

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560485

研究課題名(和文)光アクセスシステムにおけるパケットモニタを適用した省電力化方式の研究

研究課題名(英文)Optical Access System Power Saving Scheme using Packet Monitoring Functions

研究代表者

大島 一能 (OSHIMA, Kazuyoshi)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：10585061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光アクセスシステムに於いて、パケットモニタを適用して光送受信器の消費電力を効率よく削減する方式を検討した。H24年度にはWebサイトからのパケット受信間隔、H25年度にはVoIPやLINE等のパケット送受信タイミングの分析を行い、これらの結果をベースに、パケット種別やサーバ等との応答シーケンス情報に基づく効率の良い光送受信器スリープ制御方式を提案した。OpenFlowスイッチのパケットフロー識別機能とフロー単位のスイッチ制御機能を活用し、光送受信スリープ機能を模擬した検証実験により本方式の実現性を確認した。消費電力の削減見積評価により、60～70%の削減率実現の見通しを得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was investigated a scheme for efficiently reducing the power consumption of the optical transceiver by applying the packet monitoring function for the optical access system. The analytical experiments on the packet transmission timing for Web-site and for VoIP/LINE services were performed respectively in 2012 and in 2013. Based on such results, it was invented an efficient sleep control scheme for the optical transceiver in PON system. Taking advantage of the packet header detection function and packet flow switching function of OpenFlow switch, it was confirmed the feasibility of the proposed scheme by the experiment that simulates the optical transceiver sleep function. It was also forecasted this scheme will provide 60-70 percent reduction of the power consumption of the optical transceiver.

研究分野：光アクセスシステム方式の研究

キーワード：光アクセスシステム PON方式 省電力化方式 スリープ制御 消費電力削減 光通信システム 光送受信器 パケットモニタ

1. 研究開始当初の背景

光ファイバによるインターネット加入者方式として、局舎とユーザ宅を1対多で経済的に接続するPON (Passive Optical Network)システムが広く普及している。PONシステムは、ユーザ宅内に設置されるONU(Optical Network Unit)を、光ファイバ、光カプラを介して局側装置であるOLT(Optical Line Terminal)に接続する。一本の光ファイバを分岐して多数のONUを収容できるため、経済的に光加入者網を構築できる方式である[1]。このPONシステムを用いて光加入者網を構成した場合、光通信網全体の消費電力の80%が光加入者網で占められ、ONUは全体の60%の電力を消費すると試算されている[2]。今後の地球温暖化対策においても、光通信網の消費電力抑制が課題となっており、中でも全体の60%を占めるONUの低消費電力化は重要な課題である。

ONUの低消費電力化対策として、光送信器のみ電源のオンオフを行うTXスリープ方式と光受信器ともにオンオフを行うTRXスリープ方式があり、実装に必要なパラメータと基本的な要求条件が国際標準(ITU-T)で2009年にまとめられた[3]。

(i) TXスリープ方式は、ユーザからの送信データがある場合にのみ光送信器の電源をオンする事で省電力化を行う。(ii)TRXスリープ方式では、光受信器はいつデータが到着するかが判らないため、間欠的な電源オンオフを行う。光受信器がオフの間はOLTからのデータを受信できないため、OLT側で下りデータをバッファリングする。光送信器とも間欠的にスリープするのでTXスリープ方式より省電力効果は大きいですが、バッファリングによるデータ遅延が課題となる。

TRXスリープ方式ではバッファリングによる遅延のため、音声などのリアルタイム双方向通信には、PONシステムでの遅延時間を50m秒以下とする必要上、数10m秒単位での間欠起動となる。光受信器の起動には一定のセットアップ時間が必要なため、オンオフの間隔が短くなるとスリープ時間の比率が減少し、消費電力削減が十分に実現できなくなる。音声通話を想定した当時のTRXスリープ方式では、標準的な条件で消費電力削減率は30~40%程度と見積られていた。

2. 研究の目的

本研究では、TRXスリープ方式において、ユーザのデータ送受信状況をモニタし、サービス利用状況に応じて光受信器を間欠起動する間隔を変更する事により、光受信器の平均起動間隔を極力長くし、大幅な消費電力削

減率(60~70%を目標)を可能とする方式の提案と検証に取り組む。

ONUでは、通常は複数のユーザインタフェース(UNI)のデータを多重化して光送信器(光TX)と光受信器(光RX)でOLTに接続される。ONUに実装する信号処理回路において、各UNIに接続される端末(パソコンやIPTV、電話など)から送受されるデータパケットをモニタし、パケット種別(メールかWebアクセス、音声、IPTV映像かなど)によって必要となるリアルタイム特性に対応して、光送信器および光受信器のスリープ制御を行う。

パソコンやIPTVの使用時には、通常はこれらの端末からのデータ送信の応答として、ネットワーク側からのデータ受信が行われる。

一方、IP電話や携帯電話の通話を光アクセス回線経由で行う場合、相手方からの通話要求に対しては受信タイミングの予測が難しい。電話接続では、通話が開始される前の段階で、電話呼制御あるいはSIP(Session Initiation Protocol)制御により最初に接続制御パケットが送受され、実際に電話通話が開始されるまでに数100m秒単位の時間がかかる。ONU受信器がスリープ状態にある時に電話接続制御パケットが到達した場合には、OLTでバッファリングする時間を選択的に長く設定する事により、通常のTRXスリープ方式の数10m秒より長い時間(数100m秒以上)のスリープ時間を実現する事ができ、省電力化方式の大幅な改善が可能となる。

3. 研究の方法

本研究では3ヶ年の研究計画を立案し、初年度(24年度)はONUの省電力化方式の基本設計を行い、先ず受信タイミングの予測が難しい電話受信を対象として、スリープ時間の長延化を検討した。また、カルマンフィルタを用いたパケット到着間隔の予測実験を行い、シミュレーションや理論計算などによる性能見積もり評価を併せて実施し、予測効果に基づく大幅な省電力化の目途を得た。

次年度(25年度)以降は、WebサービスやLINE等のSNS対応の通話、SIP処理のタイミング分析ならびにIPTV映像を対象にトラフィックパターンに対応した省電力化方式を調査・検討し、シミュレーションやパケット受信の実験により評価・検証を行った。

最終年度(26年度)には、トラフィックパターンの分析結果を統合して、新しいONU省電力化方式を創案して特許出願すると共に、OpenFlowスイッチのパケットフロー識別機能とフロー単位のスイッチング制御機能を活用し、光送受信スリープ機能を模擬した省電力化方式の評価実験を行い、本方式の実現性を検証した。

4. 研究成果

本研究開始後も国際標準化組織において省電力化方式の研究が鋭意推進され、2013年には国際標準規格 IEEE P1904.1 SIEPON (Service Interoperability in EPON) [4] などにより基本的な省電力化のフレームワークが規定された。

SIEPON準拠のONUでは、通信トラフィックが無い状態で光送受信器などへの電力供給を休止(スリープ)して省電力化が図られる。スリープ中に局側装置OLTに到達した下り受信データは一旦バッファされ、ONUがスリープ解除後に受信するため遅延時間が増加する。このためリアルタイム通信への影響などを考慮して、通常は短時間のスリープと受信可能状態を繰り返す方式 (Cyclic Sleep) が採用されるが、サービス品質への影響を考慮した適切なスリープ時間の設定が課題となる[5]-[6]。最近では音声通信や映像配信、オンラインゲームなどリアルタイムコンテンツを含む通信サービスの多くがWebシステム上に構築され、Webアクセスに対する省電力化特性が重要となっている。

(1) パケットモニタを適用したONUスリープ制御方式

一般的なFTTHユーザでは、Webアクセスや映像配信、オンラインゲームなどユーザ発信によりサーバからの応答を受信するケースが大部分である。Webアクセスでは、TCPの3Wayハンドシェイク後にHTTPパケットのリクエスト/レスポンスがやり取りされ、映像配信やオンラインゲームなどRTP/UDP転送の場合には、開始時の接続制御後に転送が行われてセッション維持中はサーバからのリアルタイムコンテンツ応答が短時間でユーザに転送される。

一方、受信予測が難しい例として音声通話の着信要求があり、SIP (Session Initiation Protocol) 等に代表される接続制御によるセッション確立後に音声通話が行われる。ONUがスリープ中には着信要求のINVITEが端末に受信されず、通常は0.5sec後にINVITEが再送される。INVITEがOLTでバッファされる場合には、スリープ解除後に応答が返されるため、スリープ時間程度の接続遅延が生じる事になる。

このようなWebアクセスや映像配信、SIP着信などの種々の特性に対応するために、ONUにて上り下りの送受信パケットをモニタし、パケットヘッダ情報のスヌーピング機能を活用してパケット種別やシーケンス状態を識別することにより、ONUスリープ時間をきめ細

かく制御でき、省電力化特性を改善することが可能となる。

以下にスリープ制御アルゴリズムの具体例を示す。

複数のレイヤの通信が併存する状態において、第一のレイヤと第二のレイヤの接続状態に対応して、

- (a) VoIPセッションがSIPにより確立している場合にスリープ時間を $Ts1$ とし、
- (b) TCPコネクション接続状態にある場合にはスリープ時間を $Ts2$ とし、
- (c) いずれのレイヤも接続状態にない場合にスリープ時間を $Ts3$ とし、

ここで $Ts1 < Ts2 < Ts3$ とする。

例えば TCP接続時: 50msの周期スリープ、VoIP通話時: 20msの周期スリープ、いずれのレイヤも接続状態にない場合: 500msの周期スリープ、等の設定がパケットモニタ情報に応じて適宜変更可能とする。

このようなパラメータ設定により、リアルタイム性の高いサービスやTCPあるいはHTTPなどサービス種別に適したスリープ時間の設定を行うことができると同時に、長時間通信のない状態での高い省電力効果を得ることができる。

(2) ONUスリープ制御の模擬実験

Webアクセス接続制御に対するONU送受信(TRX)スリープの影響を確認するため、OpenFlow スイッチのパケットヘッダモニタ機能やフローテーブルの書換え機能を活用して、ONU/OLTスリープ機能を模擬的に構成し、パケットの送受信状態をキャプチャした。

図1に実験構成を示す。OpenFlow SWにはHP2920を使用した。図2にWebアクセス時にONUが1sec程度スリープした場合のTCP/HTTPパケットシーケンスの一例を示す。また、OLTのバッファ効果を加えた場合のシーケンス例を図3に示す。

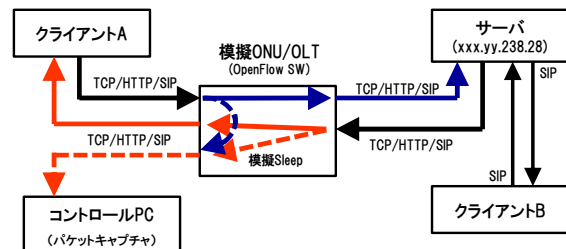


図1. OpenFlow SWを用いた模擬ONUスリープ実験構成

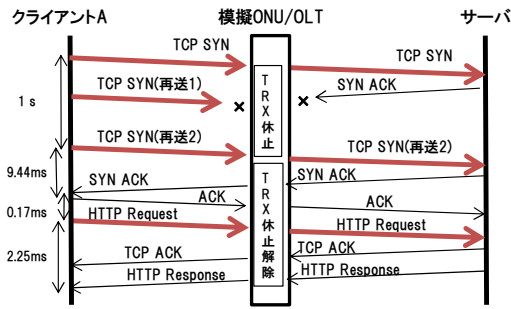


図2. 模擬 ONU TRX 休止/休止解除時のシーケンス例

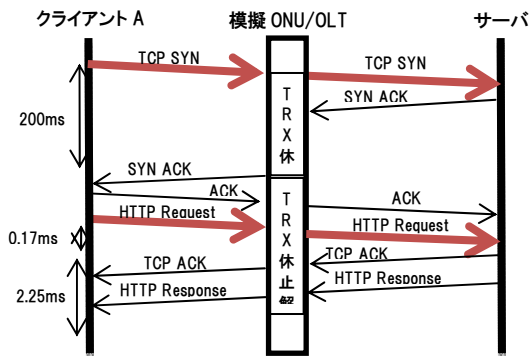


図3. 模擬 ONU TRX 休止/OLT バッファリング時のシーケンス例

(3) ONU消費電力の削減比率

本節では、(1)の省電力化方式によるONU消費電力の削減比率を評価する。

図4に示すONUのアクティブ状態（光受信可能状態）とスリープ状態（省電力状態）の比率で消費電力の削減比率を計算した。消費電力の基本的な削減率 α は、スリープ状態から直ぐにアクティブ状態に復帰するためのスタンバイに必要な最小消費電力とした。

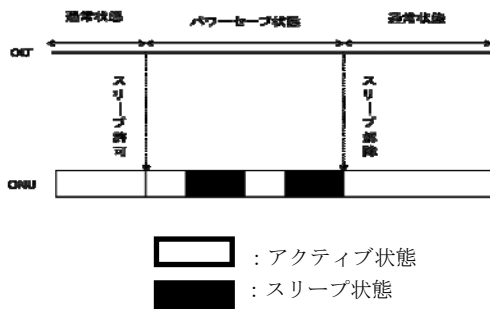


図4. ONUのパワーセーブ状態におけるアクティブ状態とスリープ状態

記号	意味	値
P_t	平均消費電力	
T_a	アクティブ時間	20または40
T_s	スリープ時間	0~1000
α	消費電力の削減率	0.3

$$P_t = \frac{T_a + \alpha T_s}{T_a + T_s}$$

図5. ONU消費電力の削減比率を求める計算式

図5にONU消費電力の削減比率を求める計算式とその記号の意味を示す。

具体的な例として、アクティブ時間を40msecと20msecに設定した場合のスリープ時間（横軸）に対する平均消費電力削減比率（縦軸：通常時を1とする）のグラフを図6に示す。

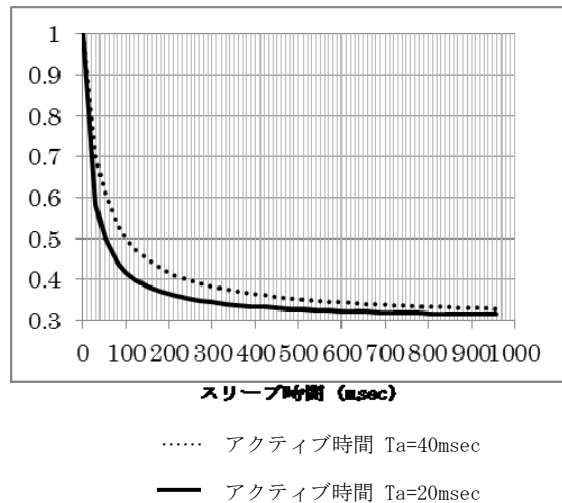


図6. スリープ時間と平均消費電力の関係
(縦軸は平均消費電力削減比率)

図6より、実装可能な最小のアクティブ時間を20msecとすると、300msec程度のスリープ時間を設定することにより、ほぼ基本削減率の $\alpha=0.3$ に近い省電力化が可能であり、本方式の高い省電力特性が確認できる。

(4) まとめ

PONシステムでは、通常はレイヤ2処理によりスリープ時間の設定・制御が行われるが、本研究では、レイヤ3以上のパケットヘッダ

情報のモニタ機能を適用したONU省電力化方式により高い省電力特性の実現が可能であることを検証した。

今後は、OpenFlowスイッチを活用した模擬実験により更に有効なスリープ制御アルゴリズムを検討するとともに、ユーザのサービス接続状況データなどを有効に活用する新しいスリープ制御方式の可能性を研究する予定である。

<引用文献>

- [1]M.Nakamura et al & K. Oshima:IEEE JLT-32, no.11, p.2631 (2004)
- [2]葉玉寿弥:2011年電子情報通信学会・技報 CS2011-19 (2011-7)
- [3]ITU-T G. Supp 45, White Paper (2009-3)
- [4]IEEE P1904.1/D3.3, "SIEPON (Service Interoperability in EPON)", March 2013
- [5]氏川裕隆ほか, 2011年電子情報通信学会・総合大会, B-8-47 (2011-3)、
- [6]田野文彦ほか, 2011年電子情報通信学会・技報, CS2011-12 (2011-6)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 1件)

- [1]寺田雄貴ほか、大島一能:2015年電子情報通信学会・総合大会, B-8-49 (2015-3)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1件)

名称:子局装置

発明者:大島一能

権利者:学校法人常翔学園

種類:特許

番号:特願 2015-015183

出願年月日:平成 27 年 1 月 29 日

国内外の別:国内

○取得状況 (計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]
ホームページ等

- [1]大阪工業大学 Web ページ・トピックス:「関西 9 私大新技術説明会において研究発表を行いました」、
<http://www.oit.ac.jp/japanese/topics/index.php?i=3084>

- [2]大島一能:“光通信システムにおける ONU 消費電力の削減方法”, 関西 9 私大新技術説明会・No.5 (2015-2-27) 於・JST 東京本部

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大島 一能 (OSHIMA Kazuyoshi)
大阪工業大学・情報科学部・教授
研究者番号: 1 0 5 8 5 0 6 1

(2) 研究分担者

なし ()
研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ()
研究者番号: