# 非同期光パケットリングにおける高帯域利用効率パケット選択方式

Increasing Utilization by Packet Selection Mechanism on Asynchronous Optical Packet Ring Networks

岡村 悠貴 Yuki OKAMURA　鈴木 誠 Makoto SUZUKI　石田 繁巳 Shigemi ISHIDA　今泉 英明 Hideaki IMAIZUMI　関谷 勇司 Yuji SEKIYA
森川 博之 Hiroyuki MORIKAWA

東京大学 / The University of Tokyo

## 1　はじめに

非同期光パケットリングネットワーク技術を用いるとネットワークを低コストで構築できるが，高トラフィック時にはパケットを送出できない短いパケット間ギャップが頻発し，帯域利用効率が低下するという問題がある [1]．本稿では，各ノードにおいて，通過するパケットの宛先情報を利用し，同じ宛先のパケットが連続するようにパケットを送出することで，帯域利用効率を向上させる方式を示す．

## 2　非同期光パケットリングネットワーク

光パケットリングネットワーク技術では，各ノードにおける通過パケットの光電変換を省略することでネットワークの低コスト化を実現する．特に，光パケット交換技術における非同期型ネットワーク方式では，スロット型ネットワーク方式と比較して，可変長パケットの分割/再構成やスロット同期のための機構も省略できるため，より低コストにネットワークを構築できる [2]．

図 1 に非同期光パケットリングネットワークにおける交換ノードの模式図 [3] と，交換ノードを通過するパケットの様子を示す．交換ノードは受信部 (Drop) と送信部 (Add) から構成される．受信部は，パケットのヘッダに含まれる宛先情報を用いて光スイッチを制御し，前ノードから到着したパケットを，抜き出すか次ノードに通過させるかを決定する．送信部は，リングネットワーク上を流れるパケットと衝突しないようにローカルパケットを送出する．パケットの衝突を回避するために，ノードを通過するパケットを監視し，パケット間のすき間（パケット間ギャップ）を検出する．パケット送出用キューはパケット間ギャップの通過タイミングを取得し，パケット間ギャップがキュー内の先頭パケットのパケット長より長い場合にパケットを送出する．

高トラフィック時ではパケット密度が高くなるため，パケットを送出できるパケット間ギャップが少なくなる．この場合，あるノードで抜き出したパケットによって生じるギャップを，そのノードあるいは直後のノードですぐに再利用してパケットを送出することになる．しかしながら，パケット長の短いパケットを抜き出して生じたギャップは長いパケットを収容できないため，帯域利用効率の低下につながる．

## 3　宛先情報を利用したパケット送出方式

本稿では，帯域利用効率向上のために，各ノードにおいて直前に通過したパケットと同じ宛先のパケットを選択して送出する方式を示す．各ノードが直前に通過したパケットと同じ宛先のパケットを送出することで，リングネットワーク上には同じ宛先のパケットが長く連続して並ぶ．連続したパケットが宛先ノードにおいて抜き出されることで，長いパケット間ギャップが生じる．これにより，高トラフィック時においても長いパケットを送出できる可能性が高まる．

図 2 に，提案する交換ノードの模式図と，交換ノードを通過するパケットの様子を示す．受信部と送信部に，宛先情報を利用して直前に通過したパケットと同じ宛先のパケットを送出する機能を加える．受信部は，送出時に宛先情報を利用するために，ノードに到着したパケットから宛先情報を取り出して送信部に伝達する．送信部は，受信部から取得した宛先情報を利用して宛先ごとに用意したキューを選択し，直前に通過したパケットと同じ宛先のパケットを送出する．キューは宛先ごとに必要となるものの，到着するパケット数は各キューに分散され，各キューのキューサイズが小さくなるため，必要なメモリ量は変わらない．また，キューが宛先ごとに分かれることで，パケットの順序逆転が発生するが，各キューに関しては先頭から順にパケットを送出するため，宛先ごとではパケットの順序逆転は発生しない．

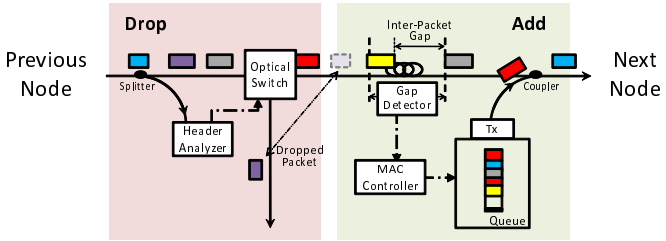


図 1　非同期光パケットリングノードの模式図

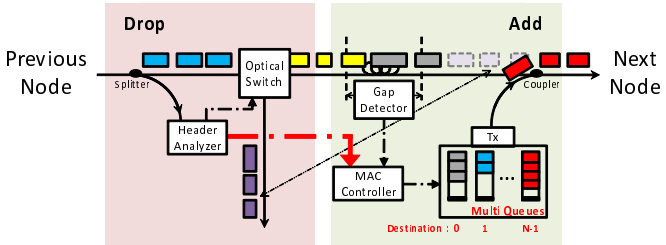


図 2　宛先情報を利用した非同期光パケットリングノードの模式図

## 4　シミュレーション評価

宛先情報を用いて同じ宛先のパケットを連続して送出する方式の有効性を示すため，帯域利用効率と遅延時間をシミュレーションによって評価した．パケット長分布は [3] を元に，MCI 社のバックボーンリンクのトレースデータを利用し，到着間隔はポアソン到着，宛先は各ノードに対して一様分布とした．リングネットワークトポロジは，ノード数が 10，波長数が 10 波長，ビットレートが 1 波長あたり 40Gb/s の合計 400Gb/s である．各ノードへの送出トラフィック量を 4Gb/s から 80Gb/s まで変化させ，キューの先頭から順にパケットを送出する FIFO（First-In First-Out）方式と，宛先情報を用いて同じ宛先のパケットが連続するようにパケットを送出する同一宛先パケット連続方式を比較した．

図 3 に各リンクの帯域利用効率を示す．FIFO 方式では 75 %以上帯域を利用できないものの，同一宛先パケット連続方式（Address-Based）では帯域利用効率が 94 %に達する．これは，同一宛先パケット連続方式では長いパケット間ギャップが生じ，パケットを効率的に送出できるためである．FIFO 方式では 60Gb/s 以上になると短いパケット間ギャップが増加し，リングネットワーク上の帯域の 25 %をパケット間ギャップが占めるため，帯域を有効に利用できない．

図 4 に各ノードでの遅延時間を示す．両方式ともトラフィック量増加に対して遅延時間が増加する．FIFO 方式ではトラフィック量が 60Gb/s を超える点で，遅延時間が急激に増加する．一方で，同一宛先パケット連続方式では，FIFO 方式に比べて高トラフィック時にも遅延時間が小さい．この結果から，高トラフィック時にも同一宛先パケット連続手法によって長いパケットを送出できることがわかる．

## 5　まとめ

本稿では，非同期光パケットリングネットワークにおいて宛先情報を送信部に用いることで帯域利用効率を向上させる手法を示した．現在は，宛先に偏りがあるトラフィックパターンに対する本手法の適用を進めている．

## 謝辞

本研究は情報通信研究機構（NICT）の委託研究の一環である．

## 参考文献

[1] T. Eido *et al.*:“Performance of Optical Ring Architectures with Variable-Size Packets: In-Line Buffers vs Semi-synchronous and Asynchronous Transparent MAC Protocols,” FITraMEn, 2008.

[2] M. Herzog *et al.*:“Metropolitan Area Packet-Switched WDM Networks: A Survey on Ring Systems,” IEEE Commun. Surv. Tut., vol.6, no.2, 2004.

[3] D. Wonglumsom *et al.*:“Experimental Demonstration of an Access Point for HORNET—A Packet-Over-WDM Multiple-Access MAN,” J. LightWave Technol., vol.18, no.12, 2000.

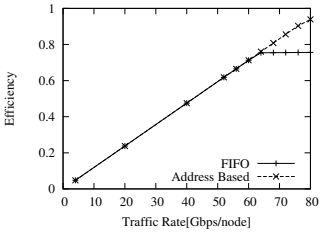


図 3　帯域利用効率

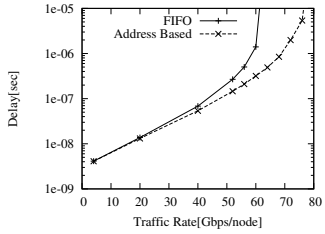


図 4　遅延時間





Copyright © 2011 IEICE