

研究論文

ホームゲートウェイ連携による光アクセスシステム系 宅内装置省電力化に向けた制御手法に関する検討

西原 晋^{1,a)} 野村 紘子¹ 鵜澤 寛之² 氏川 裕隆¹
有川 勇輝² 八田 彩希² 田所 将志¹ 吉本 直人¹

受付日 2011年12月16日, 採録日 2012年4月13日

概要: 光アクセスネットワーク省電力化を目的とし, ホームゲートウェイ (Home gateway: HGW) との連携による光アクセス網終端装置 (Optical network unit: ONU) 省電力化技術を提案し, その際重要となる HGW と ONU 間での具体的連携手法ならびに省電力効率の改善効果, および連携手法の適用先について考察する.

キーワード: 光アクセスシステム, 省電力化, ONU, ホームゲートウェイ

Power-saving Effectiveness Improvement and the Control Mechanisms of Home-gateway Assisted In-home Appliances for Optical Access Systems

SUSUMU NISHIHARA^{1,a)} HIROKO NOMURA¹ HIROYUKI UZAWA² HIROTAKA UJIKAWA¹
YUKI ARIKAWA² SAKI HATTA² MASASHI TADOKORO¹ NAOTO YOSHIMOTO¹

Received: December 16, 2011, Accepted: April 13, 2012

Abstract: We propose a novel power-saving technique of ONU assisted by HGW for advanced energy-efficient optical access networks. Power-saving effectiveness improvement by our proposed technique is presented by numerical simulations, addressing signaling methods between the ONU and HGW along with their applicable systems.

Keywords: optical access system, power saving, ONU, home gateway

1. まえがき

通信インフラのブロードバンド化と, それを用いたサービスの普及が着実に進んできている. 日本ではアクセス系において近年, Fiber to the home (FTTH) の普及がめざましく, 図 1 に示すように, 2011 年 3 月の時点で 2,000 万加入を超えた. ブロードバンドな通信環境のもと取り扱うデータの大容量化も進んできている, Youtube による動画公開や Twitter や Facebook といった SNS ツール経由で写

真や動画を公開することが当たり前になってきた. 一方で, 昨今, 通信事業者にとってネットワーク装置の電力使用量削減は急務であり, 特に 2,000 万を超えるという膨大な台数ゆえに, 光アクセス網終端装置 (Optical network unit: ONU) やホームゲートウェイ (Home gateway: HGW) 等, アクセス系宅内装置の低消費電力化は喫緊の課題である. 今後のさらなる高速化もあわせて考慮すると, 何らかの対策を講じなくては現行システムより低消費電力化することは難しく, アクセス系の電力消費をいっそう増やしかねない. 光アクセスシステムの省電力化手法として代表的なものに, トラフィック非流通時に ONU を定期的にシャットダウンさせる ONU スリープ技術が検討されてきた. 本稿においては, アクセス系宅内装置のさらなる省電力化に向け, HGW が上りトラフィックを ONU より先んじて知りうるという点に着目した, HGW との連携による ONU 省電力化技

¹ 日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所
NTT Access Network Service Systems Laboratories, NTT Corporation, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, Japan

² 日本電信電話株式会社 NTT マイクロシステムインテグレーション研究所
NTT Microsystem Integration Laboratories, NTT Corporation, Atsugi, Kanagawa 243-0198, Japan

a) nishihara.susumu@lab.ntt.co.jp

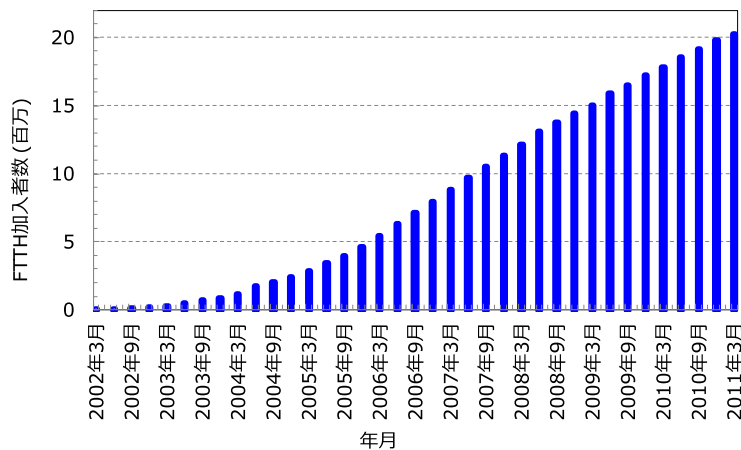


図 1 日本における FTTH 加入者数推移
Fig. 1 Spread of FTTH in Japan.

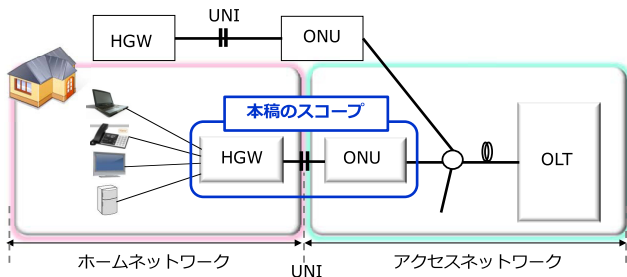


図 2 アクセスネットワークとホームネットワーク構成
Fig. 2 Configurations of access and home networks.

術について述べる．具体的には，提案手法における HGW から ONU に対してフレームを転送する技術について数式を用いて整理し，省電力効率の改善効果について述べる．また，これまで議論がなされていなかった ONU-HGW 間での連携手段，すなわち制御信号の通知手段に関して整理し，あわせて適用先光アクセスシステムについて考察する．

2. 光アクセスシステムと省電力化要求

2.1 網構成

多くの光アクセスシステムにおいては図 2 に示すように，Point-to-multipoint 型の Passive optical network (PON) 方式が採用されている．なぜなら PON 構成においては，1つの局側終端装置 (Optical line terminal: OLT) を複数の ONU で共有することによってシステムを経済的に構成でき，特にマスマーケット展開時の経済性という重要な要求条件を満たすためである．PON 方式とは対照的に，Point-to-point 型の Single star (SS) 構成もある [1]．SS 構成においては ONU が局側装置の OLT を占有するために高速通信が可能であるが，設備コストが高いという課題があり，ビジネスユーザや大規模集合住宅等に適用されることが多い．ONU と接続された HGW を介してホームネットワークが構成される．HGW-ONU 間インタフェースはユーザ・ネットワーク・インタフェース (User network

interface: UNI) と呼ばれ，アクセスネットワークとホームネットワークとの境界となる．ホームネットワーク配下には，PC，VoIP 端末，TV ほか，様々な情報家電が接続されることが予想される．

2.2 伝送速度

PON 方式は高速化とともに普及が年々進んできた．図 3 に示すように，伝送速度 50 Mbit/s の STM-PON 導入に始まり [2]，155 Mbit/s，622 Mbit/s の B-PON [3]，[4]，1 Gbit/s の Gigabit Ethernet PON (GE-PON) [5]，[6]，2.5 Gbit/s の G-PON [7] と年々高速化が進んできており，さらに高速な 10G クラスの 10G-EPON [8] や XG-PON1 [9] の標準化もそれぞれ IEEE と ITU-T で完了した．現在は主にアジアで GE-PON，北米で G-PON が導入されており，次期システムとして 10G クラスの PON システムが開発フェーズにある．

2.3 アクセス系宅内装置に対する省電力化要求

昨今の省エネ，省電力化要求は国，個人，法人を問わない社会的要請事項となっている．特に ONU や HGW といったアクセス系宅内装置は数千万にもおよぶ膨大な数が流通し，HGW 配下の各種情報家電も考慮に入れると，今後宅内装置の流通数は増大することが予想されるために消費電力の点で与える影響が大きい．さらに，現行 1 Gbit/s の GE-PON システムが今後さらに高速なシステムにアップグレードされる際は，装置を構成する電気デバイス的高速動作性能も求められる．それにより増大するデバイス動作周波数は，さらなる消費電力の増大を招く可能性がある．したがって，アクセス系宅内装置の省電力化は今後の通信ネットワークにおいてきわめて重要な課題の 1 つである．

3. アクセス系宅内装置省電力化手法

本章では，アクセス系宅内装置の省電力化手法の概要を，

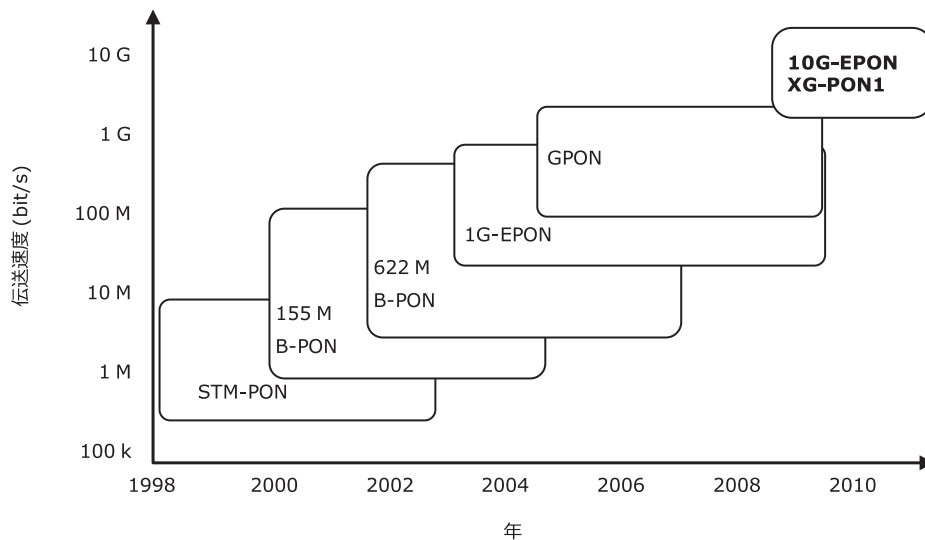


図 3 PON 方式高速化の推移

Fig. 3 Bit rate trend of PON systems.

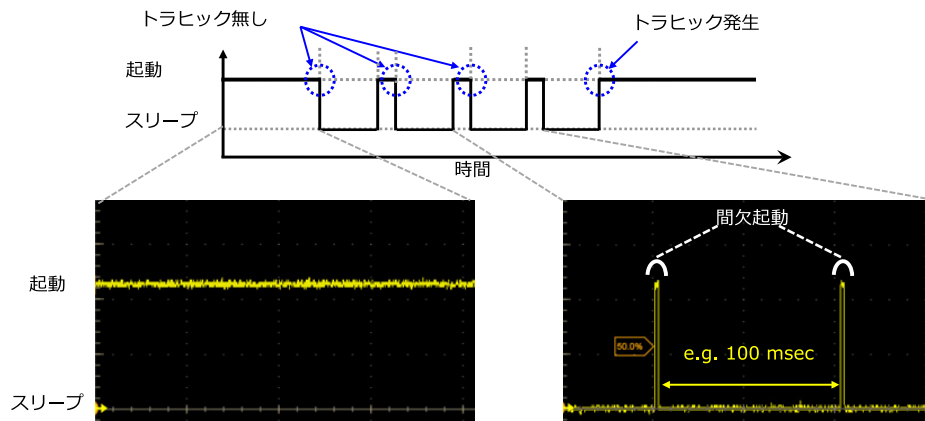


図 4 ONU スリープ動作概要

Fig. 4 Operation principle of ONU sleep.

主に装置間連携に基づくネットワーク側、および装置レベルのデバイス側双方から説明する。

3.1 ネットワークレベル

代表的な技術として ONU スリープ [9], [10], [11], [12], [13], 適応リンクレート切替え技術 (Adaptive link rate switching: ALR) [10], [14], [15], [16] があげられる。図 4 にその概要を示すように、ONU スリープ技術とは、トラヒック非流通時に省電力モードで動作し、ONU を構成する光電気部品、特に光送受信器 (Optical transceiver: TRx) に対する給電を停止することによって装置を省電力化する技術であり、TRx は光送信器 (Optical transmitter: Tx)、光受信器 (Optical receiver: Rx) によって構成される。入力トラヒックが存在する際、ONU は通常どおり OLT と通信するが、入力トラヒックがなくなると省電力モードに移行する。省電力モードにおいても、定期的に起動して OLT と通信し、トラヒック有無やリンク正常性を確認する。一方 ALR は、低速動作時の方が ONU を構成するデバイスの

動作周波数が低いことに着目した技術であり、入力スループットが低くなると動作モードを低リンクレートモードに切り替え、ONU 消費電力を抑制する。ONU スリープにおいて ONU-OLT 間で制御メッセージが送受信される際の動作概要を説明する。図 5 では、ITU-T において規定されている、ONU の Tx のみをスリープさせる Doze という方式 [9] の動作例を示す。任意の ONU において上りトラヒックがなくなり、また、OLT 側でその ONU が Doze に入ってよいと判断したとする。すると OLT から ONU に対して SleepAllow (ON) (SA (ON)) が送信される。SA (ON) には、その ONU の Doze 遷移を許可するという情報や、スリープ時間、間欠起動して次に OLT に対して制御信号を送信する時刻に関する情報等が含まれる。図 5 においては、ONU が Doze 遷移を選択し、Sleep Request (Sleep) (SR (Sleep)) を OLT に対して送信している。SR (Sleep) 送信後 ONU は Tx に対する給電を停止している。Doze においては Rx は起動したままであるため、下り信号を引き続き受信する。OLT から指定された所定のスリー

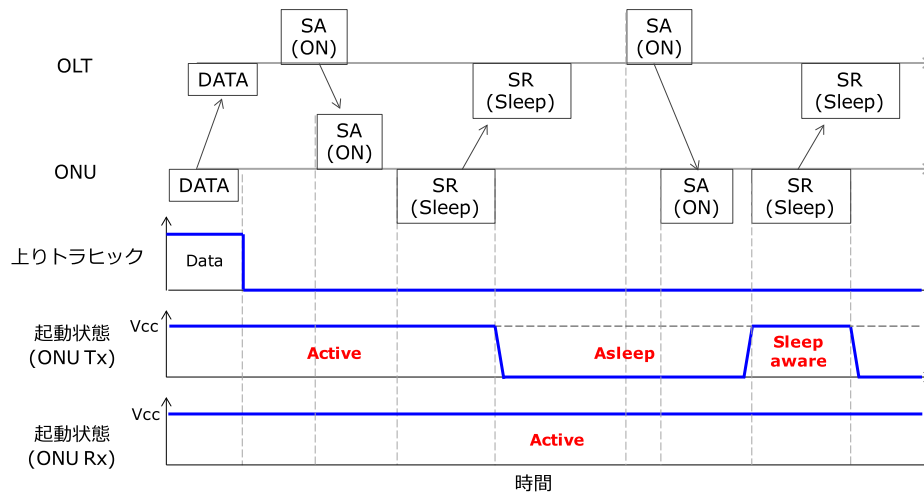


図 5 Doze の動作例

Fig. 5 Operation principle of Doze mode.

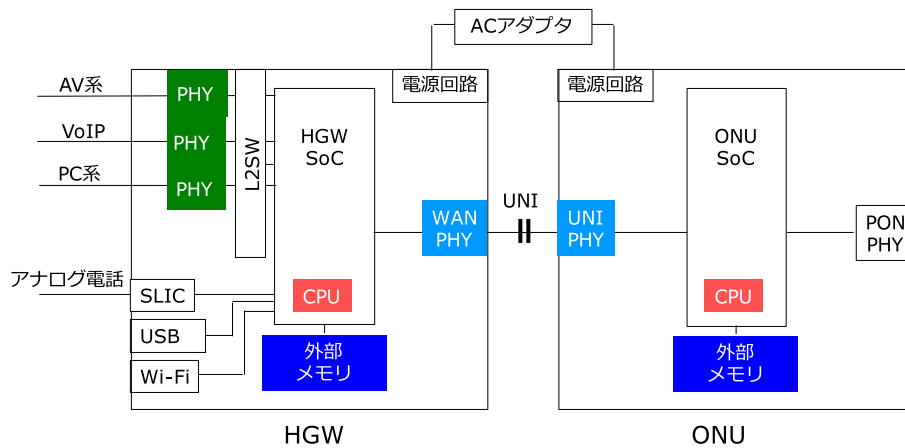


図 6 ONU および HGW のハードウェア構成例

Fig. 6 Configurations of ONU and HGW.

ブ時間後、OLT からの SA (ON) を再び ONU は受信し、ONU は Tx への給電を再開し、やはり指定された時刻に SR (Sleep) を再び OLT に対して送信し、再度 Tx に対する給電を停止している。ONU において、Tx は消費電力の多い部品であるため、Doze は一般的に有効な省電力化手法である。

3.2 装置レベル

図 6 に、ONU および HGW のハードウェア構成例を示す。ONU、HGW といったアクセス系宅内装置は、バッファメモリや物理インタフェースといった冗長な部品を含んでいるため、これらの冗長性を解消する装置省電力化技術が検討されている。また、IEEE において標準化された Energy-Efficient Ethernet (EEE) [17] というメカニズムも昨今導入が進んできている。こちらは UNI を構成する LAN インタフェース間トラヒックがなくなったときに、サービスに悪影響を与えることなく、UNI を対向して構成する送信器および受信器に対する給電を制御し、消費電力を削減する技術である。

3.3 デバイスレベル

デバイスのアプローチとして、半導体プロセスの微細化による電気部品動作電圧の低下があげられるが、一方でリーク電流の増加という課題もあり、長期的視点での取り組みが精力的になされている。LSI における電力削減技術として、動作する必要のない回路に対する給電を停止するパワーゲーティングやクロック供給を停止するクロックゲーティング等の技術が検討されている。パワーゲーティングやクロックゲーティングは、省電力効果と応答時間の間にトレードオフが存在するため、適用部位を的確に選択する必要がある。

4. HGW 連携による ONU 省電力化

今後 FTTH がさらに普及し高速化が進み、また、ホームネットワークの普及により様々な装置や機器が HGW を介して接続されることが予想される。その際には、それら宅内装置の利用状況をモニタしたうえで該装置を構成する非使用部位に対する給電を適応的に制御することにより、アクセス系宅内装置が中心となった制御に基づく、よりス

マートな省電力ネットワークが実現可能と考えられる。そこで本稿においてはその第1ステップとして、我々がこれまで検討してきた ONU スリープ技術による省電力化を、HGW との連携によりさらに向上させることを検討する。まず ONU スリープの課題を整理した後、本提案の HGW 連携による ONU 省電力化技術を説明する。

4.1 ONU スリープの課題

ONU スリープでは、トラフィック非流通時において、3.2 節で述べたような Doze, パワーゲーティングやクロックゲーティングといった、非使用部位に対する給電範囲を制御するアプローチがある。また、給電停止時間を可能な限り増やすというアプローチもある。本稿においては特に後者に着目し、理想的なスリープ時間が制限されるという課題を以下のとおり整理する。

- 入力トラフィック間隔閾値時間：スリープモードに遷移する際、入力トラフィック間隔に関する閾値時間が必要であった [10]。スリープモード遷移可否を判断するため、トラフィック入力状況を監視し、一定期間にわたってトラフィックの入力がないことを判断した後スリープモードに遷移するが、スリープ可能な時間が制限される。
- ソフトウェア処理時間：スリープ/起動に関する命令をソフトウェア的に処理する際、ONU 内蔵プロセッサにおける遅延が発生する。
- デバイス過渡応答時間：給電制御対象の光・電気デバイスはスリープ/起動の状態遷移に一定の時間を有する。特に電源回路周辺の応答時間に律速されるが、電子回路の安定動作や信号に対する雑音抑制、素子信

頼性確保といった点で高速起動/停止に技術的課題がある。

- スリープ/起動間遷移頻度：スリープ/起動状態の間で遷移する頻度が高い場合はスリープ可能な時間が減少するため、好ましくない。

4.2 提案手法—HGW 連携による省電力化技術

4.1 節で述べた要因により、図 7(a) に示すように、ONU の理想的なスリープ時間を確保することは困難である。すなわち、トラフィック到着閾値時間間隔分や各種遅延により、スリープ時間が減少し、トラフィック到着間隔が短い際はスリープにすら入れないことも起こりうる。そこで我々は ONU スリープにおけるスリープ時間を可能な限り延ばすため、HGW が上りトラフィックに関する情報を ONU に先んじて知りうる点に着目し、スリープ/起動時の遷移タイミングを HGW 側から制御する手法を提案している [18], [19]。図 7(b) に示すように、ソフトウェア処理の遅延を見込んだうえで早めに状態遷移に関するトリガ信号を HGW から ONU に対して与える。本手法により、従来必要とされていたトラフィック到着閾値時間間隔を不要にできるだけでなく、ソフトウェア処理分の遅延をオフセットできるため、スリープ時間を延ばしてより理想に近づけることが可能になる。また本手法は、上りフレームが任意の間隔を空けて HGW に入力される際、フレームが存在しない区間において積極的に部品に対する給電を停止させることを目指すもので、本稿では Frame-by-frame 転送と称する。Frame-by-frame 転送により、理想的には遅延の増大なしにスリープ時間を可能な限り増大させることが可能である。さらに、スリープ/起動の遷移に要する遅延およびそ

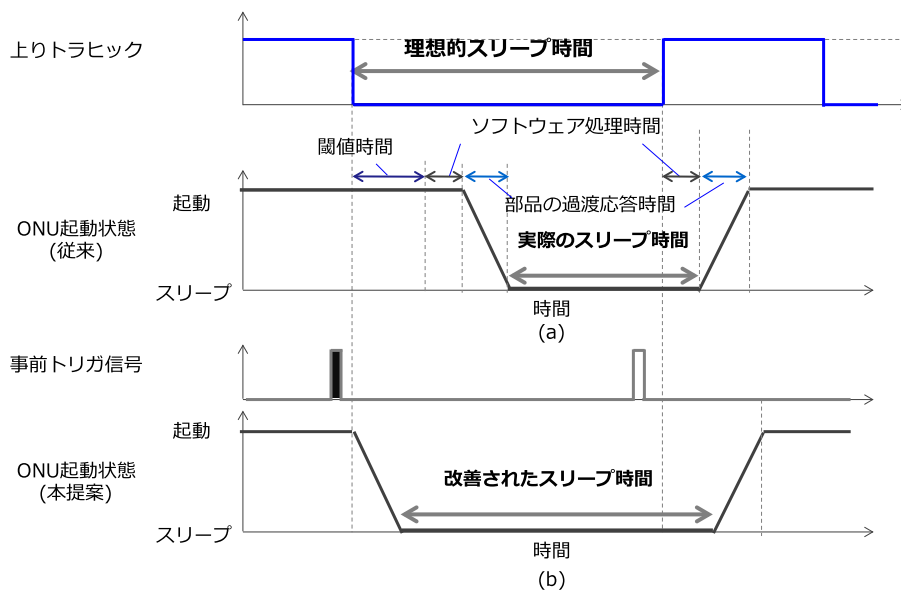


図 7 (a) ONU スリープの課題と (b) 事前トリガ信号によるスリープ時間改善
 Fig. 7 (a) Issues with conventional ONU sleep and (b) increased sleep time by early trigger.

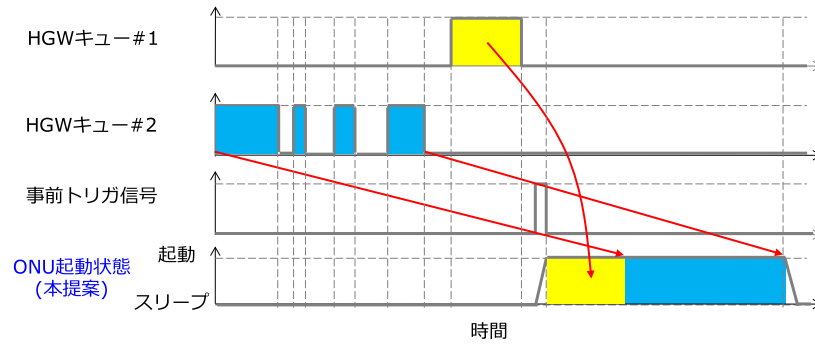


図 8 バッファフレーム一括送信による省電力効果改善

Fig. 8 Power-efficiency improvement by collective transmission of buffered frames.

の頻繁な状態遷移によってスリープ時間が減少してしまうという課題を解決するため、バッファフレーム一括送信技術を提案している [20]。本提案手法においては優先度ごとに異なる複数のキューを HGW が有する。図 8 に本手法の動作概略を示す。HGW はキュー #1, #2 から構成され、それぞれ高優先度および低優先度のフレームをバッファする。UNI 側からキュー #2 にフレームが入ると、ある閾値時間の間はバッファし続ける。その閾値時間以内にキュー #1 にフレームが入力されると、キュー #1 のフレームを送信するタイミングに合わせ、HGW から事前トリガ信号とともに、キュー内の全フレームを一括送信する。前述の Frame-by-frame 転送技術においてはフレーム間の無信号区間においても積極的に給電停止を行うものであったが、4.1 節において説明したように、スリープ/起動状態間の遷移頻度が増え、省電力効果が低下してしまう可能性がある点が課題としてあげられる。一方、バッファフレーム一括転送手法によればスリープ/起動の状態遷移頻度を削減できるため、スリープ時間を増大させ、省電力効果を向上させることができる可能性がある。前述のバッファ時間に関する閾値時間は、バッファフレームが運ぶデータのサービス要求条件、特に低遅延性に対する要求条件に依存する。

4.3 提案手法によるスリープ率改善効果

提案手法による省電力効果を数値計算によって検証した。

4.3.1 計算条件

本稿においてスリープ率 E を、スリープ可能な時間に対するスリープ時間の割合と定義すると、本手法におけるスリープ率 E は式 (1) のように表すことができる。

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{t_{slp_eff_i}}{t_{slp_ideal_i}} \quad (1)$$

ここで n は観測サイクル数、 $t_{slp_eff_i}$ 、 $t_{slp_ideal_i}$ はそれぞれ、各サイクルにおける正味のスリープ時間、スリープ可能な時間である。その際の TRx の消費電力 P は、式 (2) のように表すことができる。また、式 (2) の概念図を図 9 に示す。ただし Tx に対する給電制御のみを行うものとする。

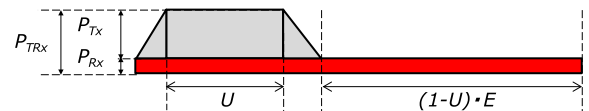


図 9 TRx 消費電力とリンク利用率、スリープ率の関係

Fig. 9 Relationship between power consumption of TRx, link utilization, and sleep ratio.

$$P = U \cdot P_{TRx} + (1-U) \left\{ P_{Rx} + \frac{P_{Tx}}{2} \cdot (1-E) \right\} \quad (2)$$

ここで U はリンク利用率で、たとえば物理速度が 1 Gbit/s のリンクにおいてスループットが 100 Mbit/s の際は $U = 0.1$ となる。 P_{TRx} 、 P_{Tx} 、 P_{Rx} はそれぞれ TRx、Tx、Rx の消費電力である。また、起動状態からスリープ状態への遷移は線形動作を仮定した。

次に、Frame-by-frame 転送技術を用いた際のスリープ率を E_1 とすると、式 (3) のように表すことができる。

$$E_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \{t_{ivl_i} - (t_{th} + t_{cmd_i} + 2 \cdot t_{trn} + t_{frame_i})\}}{\sum_{i=1}^n t_{ivl_i}} \quad (3)$$

ここで t_{ivl_i} 、 t_{th} 、 t_{cmd_i} 、 t_{trn} 、 t_{frame_i} はそれぞれ入力フレーム間隔、トラヒック入力閾値時間、CPU のソフトウェア処理時間、部品の過渡応答時間、フレーム送信時間である。一方でバッファフレーム一括転送技術を用いる際のスリープ率 E_2 は式 (4) のように表すことができる。

$$E_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \{t_{cycle} - (t_{cmd_i} + 2 \cdot t_{trn} + t_{frame_i})\}}{t_{obs} - \sum_{i=1}^n t_{frame_i}} \quad (4)$$

ここで t_{cycle} 、 t_{obs} はそれぞれ、フレーム一括送信周期、全観測時間である。10 Gbit/s リンクにおいて、 t_{cmd_i} は 0-5 msec の間で一様乱数として発生させ、スリープ率 E のスループット依存性を t_{trn} が 1、5 msec の場合それぞれにおいて計算した。フレーム長は 1,250 Byte で固定とし、フ

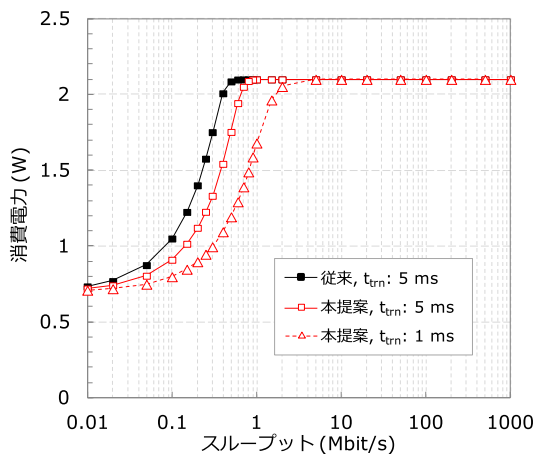


図 10 Frame-by-frame 転送手法による TRx 省電力効果

Fig. 10 Power-efficiency improvement by frame-by-frame transmission technique.

フレーム到着間隔はポアソン分布に従うものとした。たとえば、高スループット領域においてはフレーム間隔が狭くなるため、Frame-by-frame 転送技術を用いる際にはスリープ可能な時間が減少することが予想される。また、バッファフレーム一括転送技術を用いる際には、HGW 側に必要なバッファ量が増えることが予想される。比較のため、従来手法におけるフレーム到着間隔閾値を 20 msec とし、その際はソフトウェア処理遅延を 10 msec とした。提案手法の原理確認をするため、事前トリガ信号に関しては理想的で、過剰遅延は考慮しないものとする。

4.3.2 Frame-by-frame 転送による低遅延転送技術

Frame-by-frame 転送技術による TRx 省電力効果の入力スループット依存性を図 10 に示す。ただし、給電制御部位としては Tx のみの Doze モードとし、計算したスリープ率をもとに、式 (2) を用いて TRx の消費電力を見積もった。動作速度 10 Gbit/s の ONU 用 TRx における消費電力を 2.1 W とし、うち Tx が 1.4 W と 67% を占め、Rx が 0.7 W 消費するものとした [21]。TRx の消費電力を 1.1 W 程度にまで半減可能な入力スループットに着目すると、従来手法では 100 kbit/s 強のスループットしか得られなかったものの、提案手法によりスループットを約 200 kbit/s に倍増させることが可能であることが図 10 より分かる。また、デバイスの過渡応答時間を 1 msec に短縮することにより、TRx の消費電力を半減可能なスループットをさらに 400 kbit/s と、4 倍程度まで改善できることが示唆された。

4.3.3 バッファフレーム一括転送技術

本手法において、高優先度サービスとして VoIP トラフィックを想定し、 t_{cycle} を 20 msec とし、TRx 消費電力および必要バッファ量のスループット依存性を t_{trn} が 0.1, 1, 5 msec の場合において計算した。4.3.2 項同様、スリープモードとしては Doze の適用を仮定した。その結果、Frame-by-frame 転送では約 1 Mbit/s 以上の高いスループットでは省電力効果が期待できなかったが、一方でバッファフレーム一括転

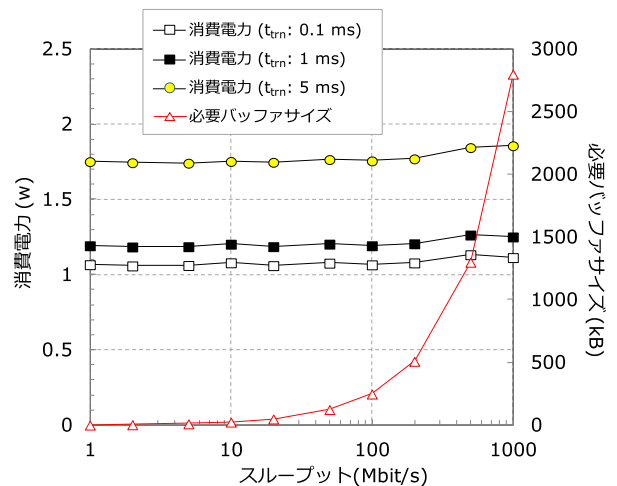


図 11 バッファフレーム一括送信による TRx 省電力化効果と必要バッファサイズ

Fig. 11 Power-efficiency improvement by collective transmission of buffered frame technique and required buffer size.

送技術によれば、図 11 に示すように、 t_{trn} が 5 msec の場合においても、2 Mbit/s 以上の高いスループットで、最大 3 Mbyte 弱の所要バッファサイズで TRx の消費電力を約 1.8 W と、20% ほど削減可能であることが分かる。さらに、 t_{trn} を 0.1 msec に高速化することにより TRx の消費電力を約 1 W とほぼ半減可能であることもあわせて示唆された。

5. ONU-HGW 連携手法の検討

HGW と ONU 間で、4.2 節で述べたスリープ/起動に関する制御信号を送受信する際の手法について、以下で説明する。

5.1 要求条件

HGW と ONU 間の連携において、スリープ/起動に関する制御信号通知機能を実装するうえでの要求条件を述べる。第 1 に、制御信号の処理により生じる遅延を最小限にすることが要求される。第 2 に、主信号に悪影響を与えないこと、つまり正味のデータの帯域を浪費しないことや、雑音の発生により主信号の S/N 比を劣化させないことが要求される。第 3 に、可能な限り汎用的なインターフェースや拡張性の高い制御プロトコルを採用することによって、ハードウェアの汎用性を損なわず、不要な装置コストの増加を招かないことが要求される。上記に鑑み、制御信号として適用可能と考えられる手法について以下で説明する。

5.1.1 ONU スリープに関する制御信号

たとえば 3.1 節の図 5 で説明した、SA や SR といった ONU スリープに関する制御フレームを HGW まで転送するアプローチが考えられる。ONU スリープ時における OLT, ONU, HGW 間で送受信されるメッセージの流れ、および ONU Tx, Rx, ONU-HGW 間 UNI の起動状態を

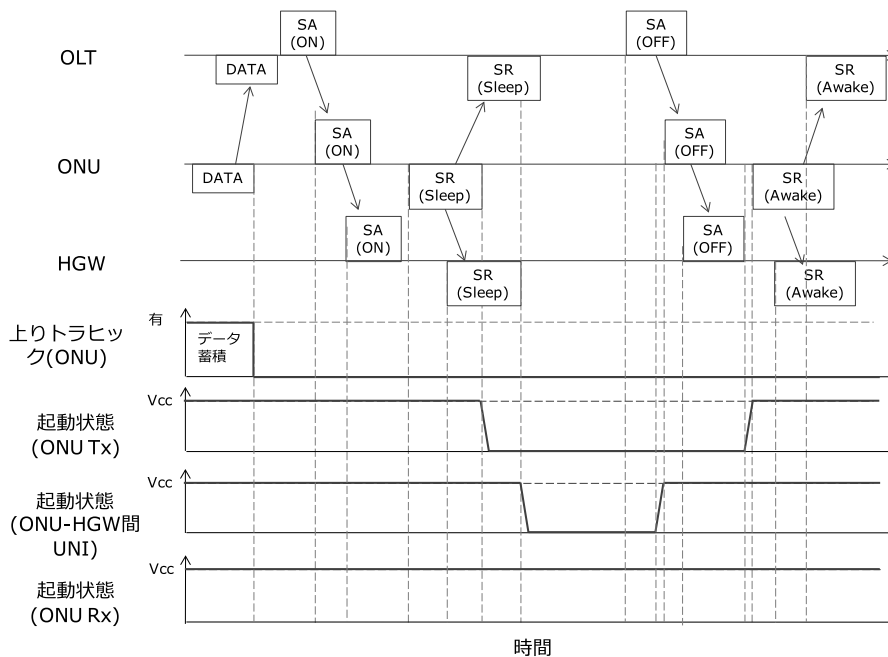


図 12 ONU スリープメッセージを用いた連携手法の動作例

Fig. 12 Operation principle of power-saving technique by using control messages for ONU sleep mechanisms.

図 12 に示す。図 5 に示されるような従来 ONU で終端されていたスリープに関する制御メッセージを、図 12 においては HGW まで転送している点が異なる。ONU がスリープに遷移する際は、次に起動して OLT と通信する時間も OLT から指定される。したがって、上り信号を OLT に対して次に送信する時間を ONU が分かっているため、該制御メッセージを HGW にまで転送し、HGW が ONU に対して上りトラヒックを送信するタイミングを最適化することによって ONU-HGW 間 UNI インタフェースにおける EEE による給電停止時間も増大させることができる可能性がある。本手法における制御メッセージは標準化されたフレームフォーマットに準拠するため、汎用性が確保されている。また、IEEE で議論されている SIEPON [13] 準拠のフレームを用いれば、ONU-HGW 間 UNI インタフェースとして汎用的な Ethernet フレームをそのまま使用できるため、さらに好ましい。

5.1.2 Energy-efficient Ethernet

3.2 節で説明した EEE は通信機器への導入が進んでおり、ONU-HGW 間インタフェースへの適用が視野に入ってきている。また、EEE では、通信機器間の省電力手法として、Low Power Idle が規定されている。そこで、制御情報のやりとりを ONU-HGW 連携へ応用することで、汎用性を担保しつつ、主信号への影響なしに伝えることができると考えられる。

5.1.3 Link Layer Discovery Protocol

通信機器間で連携する手法として、IEEE 802.1AB で標準化された Link Layer Discovery Protocol (LLDP) がある。LLDP は、通信機器の端末の情報や設定情報等を別の

通信機器へ通知するレイヤ 2 に位置付けられるプロトコルである。LLDP では、拡張項目が IEEE 802.1AB の規格に準拠している場合においては、フレームに搭載する情報を追加することができるため、拡張性が高い。LLDP を活用し、ONU-HGW 連携における制御信号だけでなく、ホームネットワークにおける情報家電の利用状況等に関する情報を収集し、あらゆる宅内装置の給電制御にまで応用できる可能性がある。

5.1.4 専用信号線

ONU-HGW 間における制御信号の形態として、筐体どうしを専用の信号線を用いて接続する手法も考えられる。この場合、主信号の帯域を不用に消費することがなく、また、物理レイヤにより近いところで処理することによって遅延を最小限に抑えることができると考えられる。しかしながら、従来のハードウェアに別線を搭載するということから、汎用性の点で課題があり、装置コストの増加を招きかねない点が懸念される。

5.1.5 Power-line Communication

電力線を通信媒体として利用する、電力線通信 (Power-line Communication: PLC) 技術が確立されている。一般的に電力線通信とは、家庭用コンセントに専用のアダプタを設置して通信機器を接続することにより、電力網を通信インフラとして用いるものである。本手法を応用し、ONU-HGW 間に接続される電力線を介して制御信号を送受信することが可能であると考えられる。この場合、既存の電力線を用いるため汎用性は高いが、その際には主信号や音声品質に対して雑音として悪影響を与えることが懸念される。

5.2 制御信号の適用性

専用の信号線や PLC を用いる手法に関しては、UTP ケーブルと別に制御信号線を設けることで高速制御が期待できるため、提案手法の原理確認としては適している。また、高速制御特性を活用することで、4章で述べた Frame-by-frame での高速転送技術への適用が可能であると考えられる。適用先光アクセスシステムとしては、他ユーザとの混在がなく逐次トラフィックを送信できる SS システムとの親和性が高いと考えられる。一方、ONU-OLT 間のスリープ制御に関するメッセージを用いる手法に関しては、ONU の上り送信時間の情報を活用できるので、4章で述べたバッファフレーム一括転送技術に適用可能であると考えられる。また、PON において上り通信は時分割多元接続 (Time division multiple access: TDMA) 方式で、ONU は上り信号をつねに送信できるとは限らず、OLT から指示される送信時刻までは ONU において所定の時間バッファされる。以上を考慮すると、ONU-OLT 間のスリープ制御に関するメッセージを用いたバッファフレーム一括転送技術の適用先光アクセスシステムとしては PON システムが好ましいと考えられる。

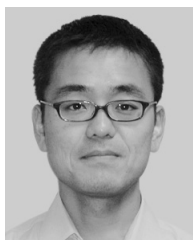
6. 結論

光アクセスネットワークの省電力化を目的とし、HGW との連携による ONU 省電力技術として、Frame-by-frame 転送技術およびバッファフレーム一括転送技術について提案し、良好な省電力効果が得られることを数値計算によって示した。また、HGW-ONU 間での具体的な連携手法について、要求条件を整理した後、本提案のフレーム転送技術および適用先光アクセスシステムとの親和性について述べた。制御手法として専用の信号線を用いる場合は、制御情報の高速転送性能ゆえに Frame-by-frame 転送技術との親和性が高く、適用先は SS システムが好ましいと考えられる。一方で、制御手法として ONU-OLT 間制御メッセージを用いる際は、バッファフレーム一括転送技術を用いたうえで PON システムに適用することが有効と考えられる。今後、制御手法を実装したうえで、提案手法の省電力効果を実験によって明らかにする予定である。

参考文献

- [1] Yoshida, T., Kimura, H., Asawaka, S., Ohki, A. and Kumozaki, K.: A compact 16-channel integrated optical subscriber module for economical optical access systems, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E87-B, No.4, pp.816-825 (2004).
- [2] Ohtaka, A., Yamaki, K., Miki, N. and Fujimoto, Y.: STM shared access system for high-speed IP communication, *Proc. NOC 2000*, pp.110-117 (2000).
- [3] ITU-T Recommendation, G.983.
- [4] 前田洋一, 中西健治: B-PON システムの標準化動向と今後の技術課題, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J85-B,

- No.4, pp.438-452 (2002).
- [5] IEEE 802.3ah Standard.
- [6] Tatsuta, T., Oota, N., Miki, N. and Kumozaki, K.: Design philosophy and performance of a GE-PON system for mass deployment, *J. Optical Networking*, Vol.6, No.6, pp.689-700 (2007).
- [7] ITU-T Recommendation G.984.
- [8] IEEE 802.3av Standard.
- [9] ITU-T Recommendation G.987.
- [10] Kubo, R., Kani, J., Ujikawa, H., Sakamoto, T., Fujimoto, Y., Yoshimoto, N. and Hadama, H.: Study and demonstration of sleep and adaptive rate control mechanisms for energy efficient 10G-EPON, *J. Opt. Commun. Net.*, Vol.2, No.9, pp.716-729 (2010).
- [11] Zhang, J. and Ansari, N.: Toward energy-efficient 1G-EPON and 10G-EPON with sleep-aware MAC control and scheduling, *IEEE Commun. Mag.*, pp.533-538 (2011).
- [12] Gupta, M., Grover, S. and Singh, S.: A feasibility study for power management in LAN switches, *Proc. IEEE ICNP*, pp.361-371 (2004).
- [13] IEEE P1904.1.
- [14] Gunaratne, C., Christensen, K., Nordman, B. and Suen, S.: Reducing the energy consumption of Ethernet with adaptive link rate (ALR), *IEEE Trans. Comput.*, Vol.57, No.4, pp.448-461 (2008).
- [15] Blanquicet, R. and Christensen, K.: An initial performance evaluation of rapid PHY selection (RPS) for energy efficient Ethernet, *Proc. 32nd IEEE Conf. LCN*, pp.223-225 (2007).
- [16] Zhang, B., Sabhanatarajan, K., Gordon-Ross, A. and George, A.: Real-time performance analysis of adaptive link rate, *Proc. 33rd IEEE Conf. LCN*, pp.282-288 (2008).
- [17] IEEE 802.3az Standard.
- [18] 野村絢子, 西原 晋, 氏川裕隆, 田所将志, 坂本 健, 吉本直人: ONU-HGW 連携による ONU 省電力化に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-8-5 (2011).
- [19] Nomura, H., Nishihara, S., Ujikawa, H., Tadokoro, M., Sakamoto, T. and Yoshimoto, N.: Power-efficiency dependence on transient response speed of optical transceiver with HGW-determined ONU sleep pattern, *Proc. MOC '11*, H-23 (2011).
- [20] 西原 晋, 野村絢子, 氏川裕隆, 田所将志, 坂本 健, 吉本直人: ホームゲートウェイと連携した ONU におけるフレーム一括送信による省電力化に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-8-6 (2011).
- [21] Igawa, E., Nogami, M. and Nakagawa, J.: Symmetric 10G-EPON ONU Burst-Mode Transceiver Employing Dynamic Power Save Control Circuit, *Proc. OFC/NFOEC2011*, NTuD5 (2011).



西原 晋 (正会員)

2001 年慶應義塾大学大学院理工学研究科物質科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。次世代波長/電気多重光アクセスシステム, 10G 級アクセスシステム用光受信 IC の研究開発を経て, 現在は光アクセスシステム省電力化の研究開発に従事。2012 年 5 月より IEEE P802.3bk タスクフォースにおけるチーフエディタ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



野村 紘子

2010 年中央大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。光アクセスシステム省電力化の研究開発に従事。現在に至る。電子情報通信学会会員。



鵜澤 寛之

2008 年東京理科大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。光アクセスネットワーク用 LSI の研究開発に従事。現在, NTT マイクロシステムインテグレーション研究所研究員。電子情報通信学会会員。



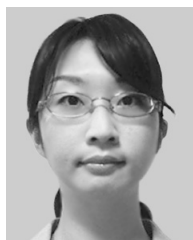
氏川 裕隆

2009 年早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。入社から現在まで 10G 級光アクセスシステムの省電力化の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



有川 勇輝

2010 年早稲田大学大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。通信用 SoC の低消費電力化の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



八田 彩希

2011 年東京工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在, 光アクセスネットワーク用 LSI の研究開発に従事。



田所 将志

2004 年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。GE-PON システムの開発業務等を経て, 現在, スマートグリッドやスマートコミュニティを対象とした FTTH 機能に関する研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



吉本 直人

1988 年北海道大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。工博。同年日本電信電話(株)入社。ブロードバンドネットワーク用光半導体デバイス, 波長多重光通信用モジュールの研究開発を経て, 現在は次世代高速光アクセスシステムの研究開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。