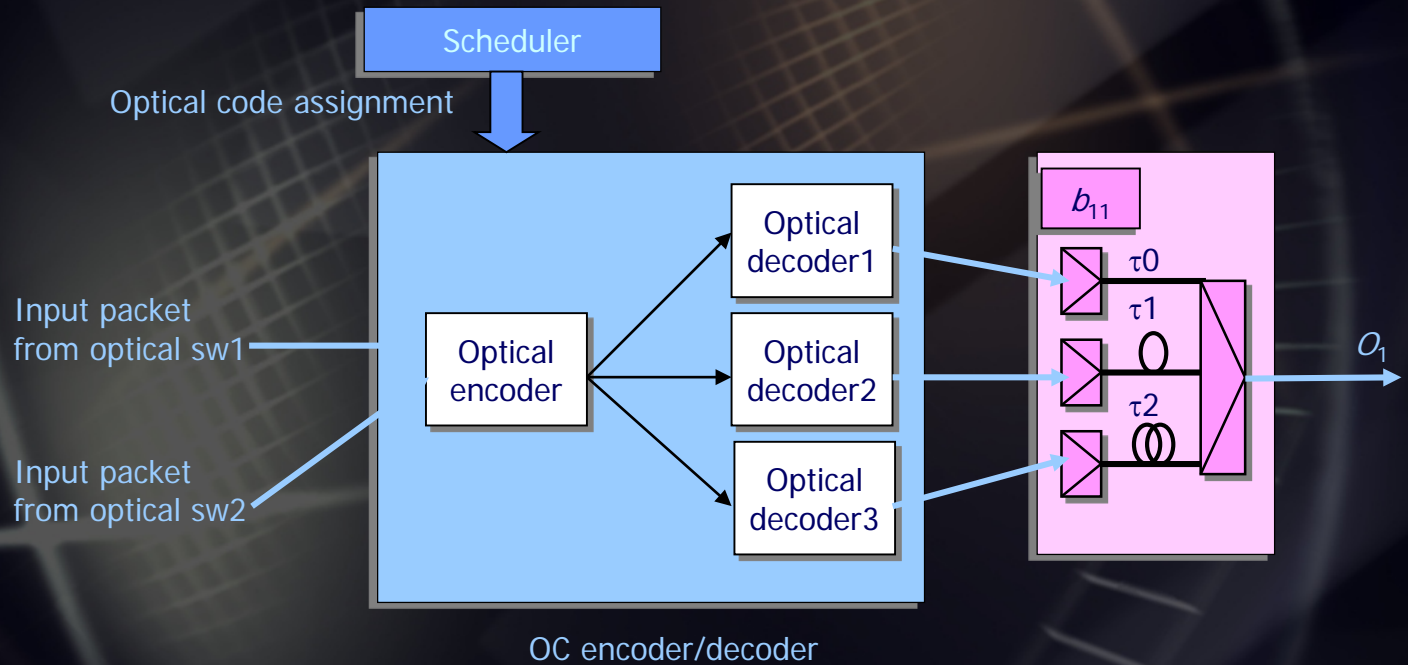
## 非同期到着パケットへの対応

- パケットシーケンサーの導入

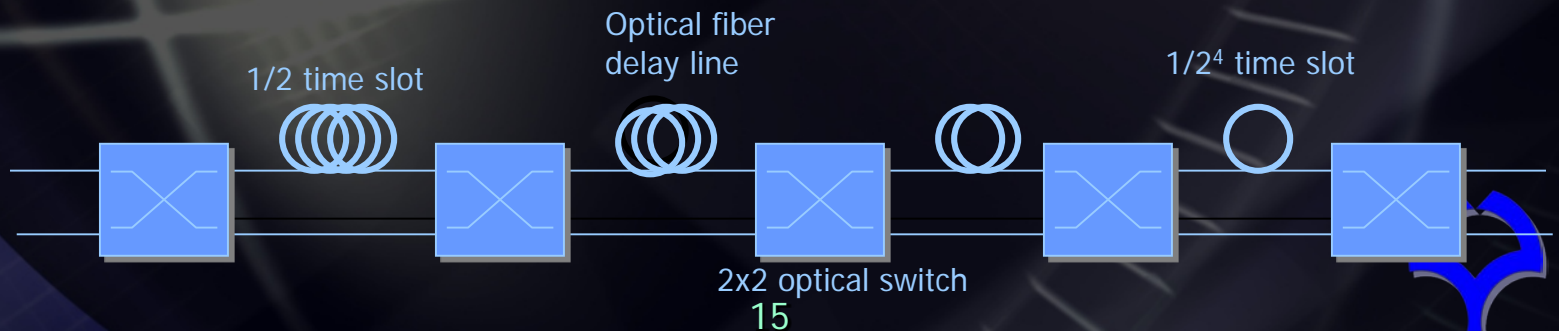
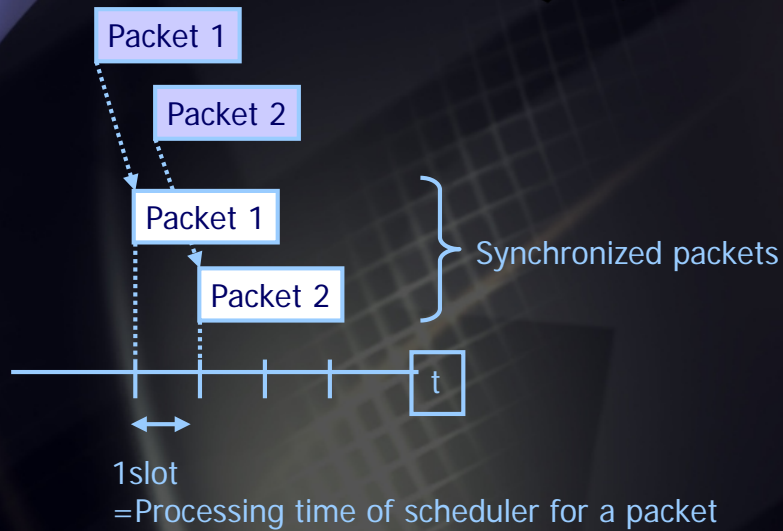
# 光パケットスイッチ —波長変換なしの場合—



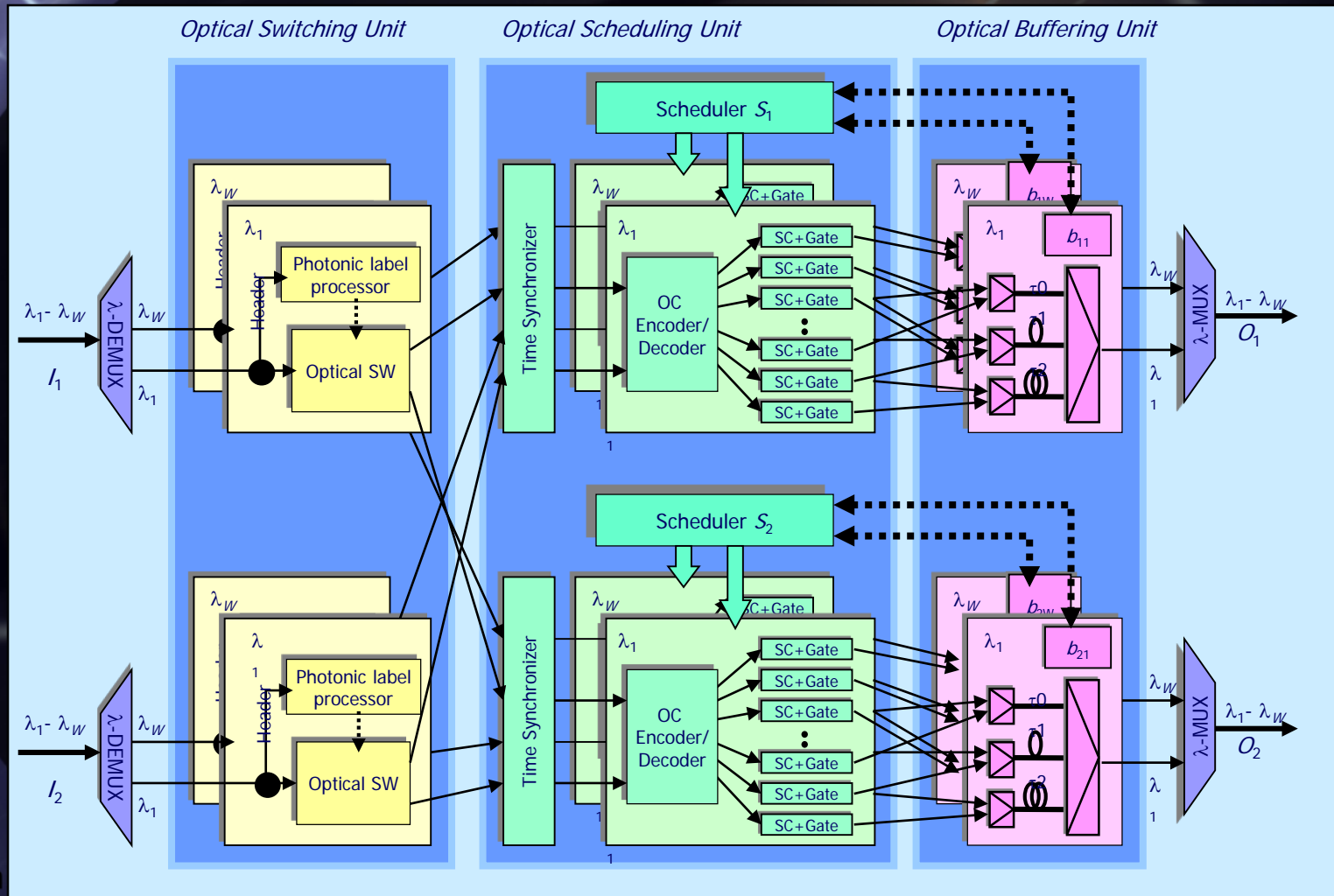
# 遅延線を用いたバッファリング



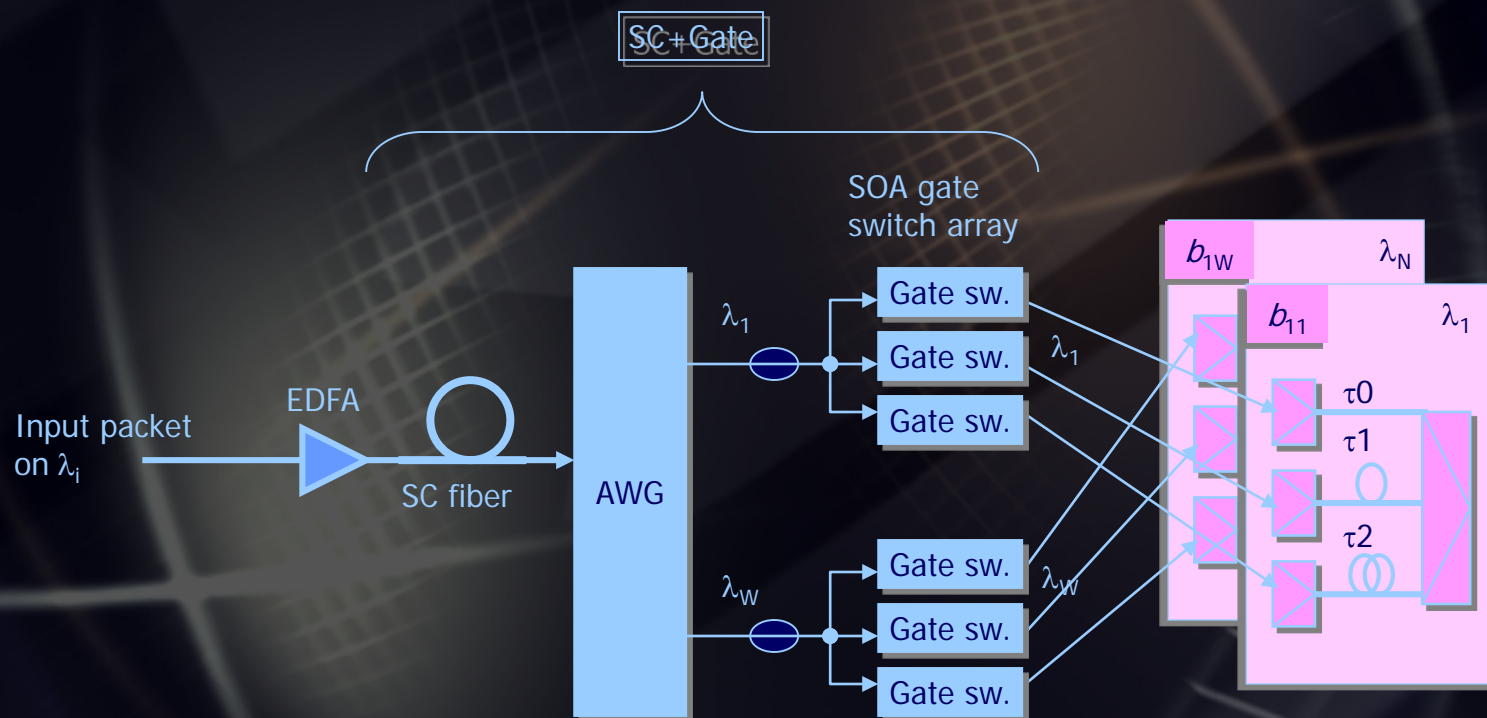
# タイムシーケンサーによる スケジューリングの実現



# 光パケットスイッチ —波長変換を行う場合—



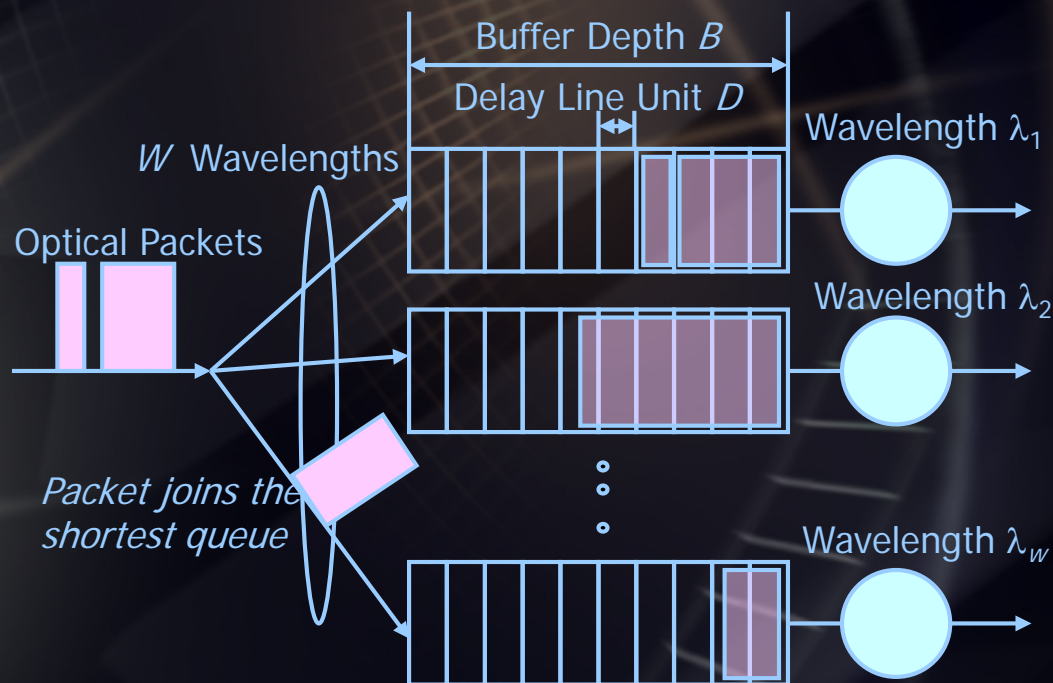
# 波長変換による バッファの有効利用



SC: Super-continuum  
AWG: Arrayed waveguide grating

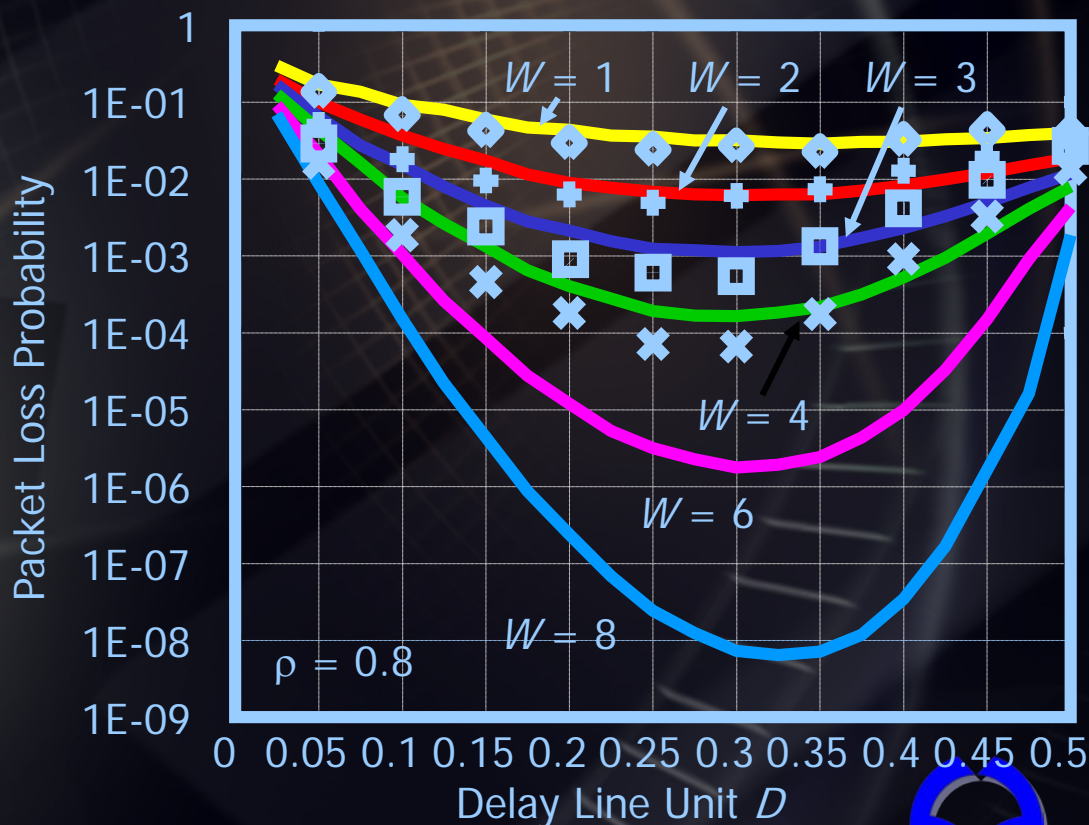
# WDMバッファのための パケットスケジューリング

- Multi-server and Multi-queue with "Join-the-Shortest-Queue" scheduling policy



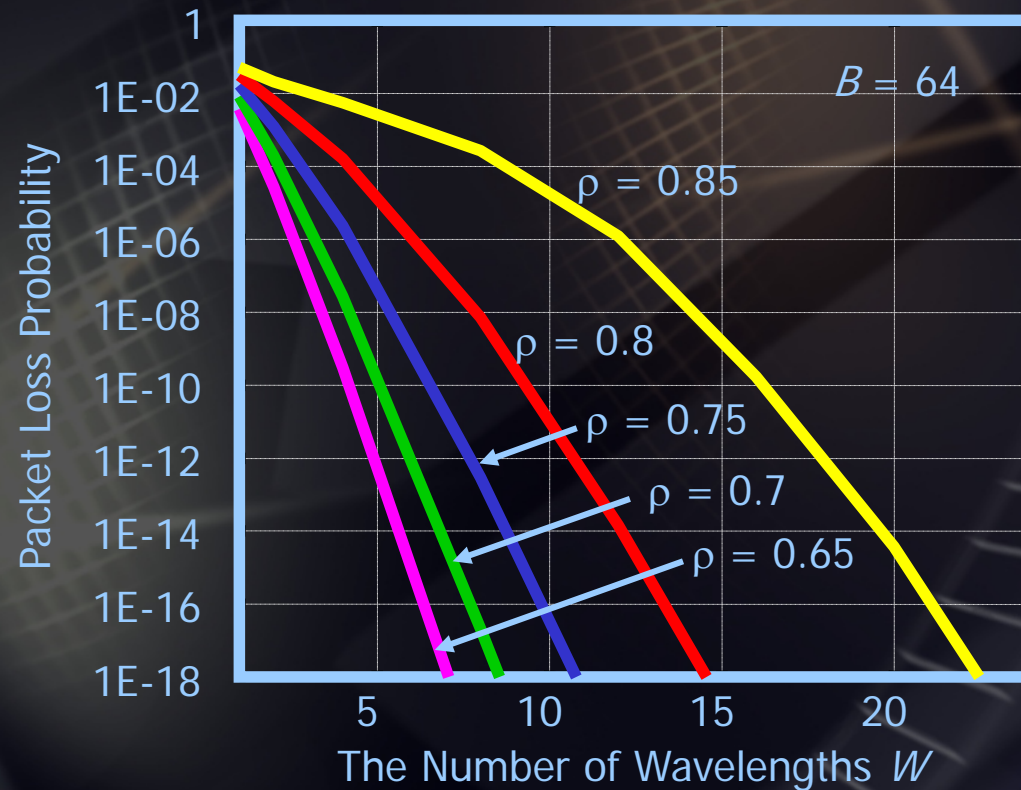
# 遅延線単位 $D$ の影響

- バッファの深さを一定とした場合 ( $B = 64$ )
- Delay Line Unit  $D$  を
  - 小さくした場合: バッファ容量小
  - 大きい場合: ダミーバイトを挿入することによる利用効率の低下



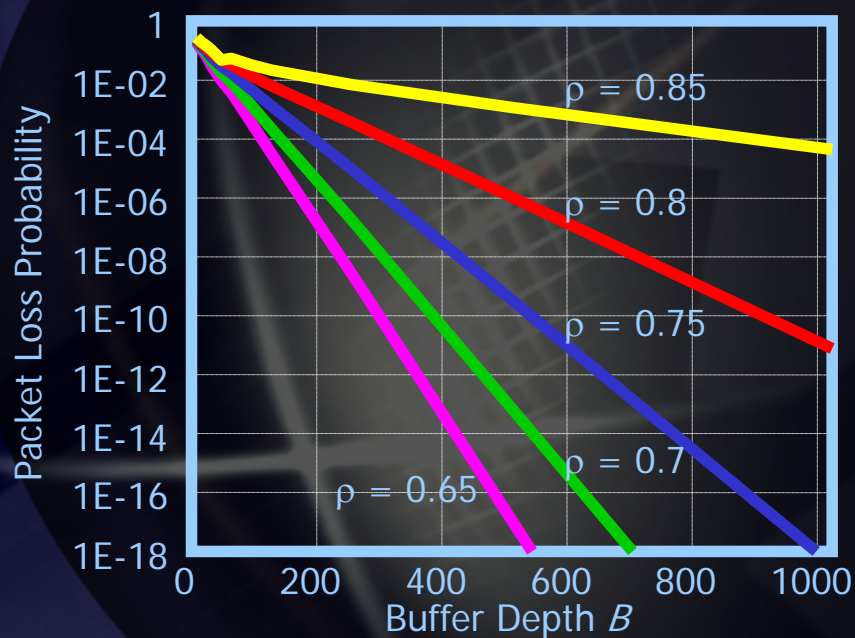


# 波長数の効果

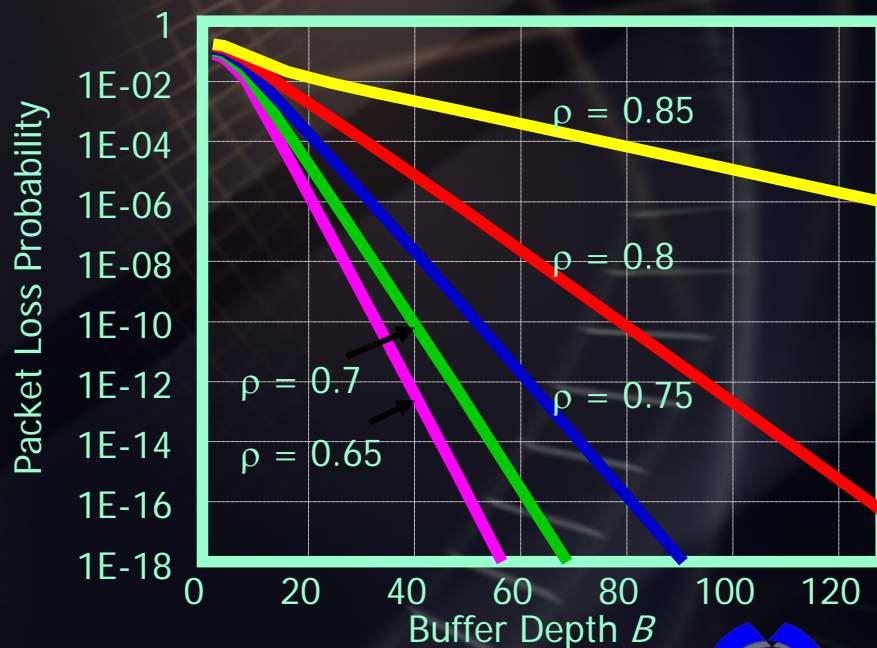


# 波長数の影響

波長数  $W = 1$  の場合 (波長変換を行わない場合に相当)

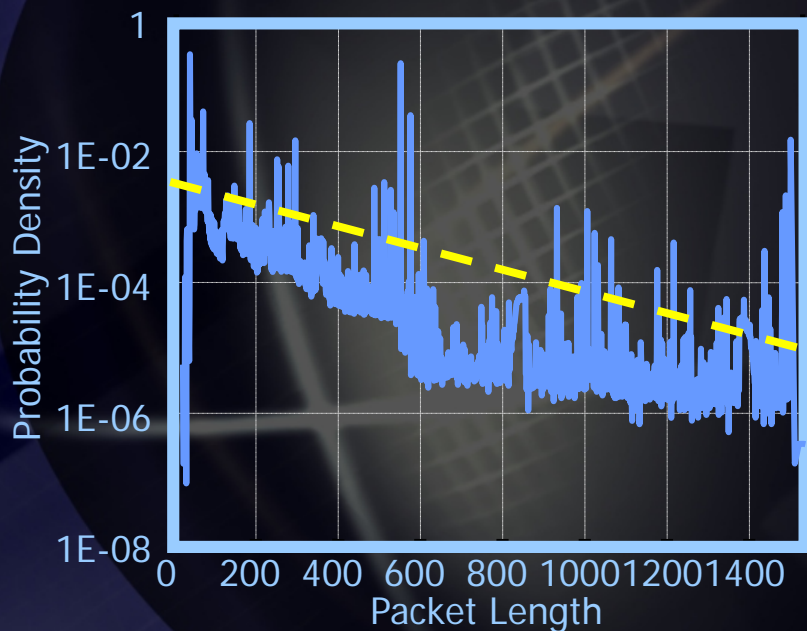


波長数  $W = 8$  の場合



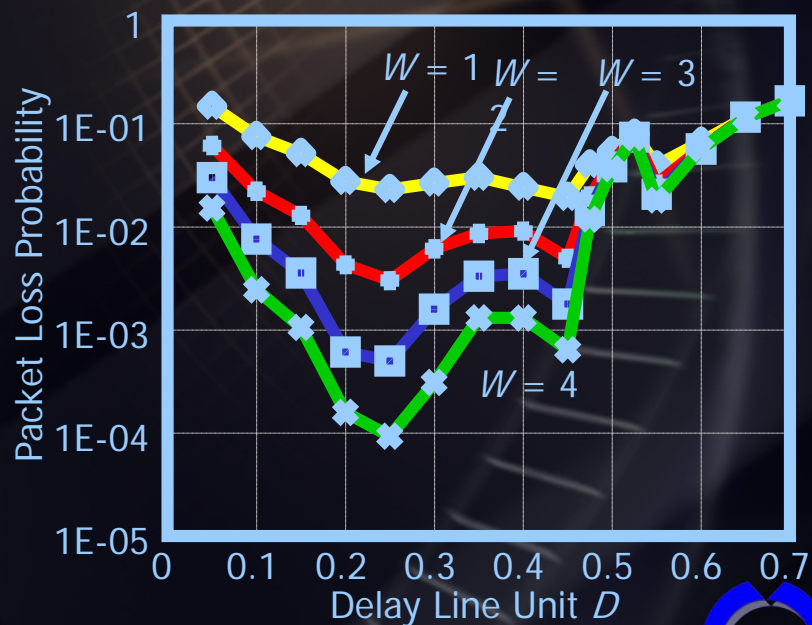
# IPパケット長分布の影響

## IPパケット長分布



"WAN Packet Size Distribution," <http://www.nlanr.net/NA/Learn/packetsizes.html>

## 遅延線の影響



## 今後の課題

### ☐ 実現性？

☐ パケット棄却率 $10^{-6}$

☐ 100Gb/s、 $W = 10$ 、 $B = 100$ 、 $D = 0.3$ 、平均パケット長2,000 bits → ファイバ遅延線120m

### ☐ GMPLSへの対応

☐ 経路制御(経路設定)の実現方法？

☐ ポリシーサービスの実現性の検討

■ MPLS over ATMにおけるトラヒックエンジニアリングの適用