光バーストスイッチングに未来はあるか？

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.anarg.jp/

Advanced Network Architecture Research

Advanced Network Architecture Research

Burst Switching Revisited

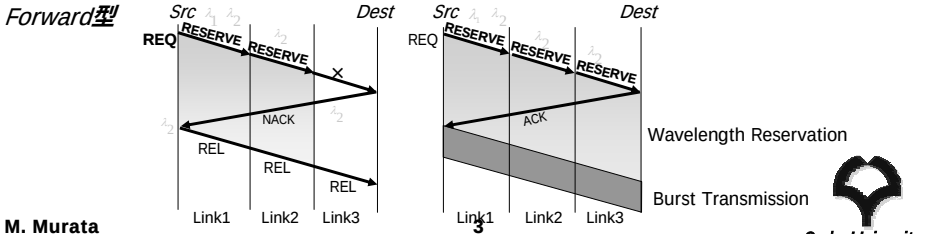
- **過去の例**
  - **電話網：**TASI
    - **音声対象→落ちてもよい**
  - **パケット交換ネットワーク**: Virtual Cut Through
    - **できなければ、パケットを電気メモリに格納**
  - ATM：FRP (Fast Reservation Protocol)
    - **大容量データ対象**
    - ATM**の利用により、帯域設定が自由に行える**
      空いている時は150Mbps**、混んでくると**75Mbps→37.5Mbps...
- WDM: OBS (Optical Burst Switching)
  - **チャネル容量**10Gbps**～→帯域の粒度が大きい**
    - **大容量転送への期待：**DVD**１枚**4.7GB
    - **対象はリアルタイムメディアではない**
  - **バッファ不要**
    - FDL**バッファリングによるペナルティを避ける→バッファがあれば**OBS**とは呼ばない**
- **そもそもバーストとは？**
  - **大容量データ**
  - IP**に適用するためには、パケットを貯めることが必須だが、**TCP**はこのような利用形態を想定していない**

Osaka University

Advanced Network Architecture Research

OBSプロトコル (1): Tell-and-Wait

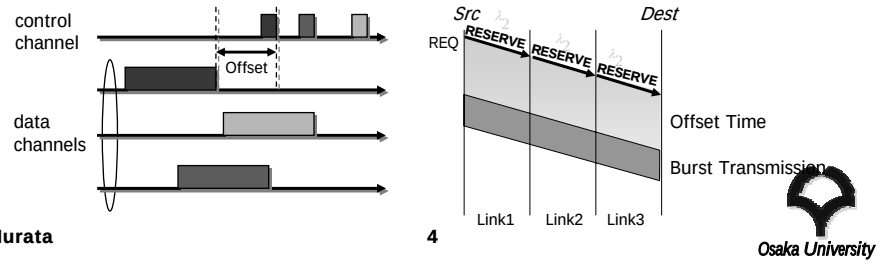
- ACK/NACK信号による、Forward型（往路で波長を決定）／Backward型（復路で波長を決定）波長予約プロトコル
- 予め経路を定めておき、バーストの到着時に波長を定めて送出
  - オプション：経路も定める
- ○ バーストのネットワーク内バッファリング不要
  - パケットスイッチングとの本質的な違い
- × 伝播遅延時間がボトルネックになる



Advanced Network Architecture Research

OBSプロトコル (2): Tell-and-Go

- 伝播遅延時間によるオーバーヘッドの解消
- ヘッダの電気処理のために、ヘッダとペイロードの間を空ける
- パス設定（波長予約）処理の高速化が鍵
- × バーストはネットワーク内で落ちるかも知れない
  - 波長変換がない場合、M/G/1/1待ち行列網モデル！



Advanced Network Architecture Research

OBSのバーストブロッキング率

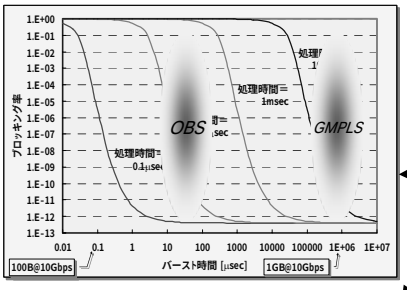
- b: バースト長（コネクション保留時間）
  s: コネクション処理時間
  p: 伝播遅延時間
  W: 波長数
  λ: バースト到着率
- 全負荷
  - TAW型の場合： $\rho = (b + s + p)\lambda$
  - TAG型の場合： $\rho = (b + s)\lambda$
- 波長あたりの負荷： $\rho_0 = \rho / W$
- ブロッキング率(M/G/W/W)

$$B = \frac{\rho^W / W!}{\sum_{n=0}^{W} \rho^n / n!}$$

Advanced Network Architecture Research

ノード処理時間の影響
TAW vs. 回線交換

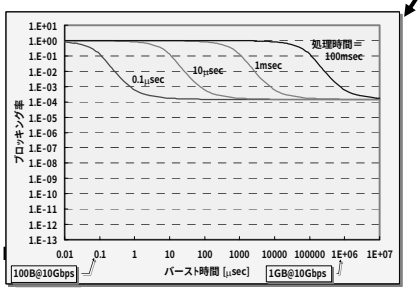
- TAW方式
  - 波長数32、伝播遅延時間0
- バースト時間よりも少なくとも一桁小さい処理時間が要求される

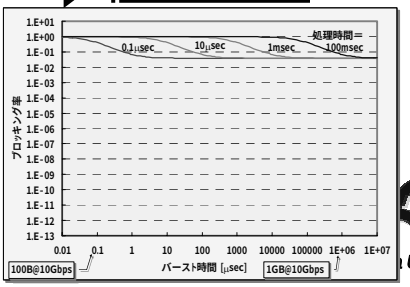


波長あたり負荷0.2

波長あたり負荷0.5

波長あたり負荷0.8





Osaka University

Advanced Network Architecture Research

ブロッキング率低下の要因

- **ホップ数の増加**
  - **ホップ数に対して線形に影響**
- **波長変換なし**
  - Wavelength Continuity Problem
- **経路は予め定めておく**
  - WA (Wavelength Assignment) vs. RWA (Routing and Wavelength Assignment)
  - WA：**経路は予め決めておいて「最適な」波長を選択**
    - Random, First-Fit：**分散化が可能**
  - RWA：Multi-path Routing
    - **波長とともに、複数の経路から「最適な」経路を定める**
    - Most-Used（**同じ波長から埋めていく**）：**集中化前提**
  - **処理時間の高速化→**WA（**経路は予め決めておく**）
    - **バースト交換では**WA**ゆえに高速化が可能**
    - **ただし、オプションとして**Multi-path Routing**も可能**

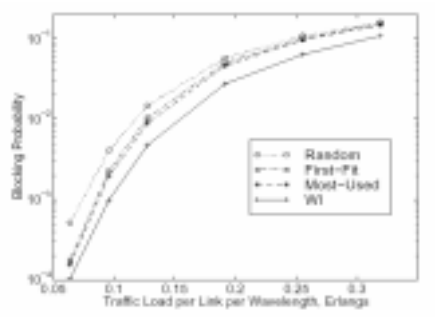
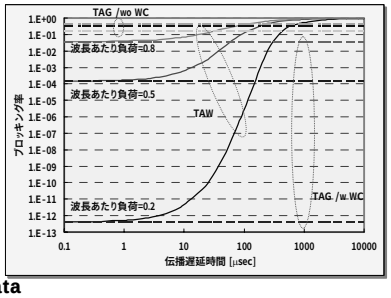


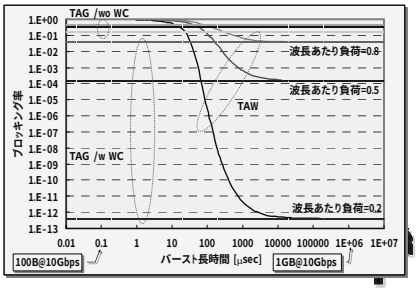
Figure 4 in E. Karasan , E. Ayanoglu. *Effects of Wavelength Routing and Selection Algorithms on Wavelength Conversion Gain in WM Optical Network*, ACM / IEEE Transactions on Networking, April 1998.

Advanced Network Architecture Research

Tell-and-Wait vs. Tell-and-Go

- TAG (JET, JIT, ...)
  - **波長予約時間（処理時間＋伝播遅延時間）のうち、伝播遅延時間をカット**
  - **波長変換なしの場合、**M/G/1/1！
- **波長数**32
- **バースト長**100μsec
  - **処理時間**10μsec**に対しては大きい**

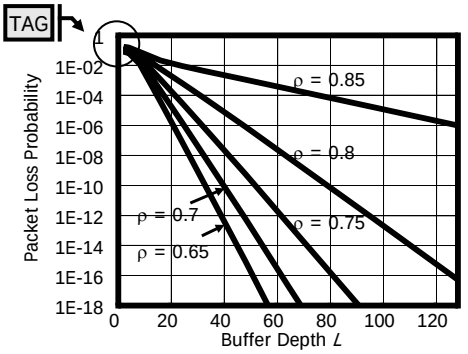




Advanced Network Architecture Research

パケットバッファリングの効果 TAG vs. パケット交換

- パケットスイッチングはバッファリング前提
  - 波長変換のない場合→M/G/1/1+L
  - 波長変換のある場合→M/G/W/W+L
  - ただし、FDLの場合、固定長を単位とした遅延線なので、可変長を扱う場合にはオーバーヘッドがある
- 条件
  - 波長数W=8
  - 波長変換あり
- OBSでもバッファを持たせることは原理的に可能、ただし、FDLは長くなる
  - 1Mbitバースト ＝100μsecバースト(@10Gbps) →20Km x L

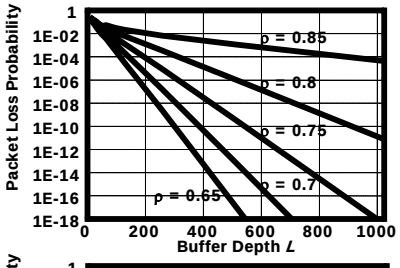


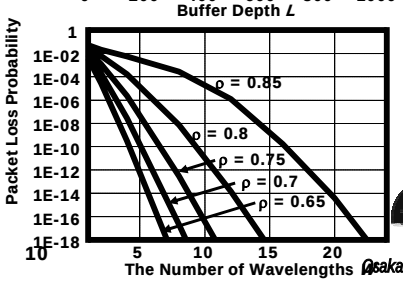
Masayuki Murata and Ken-ichi Kitayama, "Ultrafast photonic label switch for asynchronous packets of variable length," *IEEE INFOCOM 2002*, June 2002.

Advanced Network Architecture Research

パケット交換のメリット

- 波長変換のない場合
  - 波長変換をしなくとも一定の効果は得られる、ただし、バッファ容量はかなり必要
  - 1Kbitパケット ＝0.1μsecパケット (@10Gbps) →20m x L
- 波長数増大の効果は大きい
  - 波長変換あり
  - バッファ長64





Advanced Network Architecture Research

パケット交換 vs. 回線交換

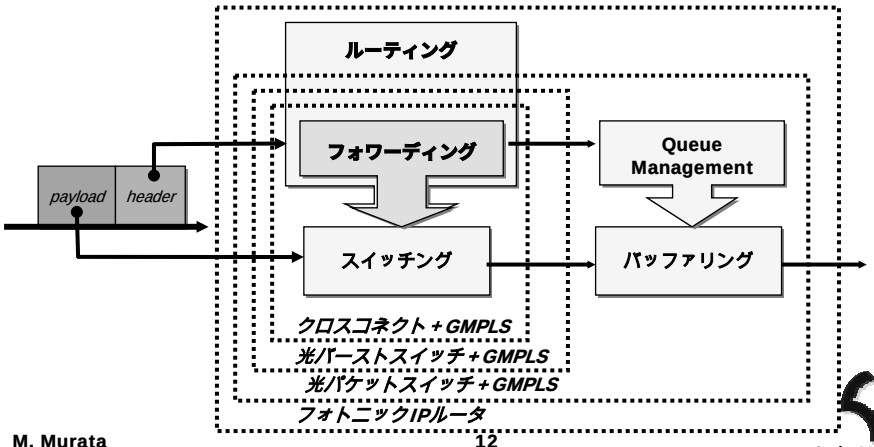
機能	回線交換（光クロスコネクトノード）	パケット交換（電気ルータ）
回線効率	決して悪くない（回線それぞれの利用効率ではなく、回線数の利用効率） →波長数の増大が重要	一般に良いとされているが、遅延を小さくするためにはoverprovisioningが必要
エンド間パス可用性	コストをかけることにより維持	経路制御により維持
ノード可用性	機能が低い分高い	低い
ノードコスト	機能が低い分安い（半分から1/10）	高速化すればするほど多機能実現のためにコスト高
サービス機能の多様性	低い	高い

- パケット・回線交換の融合？
  - アクセス系：パケット交換
  - バックボーン：WDM回線交換(+GMPLS)：光パスネットワーク
  - スケーラビリティ確保のために、波長あたりの容量を増やすより、波長数を増やすことが重要
- その後は、光パケットスイッチ＋GMPLS？
  - Deployment?

Advanced Network Architecture Research

フォトニックインターネットへのロードマップ

Cross-Connect, Switch or Router?



ユーザに対する波長の開放

- IPを乗せることがWDMネットワークの役割か？
- TCPは本質的に
  - パケットロスを発生する
  - 帯域をfair-shareする役割を担う
- ユーザへの波長の開放（エッジノード間ではない）：オンデマンド波長パス設定
  - 前提：波長が豊富にある（1,000波長～）
  - 適用
    - ユーザ志向VPN
    - データグリッド（Tbyte級データ転送）
    - SANの広域ネットワークへの展開
  - Proprietaryなプロトコル展開も可能
  - PhotonicGrid
- 参考：インターネットが目の前にあったからこそ、それに適したWebというアプリケーションが生まれた
  - 背景：画像圧縮技術、GUI、画像表示能力
  - にわとりと卵（？）
  - napster, gnutella