

GE-PON における下り TCP スループットの公平性に関する検討

小原 一歩[†] 宮崎 典行[†] 田中 啓仁[†] 枝川 登[‡]

[†]株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

[‡]KDDI 株式会社 〒163-8003 東京都千代田区飯田橋 3-10-10

E-mail: [†]{ohara, nr-miyazaki, kj-tanaka}@kddilabs.jp, [‡]no-edagawa@kddi.com

あらまし 現行 FTTH サービスを支える光アクセス技術である GE-PON では、OLT までの距離が ONU ごとに異なることに起因する下り TCP スループットの不公平性が懸念される。下り TCP スループットはポーリング周期の短縮により向上するが、ポーリング周期を極端に短縮した場合は上り実効帯域が大きく減少するという問題がある。本稿では、OLT までの距離に応じて各 ONU に適用するポーリング周期を最適化することで、十分な上り実効帯域を確保しつつ、下り TCP スループットの公平性を確保することが可能な伝送制御手法について提案する。また、32 台の ONU を有する GE-PON システムにて、提案方式の有効性を実験的に確認したので報告する。

キーワード GE-PON, TCP スループット, 公平性

Fairness of downstream TCP throughput in GE-PON systems

Kazuho Ohara Noriyuki Miyazaki[†] Keiji Tanaka[†] Noboru Edagawa[‡]

[†]KDDI R&D laboratories Inc. 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502 Japan

[‡]KDDI Corporation 3-10-10 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 163-8003 Japan

E-mail: [†]{ohara, nr-miyazaki, kj-tanaka}@kddilabs.jp, [‡]no-edagawa@kddi.com

Abstract Fairness of the downstream TCP throughput would not be kept in GE-PON systems where the distances between OLT and ONUs are largely diverse, although the downstream TCP throughput is still key for most Internet services. In this paper, we propose a method to provide fairness of the downstream TCP throughput among diversely located ONUs in a GE-PON system with keeping the upstream effective bandwidth. We also demonstrate the effectiveness of the proposed method using a GE-PON with 32 ONUs placed at 2km and 50km.

Keyword GE-PON, TCP throughput, fairness

1. はじめに

国内では FTTH (Fiber To The Home) の本格的な普及が始まり、光ファイバ伝送の特長である大容量・高品質性を利用して、映像、IP 電話、高速インターネットのトリプルプレイサービスが商用展開されている。トリプルプレイサービスの中でも、インターネットは未だ主流で、トランスポート層プロトコルとして TCP (Transmission Control Protocol) が広く利用されていることから、高速なサービス環境を提供するためには実質的に TCP スループットの向上が重要となる。

現行 FTTH サービスを支える光アクセス技術の 1 つである GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) システム[1]で、上り方向の実効帯域を高速化する手法や、上り方向の TCP スループットを高速化する手法に関して、複数機関より多くの報告がなされている[2-9]。しかしながら、インターネットサービスで重要となる下り方向の TCP スループットに関しては、未だ十分な検討がなされていない。また、ユーザ装置 (Optical Network Unit: ONU) から局側装置

(Optical Line Terminal: OLT) までの距離 (伝送遅延) が ONU ごとに大きく異なる GE-PON システムにおいては、ONU 間での TCP スループットの不公平性が生じることが懸念される。

そこで本稿では、OLT までの距離が大きく異なる ONU を有する GE-PON システムにおいて、十分な上り実効帯域を確保しつつ、ONU 間の下り TCP スループットの公平性を確保する伝送制御手法を提案し、32 台の ONU を有する GE-PON システムを用いて、本提案手法の有効性を実験的に確認したので報告する。

2. GE-PON

GE-PON システム構成を図 1 に示す。GE-PON は、受動 (Passive) 機器である光スプリッタにより複数のユーザを収容し、下り方向 (OLT→ONU) / 上り方向 (ONU→OLT) で異なる波長を用いた 1 芯双方向通信により、各方向 1Gbit/s の帯域を提供している。GE-PON でのユーザ収容範囲は 20km と広く、原理的には 128 以上のユーザ (一般的には 32、図 1 では 3) を収容で

きる。

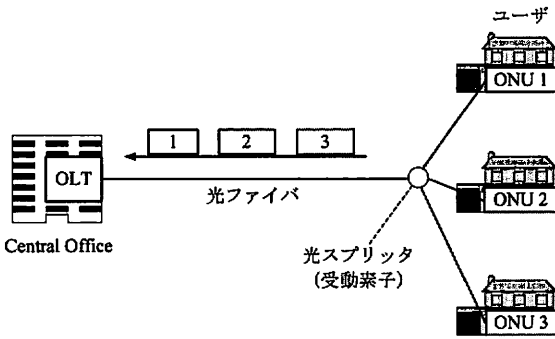


図1 PONシステム構成

1 対多のトポロジーである GE-PON では、下り方向には放送型配信で各 ONU が自分宛ての信号のみを抽出する時分割多重 (Time-Division Multiplexing: TDM) 技術が、上り方向には各 ONU からの信号が光スプリッタにて互いに衝突しないよう制御する時分割多重接続 (Time-Division Multiple Access: TDMA) が適用されている。

GE-PON における TDMA 制御には MPCP (Multi-Point Control Protocol) が用いられ、各 ONU は OLT からの制御信号によって割り当てられる時間帯に信号を送信する仕組みとなっている。各 ONU は Report フレームにより必要帯域を要求し、OLT は各 ONU からの要求をまとめ、各 ONU に対して、送信可能なタイミングとデータ量 (送信時間) を Gate フレームにより割り当てる。ここで、ONU の信号送信間隔はポーリング周期と呼ばれている。

3. GE-PON における TCP スループット

3.1 TCP スループットの不公平性

TCP スループットは、WS/RTT で定義される。ここで、WS は Window Size、RTT は Round Trip Time である。WS は、サーバとクライアントの間で決定されるデータサイズであり、最大値は通常 64KB である。RTT は、サーバが信号を送出してから、クライアントが受信確認のため返送する ACK パケットを受信するまでの時間である。図 2 に、一般的な TCP 通信シーケンスを示す。図 2 はデータサイズ WS が複数のパケット (1 本の矢印が 1 パケットに相当) に分割されて送信される様子を表している。データサイズ WS が時間 RTT で転送されるので、そのスループットは WS/RTT となる。

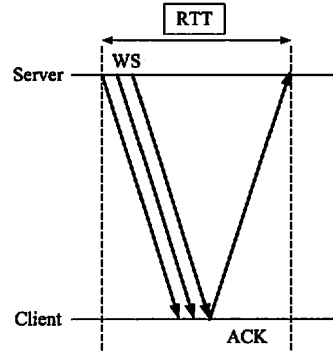


図2 TCP通信シーケンス

また図 3 に、GE-PON システムにおける TCP 通信シーケンスを示す。GE-PON においては、ONU からの送信信号は OLT から指示された時間帯にしか送信できないので、伝送遅延に加えて ONU での送信待ち時間が発生する。また、伝送遅延は OLT-ONU 間の距離に比例し、OLT からの距離が遠い ONU ほど TCP スループットは劣化するため、OLT-ONU 間の距離差に起因する TCP スループットの不公平性が生じる。この傾向は、50km 以上の長距離 PON システム [10-13] において多数のユーザを収容する際に顕著となる。

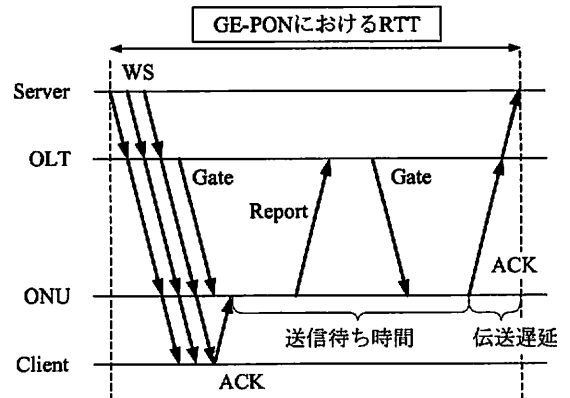


図3 GE-PON における TCP 通信

一般的に、アクセスネットワークにおける遅延はネットワーク全体の遅延量からすると非常に小さい。しかし、図 4 に示すように、キャッシュサーバを Central Office に設置することで TCP スループットの高速化を図る場合にはアクセスネットワークにおける遅延は TCP スループット特性の支配的な要素となる。

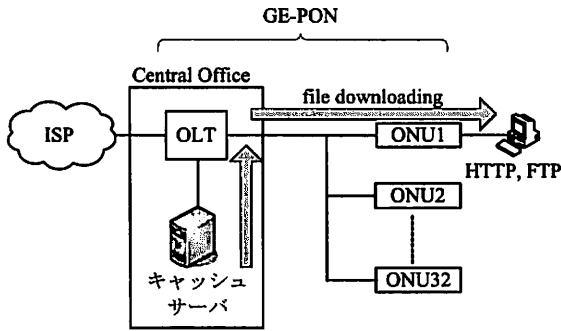


図4 ファイルダウンロード

3.2 ポーリング周期と上り実効帯域

次に、GE-PONにおける下り TCP スループットと上り実効帯域の関係について説明する。

GE-PON システムにおいて、TCP スループットを高速化するための直接的な方法は、全 ONU に対するポーリング周期を一律に短縮し、ACK 送信待ち時間を短縮することである。しかし、ポーリング周期を短縮することは、MPCP 制御と上りバースト送信に係るオーバーヘッドの増加につながり、上り実効帯域を減少させる結果となる(図5)。一例として、32台のONUを有するGE-PONシステムにおけるポーリング周期と上り実効帯域の関係を図6に示す。図6より、ポーリング周期が500μs以下となると、上り実効帯域が急激に減少することが分かる。

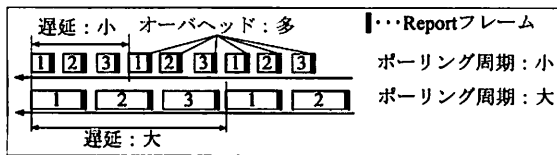


図5 上り実効帯域とポーリング周期

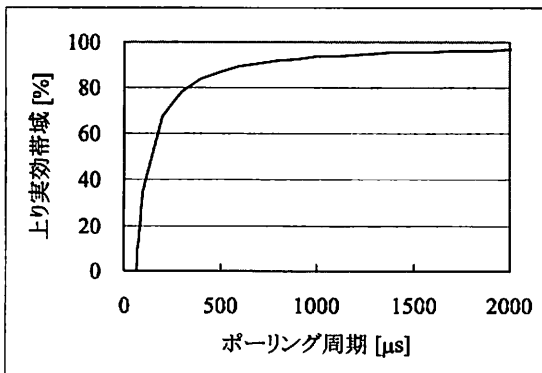


図6 上り実効帯域とポーリング周期との関係

4. 提案方式

前節で説明した下り TCP スループットと上り実効帯域とのトレードオフを解消し、十分な上り実効帯域を確保しつつ、下り TCP スループットの高速化と公平化を実現する手法として、各 ONU のポーリング周期を距離に応じて可変とする方式を提案する。

提案方式では、GE-PON において必要となる所望上り実効帯域を実現する条件の下で、遠距離にある ONU に対して短いポーリング周期を適用し、近距離にある ONU に対して長いポーリング周期を適用することにより、ONU 間の RTT の格差を解消し、TCP スループットの公平性を確保する。

具体的には、各 ONU のポーリング周期を以下の手順により決定する。

(1) 基準ポーリング周期 P_c の決定

ポーリング周期が全 ONU で同一であるとして、所望の上り実効帯域を実現するポーリング周期(基準ポーリング周期: P_c)を決定する。例えば、所望の上り実行帯域を 900Mbit/s とすると、図6より P_c は 500μs となる。

(2) 各 ONU の 1 秒あたりの送信回数 C_i の算出

(1)で得られた基準ポーリング周期の逆数 $1/P_c$ は、ONU1 台の 1 秒当たりのデータ送信回数に相当する。このことから、1 秒当たりにシステム全体で上り信号を送信できる回数 C は、システム全体における ONU の台数を N とすると、 $C=N/P_c$ で求められる。

本提案方式では、この全体送信回数 C を、各 ONU に対して OLT までの距離に比例するよう配分する。すなわち、ONU i ($i=1\sim N$) における 1 秒あたりの送信回数 C_i を、

$$C_i = C \times \frac{L_i}{\sum_{i=1}^N L_i}$$

とする。ここで、 L_i は ONU i の OLT からの伝送距離である。

(3) 各 ONU のポーリング周期 P_i の算出

ONU i に適用するポーリング周期 P_i を、 $P_i=1/C_i$ とする。

5. 実験および実験結果

提案方式の有効性を検証するため、32 台の ONU を有する GE-PON システムを用いた実験により、TCP スループット特性を実験的に評価した。

実験系を図7に示す。下り TCP スループットの格差が顕著となる長距離 PON システムを想定して、ONU1 を OLT から 50km の位置に、ONU2~32 を 2km の位置に配置した。上り所望帯域を 900Mbit/s とすると、 P_c

は $500\mu\text{s}$ となる。前節で述べた手順に従い、ONU1, ONU2~32 に適用されるポーリング周期 $P_1, P_2 \sim P_{32}$ を算出すると、 $P_1, P_2 \sim P_{32}$ はそれぞれ $35\mu\text{s}, 875\mu\text{s}$ となる。ただし実験では、使用したシステムの設定粒度制限から、ポーリング周期を $P_c=520\mu\text{s}, P_1=70\mu\text{s}, P_2 \sim P_{32}=850\mu\text{s}$ と設定した。

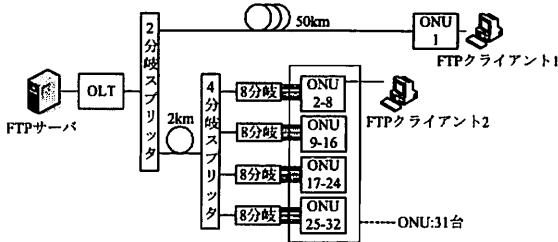


図7 実験系

単一ポーリング周期（すべての ONU に $P_c=500\mu\text{s}$ を適用）を用いた場合と、提案手法を適用した場合について、FTP クライアント 1 および 2 でそれぞれ独立に TCP スループット（WS=64KB での FTP ダウンロード速度）を測定した。試行はそれぞれ 3 回行い、平均値を測定結果とした。

実験結果を表 1 に示す。本提案手法を適用することにより、下り TCP スループットの差が 76Mbit/s から 12Mbit/s へと減少しており、ONU 間での下り TCP スループットの格差が解消され、公平性が確保されていることが分かる。なお、FTP サーバ、FTP クライアントはそれぞれ Windows2000 を搭載した PC であり、直接接続した場合は約 680Mbit/s の FTP ダウンロード速度が得られることを確認している。

表 1 下り TCP スループットの実験結果

	提案手法		単一ポーリング周期	
	P_i [μs]	下り TCP スループット [Mbit/s]	P_i [μs]	下り TCP スループット [Mbit/s]
ONU1 (50km)	70	313	520	261
ONU2 (2km)	850	325		337

5. まとめ

GE-PON システムにおいて、十分な上り帯域を確保した上で下り TCP スループットの公平化を実現するポーリング周期割当手法について提案し、OLT までの距離が 2km と 50km の ONU が混在した実験系において提案方式の有効性を実証した。

謝辞

日頃からご指導いただく、株式会社 KDDI 研究所の秋葉所長、宇佐見執行役員、堀内 GL に感謝致します。

文献

- [1] IEEE802.3ah
- [2] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON (EPON)," IEEE Communications Magazine, February 2002, 74-80 (2002).
- [3] M. P. McGarry, M. Maier, and M. Reisslein, "Ethernet PONs: A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) algorithms," IEEE Communications Magazine, 42, Issue 8 (2004).
- [4] D. Nowak, P. Perry, and J. Murphy, "Adaptive Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for Ethernet PONs," ECOC2004, WE4.P.136 (2004).
- [5] H. J. Byun, J. M. Nho and J. T. Lim, "Dynamic bandwidth allocation algorithm in ethernet passive optical networks," Electronics Letters, 139, No.13, 1001-1002 (2003).
- [6] G. Kramer, A. Banerjee, N. K. Singhal, and B Mukherjee, "Fair Queuing with Service Envelopes (FQSE): a cousin-fair hierarchical scheduler for Ethernet PONs," OFC2004, WO5 (2004)
- [7] 小原一歩, 田中啓仁, 坂田治久, 枝川登, "高 TCP スループット GE-PON システムのための最適ポーリング条件に関する一検討", 2005 年電子情報通信学会総大会 B-8-8, Mar. 2005.
- [8] 縣亮, 田中啓仁, 枝川登, "GE-PON システムの TCP スループット向上に適した DBA 方式", 2004 年電子情報通信学会総大会 B-8-17, Mar. 2004.
- [9] 太田憲行, 吉原修, 三鬼準基, "低遅延な EPON を実現する動的帯域割当方式", 進学技法 NS2002-18, Apr. 2002.
- [10] 富崎典行, 田中啓仁, 堀内幸夫, "90km-Reach 64 ONU GE-PON システムの特性評価", 2006 年電子情報通信学会総大会 B-8-5, Mar. 2006.
- [11] N. Suzuki, and J. Nakagawa, "First Demonstration of Full Burst Optical Amplified GE-PON Uplink with Extended System Budget of up to 128 ONU splits and 58 km Reach," ECOC2005, Tu1.3.3 (2005).
- [12] D. Nasset, R. P. Davey, D. Shea, P. Kirkpatrick, S. Q. Shang, M. Lobel, B. Christensen, "10 Gbit/s bidirectional Transmission in 1024-way Split, 110 km Reach, PON system using Commercial Transceiver Modules, Super FEC and EDC," ECOC2005, Tu1.3.1 (2005)
- [13] R. P. Davey, P. Healey, I. Hope, P. Hatkinson, and D. B. Payne, "DWDM reach extension of a GPON to 135km," OFC/NFOEC2005, PDP35 (2005)