

## ファイバ遅延線をもつ光バースト交換機におけるラウンドロビン型バースト生成方式の性能評価

02302844 奈良先端科学技術大学院大学 \*橋 拓至 TACHIBANA Takuji

01014440 奈良先端科学技術大学院大学 安島智也 AJIMA Tomoya

01109054 奈良先端科学技術大学院大学 笠原正治 KASAHARA Shoji

### 1 はじめに

光バーストスイッチング (Optical Burst Switching, OBS) では、複数の IP パケットから構成されたバーストを単位としたデータ伝送を行う。

筆者らは [1] において、一定間隔でバーストを生成するラウンドロビン型バースト生成方式を提案し、バースト長が OBS 網に与える影響について検討した。しかしながら、[1] では光バースト交換機においてバッファの役割を果たすファイバ遅延線を考慮していない。

そこで本研究では、ファイバ遅延線を考慮した待ち行列モデルを構築し、連続時間マルコフ連鎖解析によってバースト棄却率を導出する。数値例では、解析モデルの妥当性及びファイバ遅延線の効果について検討する。

### 2 ラウンドロビン型バースト生成方式

本稿では、複数の queue からなるバースト生成装置 (burstifier) を考える (図 1 参照)。burstifier はアクセス網と OBS 網を接続するエッジノード内に設けられ、アクセス網から送られてくる IP パケットを目的地や QoS に応じて各 queue に蓄積する。queue 毎に蓄積された複数の IP パケットから 1 つのバーストが生成される。

各 queue はラウンドロビンに従って処理され、burstifier の処理時間は全て等しく一定の値  $T$  とする。  $L$  個の queue がある場合のサービス周期は  $LT$  となるため、各 queue で生成されるバーストは周期  $LT$  間に蓄積された IP パケットによって構成される。burstifier の出力は  $T$  間隔で、出力されたバーストは OBS 網に伝送される。

本稿では、burstifier からの一定間隔バースト入力と他の OBS ノードからのバースト入力を持つ光バースト交換機の性能を解析する。ここで光バースト交換機には可変遅延を実現するファイバ遅延線 (図 2 参照) を有するものと仮定する。ファイバ遅延線では、バーストの蓄積時間は遅延線の長さによって決定され、遅延線の単位長当たりの遅延が  $b$  で遅延ステージ数が  $n+1$  のとき、最大遅延  $B$  は  $B = (2^0 + 2^1 + \dots + 2^n) \times b$  で与えられる。波長多重数  $W$  のファイバ遅延線を  $N$  個もつ光ノードでは、 $K = NW$  個のバーストを蓄積可能である。

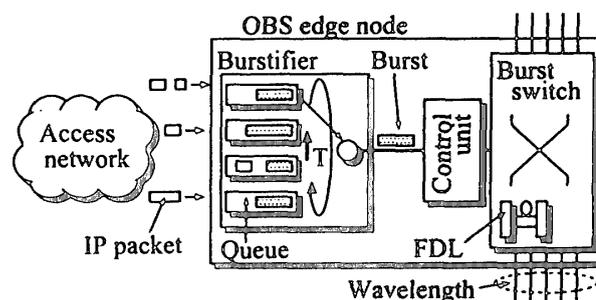


図 1: ラウンドロビン型バースト生成方式

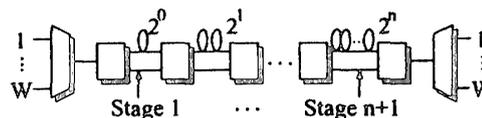


図 2: ファイバ遅延線

### 3 解析モデル

波長多重数が  $W$  で、各ノードが  $K$  個のバーストを蓄積可能なファイバ遅延線をもつ OBS 網を考える。このとき、網内のあるエッジノードを構成する光バースト交換機に注目する。

今、アクセス網から IP パケットが率  $L\lambda$  のポアソン分布に従ってエッジノードに到着する。エッジノードには  $L$  個の queue が設けられており、到着パケットが蓄積される queue は等確率で選ばれる。各 queue の 1 回の伝送処理時間は一定で  $T$  とする。全ての queue は全周期  $LT$  のラウンドロビンに従って処理され、処理中の queue では  $LT$  間に蓄積された複数の IP パケットから 1 つのバーストが生成される。ここで、光バースト交換機における IP パケット 1 個の平均伝送時間を  $1/\mu$  とし、生成されるバーストの交換機での伝送時間は率  $\mu/(LT\lambda)$  の指数分布に従うと仮定する。

burstifier から出力されるバーストは  $T$  間隔で交換機に到着し、空き波長がある場合はそれを使ってバーストが伝送される。空き波長がない場合には、ファイバ遅延線が利用できるときにはバーストはそこに一旦格納され、利用できないときにはバーストは棄却される。ま

た、交換機には他ノードで生成されたバーストが率 $\lambda_0$ でポアソン到着し、burstifierからのバーストと同様の伝送手段が行われる。以上の仮定より、対象システムはD,M/M/W/W+K待ち行列として解析できる。

#### 4 性能解析

以下では、定常状態での光バースト交換機におけるバースト棄却率を導出する。

最初に、一定間隔で到着するバーストが観察する状態を考える。時刻0で一定到着バーストの到着が発生したと仮定する。時刻 $t$ でのシステム内バースト数を $N(t)$ とすると、 $N(0) = 1$ となる。burstifierで $n$ 番目に出力されたバーストの到着直前のシステム内バースト数を $N_n^- = N(nT^-)$  ( $n = 0, 1, \dots$ )とする。外部バーストのポアソン到着及び指数サービスの仮定より、 $\{N_n^- : n = 0, 1, \dots\}$ は離散時間マルコフ連鎖を形成する。その定常状態確率を $\{q_k : k = 0, \dots, W + K\}$ とおく。

$q_k$ の遷移確率を導出するため、 $N_n^-$ と $N_{n+1}^-$ の間に起こる状態遷移に注目すると、外部ノードからのポアソン到着と指数サービス完了によるバースト離脱の二種類の事象しか発生しないことがわかる。これより $N_n^-$ と $N_{n+1}^-$ の間の状態遷移はM/M/W/W+Kと同一であり、M/M/W/W+Kの無限小生成作用素を $Q$ とすると、 $0 \leq s < t < T$ をみたす $s, t$ に対して、時刻 $s$ の状態から状態 $t$ への状態遷移確率行列 $H(s, t)$ は

$$H(s, t) = \exp\{Q(t - s)\}, \quad (1)$$

で与えられる。簡単のため、 $H(0, t) \equiv H(t)$ とおく。 $n$ 番目と $n+1$ 番目の観察点の時間間隔は $T$ であり、初期状態は $\min(N_n^- + 1, W + K)$ で与えられることに注意すると、 $q_k$ の遷移確率は次式で与えられる。

$$U_{ij} \equiv P_r\{N_{n+1}^- = j | N_n^- = i\} = \begin{cases} [H(T)]_{i+1, j}, & 0 \leq i \leq W+K-1, 0 \leq j \leq W+K, \\ [H(T)]_{W+K, j}, & i = W+K, 0 \leq j \leq W+K. \end{cases} \quad (2)$$

$U = [U_{ij}]$ ,  $q = (q_0, \dots, q_{W+K})$ ,  $e = (1, \dots, 1)^T$ とすると、 $q$ は $q = qU$ ,  $qe = 1$ より得られ、一定到着バーストの棄却率は $q_{W+K}$ で与えられる。

次に、任意時点での定常状態確率 $\{p_k : k = 0, \dots, W + K\}$ の導出のため、一定到着間隔を一つのサイクルとみなし、その間の状態遷移の時間平均を考える。このサイクルの初期状態確率 $\{r_k : k = 0, \dots, W + K\}$ は次式で与えられる。

$$r_i = \begin{cases} 0, & i = 0, \\ q_{i-1}, & 0 < i < W + K, \\ q_{W+K-1} + q_{W+K}, & i = W + K. \end{cases} \quad (3)$$

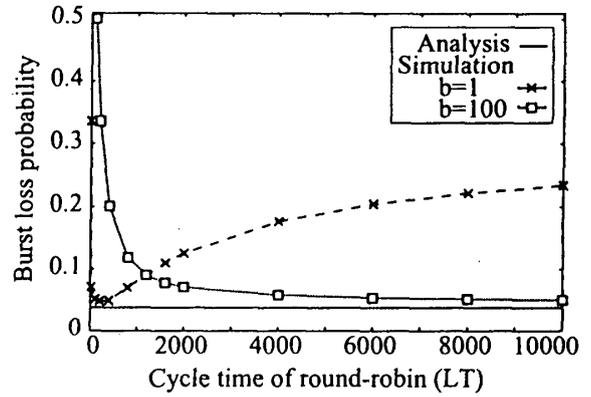


図3: ラウンドロビンの周期 $LT$ が棄却率に与える影響

$p = (p_0, \dots, p_{W+K})$ ,  $r = (r_0, \dots, r_{W+K})$ とおくと最終的に $p$ は次式で与えられる。

$$p = \frac{1}{T} r \{IT + (e^{QT} - I - QT)(Q - \pi e)^{-1}\}. \quad (4)$$

ここで $\pi$ は $\pi Q = 0$ ,  $\pi e = 1$ を満たす確率ベクトルである。これより、外部バーストの棄却率は $p_{W+K}$ で与えられる。

サイクル期間 $T$ 内で生成されるバースト数に注意すると、バースト棄却率 $P_{loss}$ は

$$P_{loss} = \frac{q_{W+K} + \lambda_0 T p_{W+K}}{1 + \lambda_0 T}, \quad (5)$$

で与えられる。

#### 5 数値例

図3は、ラウンドロビンの周期 $LT$ がバースト棄却率に与える影響を示している。ここで、 $W = 4$ ,  $K = 20$ ,  $L = 2$ ,  $\lambda = 0.5$ ,  $\mu = 1$ とし、リンク利用率が常に1となるように $\lambda_0 = 3/T$ とする。さらに、シミュレーションでは $n = 10$ とし、 $b = 1, 100$ の2通りを考慮する。

図3から、解析結果はシミュレーション結果の最小値を示すことがわかる。これは、ファイバ遅延線のバッファ能力が $b$ や $n$ により制限を受けるためである。また、 $b$ によって最小バースト棄却率を与える $LT$ が異なるため、バースト交換機内のファイバ遅延線に応じて最適なラウンドロビン周期を用いることが必要となる。

#### 参考文献

- [1] 安島 他, "光バーストスイッチングにおけるラウンドロビン型バースト生成方式の提案と性能評価," preprint.
- [2] Hsu et al., "Performance Analysis of Deflection Routing in Optical Burst-Switched Networks," in Proc. INFOCOM 2002, June 2002.