

連続送信型フレームを用いたアクティブ光アクセスネットワークのレンジング方式

徳橋 和将^{†a)}(学生員) 芦沢 國正[†](学生員)
石井 大介[†](正員) 荒川 豊^{†*}(正員)
岡本 聡[†](正員:フェロー) 山中 直明[†](正員:フェロー)

Dynamic Packet (Frame) Based Ranging Method for Active Optical Access Network

Kazumasa TOKUHASHI^{†a)},

Kunitaka ASHIZAWA[†], *Student Members*, Daisuke ISHII[†],

Yutaka ARAKAWA^{†*}, *Members*, Satoru OKAMOTO[†], and

Naoaki YAMANAKA[†], *Fellows*

[†] 慶應義塾大学理工学部情報工学科, 横浜市

Department of Information and Computer Science, Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, 223-8522 Japan

* 現在, 九州大学システム情報科学研究所

a) E-mail: tokuhashi@yamanaka.ics.keio.ac.jp

あらまし 光スイッチを用いた次世代光アクセス網において, 複数の距離の違う OLT と ONU 間で回線確立を行うレンジング処理について, 連続送信型フレームを用い, 更に位相を変化させる高精度レンジング手法を提案した. また連続送信型レンジングの実験に成功した.

キーワード 光アクセス網, GE-PON, IEEE 802.3av

1. ま え が き

光アクセス網として PON (Passive Optical Network) が広く普及しているが, スプリッタは原理的に光の減衰が大きく, 分岐数を増したり, 長距離伝送には向かない. その対策として光アンプを用いた PON システムも検討されているが, 分岐数の増加に伴い光の増幅が必要になる.

一方, 原理的に分岐による光の減衰のない光スイッチを用いたアクセス網に関する研究も検討されており [1], [2], SOA, PLZT 光スイッチ等の高速光スイッチの研究開発も進んでいる [3] ~ [5]. 光スイッチを用いたアクティブ光アクセス網では従来の PON と同様に, OLT (Optical Line Terminal) を頂点として ONU (Optical Network Unit) を接続するトリーを形成している.

文献 [2] では, 光スイッチ部において受信するトラヒックを光カブラにより 2 分割し, 一方を遅延光ファイバに入れ, もう一方を電気処理によるフレームのヘッダ解析を行いフレームごとにあて先を決定する手法が提案されている. 本方式はいわば光スイッチ部に到着

したフレームに対してオンザフライ処理する方式で, 光アクセス網として理想的な形態である. この手法はフレームごとのスイッチングが可能のため, フレキシブルな帯域制御や高効率の分配方式という点で大きな利点がある一方で, 10 G 以上の高速なアクセス系を構築した際に, スイッチ部で高性能な電気処理部が要求され, 実装コストが増加する可能性がある. またフレームごとのスイッチングを行う手法として, 外部制御により, メッセージの到着とスイッチングタイミングを同期させる手法も考えられるが, シンプルな構造, 低コストが求められるアクセス網においては課題があると考えられる. 以上のような光スイッチを用いたアクセス網においては, 光スプリッタによる Broadcast 転送が利用できない. そのため, MPCP (Multi-Point Control Protocol) にて定義される PON 方式用の双方向回線確立のためのディスカバリレンジング処理 [6] を実行するためには *Discovery Window* を各 ONU に対して順次開くなどの工夫が必要になる.

一方, 我々が提案するアクティブ光アクセス網では, 光スイッチの構造を単純化するため, フレームごとのスイッチングではなく, 固定時間長のスロット単位での伝送方式を検討している. またトランスペアレントな伝送を実現するため, 光スイッチは自走し, スロット単位で方路を切り換える方式を採用する. そのため, OLT は各 ONU との距離を測定するとともに, 光スイッチと同期し, スロットの境目を精確に知る必要がある. 通常のレンジング手法 [6] ではスロットの境目を考慮しておらず, 光スイッチとの精確な同期を図ることが難しいといえる.

以上より, 光スイッチを介して回線を確立するための 10 G 以上のネットワークを視野に入れた拡張性の高いレンジング処理が必要になると考えられる. そこで本研究では, 光スイッチを定期的にある方路に切り換えるコミュニケーションチャンネルの形成と, ONU からの Register Request メッセージの連続送信によるコミュニケーションチャンネルの発見に基づいたレンジング手法を適用し [7] ~ [9], 更に位相を変化させ精度の高いレンジングをねらう高精度レンジング手法を提案する. またフレームを連続送信するタイプのレンジング手法について実装を行った.

2. アクティブ光アクセスネットワークにおけるレンジング手法

我々は時分割による固定長スロットを用いた伝送方式を検討している. そして, コミュニケーションチャ

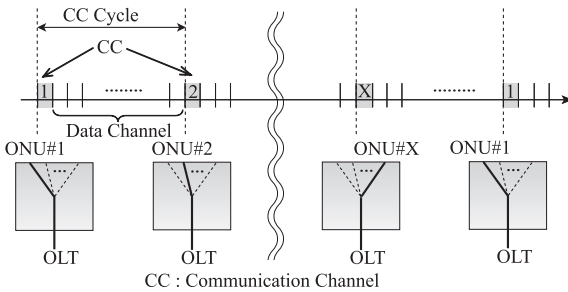


図 1 周期的なコミュニケーションチャンネル
Fig. 1 Periodical communication channels.

ネルとは、光スイッチが必ず所定の方路に切り換わる時間のことであり、図 1 に示すように時間軸上に周期的に配置し、各 ONU に順番に切り換わるようにする。提案システムでは、下り (OLT⇒ONU) に関しては、光スイッチをキャリアの管轄施設内に設置することを想定しており衝突なくメッセージを送信できると仮定する。一方、上り (ONU⇒OLT) に関しては、各 ONU と OLT 間の距離が異なるため、メッセージを通過させることが非常に困難となる。そのために ONU から Register Request メッセージを連続送信することでコミュニケーションチャンネルを通過し、レンジングを成功させる手法を適用する [7] ~ [9]。光スイッチを通過したメッセージの Timestamp から、OLT-ONU 間の距離を測定、またコミュニケーションチャンネルの位置を把握し、光スイッチと同期することが可能である。

2.1 連続送信型フレームを用いたレンジング手法

図 2 にレンジングの流れを示す。Discovery Gate メッセージを受け取った ONU は、Register Request メッセージの連続送信を開始する。光スイッチ部において、光スイッチが ONU#X 以外の方路を向いている場合は廃棄され、ONU#X の上りコミュニケーションチャンネルの区間であれば通過して OLT に届けられる。Register Request メッセージを受け取った OLT は、メッセージ内の Timestamp から、ONU#X の上りコミュニケーションチャンネルの位置を計算し、次の GATE メッセージを用いて ONU に送信タイミングを指示する。GATE メッセージを受け取った ONU は、指示どおりのタイミングで Register Ack メッセージを返信する。

以上のプロセスは、フレームサイズ分の誤差が発生するため、PON と同等の $1TQ$ ($TimeQuantum$) での更に高精度なレンジングを行う必要がある。フレーム

サイズを短くし、連続送信を行うことでコミュニケーションチャンネルの位置を更に正確に定めることが可能になるが、次節に示す高精度レンジング手法を用いることでも、自走する光スイッチと正確な同期を図ることが可能である。

2.2 高精度レンジング手法

アクティブ光アクセス網では原理的に分岐による光の減衰がない光スイッチを用いるため、PON よりも多くの ONU を収容することが期待される。そして OLT では各 ONU へ TCP タイムアウト等を考慮して帯域割当を行うため、PON よりも単位時間当りのデータの切換数が増加する。よって、切換数の増加に応じて通信帯域全体に占める切換オーバーヘッドの割合が増加することが想定される。また広帯域化が進むにつれ、短時間に送信可能なデータ量は増加する。したがって、我々が提案するアクティブ光アクセス網でも PON と同等または更に高精度のレンジングでデータの損失を抑えることが重要となる。前節の手法ではフレームサイズのオーダでのレンジングしかできないため、高精度レンジング手法を提案し、PON と同等の精度でのレンジングをねらう。

そこで、Register Request メッセージの連続送信開始のタイミングを $1TQ$ ($16nsec$) 単位でずらし、複数回繰返しレンジングを行うことでコミュニケーションチャンネルの位置を更に高精度に把握することが可能な手法を提案する。図 3 にこの高精度レンジングの流れを示す。OLT は Discovery Gate メッセージを送信ごとに T_1 , $T_1 + \Delta 1 (= 1TQ)$, $T_1 + \Delta 2 (= 2TQ)$, $T_1 + \Delta 3 (= 3TQ)$, \dots と Register Request メッセージの送信開始タイミングをずらすように、ONU へ指示を行う。そして複数回レンジングを繰り返し、OLT が受信する Register Request メッセージの番号が変化したときに最も正確に同期することが可能である。以上のプロセスにより、PON と同程度の高精度なレンジングが可能となる。また、 $1TQ$ ($16ns$) 以下の時間で Δ 値を調整するシステムを構成できれば、上記プロセスを用いて、数 ns のオーダでの更に正確な同期を実現することが可能である。

そして Register Request メッセージの連続送信間隔は通信帯域に依存しないため、10 G 以上の高速なアクセス系においても同等の精度でのレンジングが可能である。したがって本提案は今後のネットワークの広帯域化にも対応できる拡張性の高い方式であるといえる。

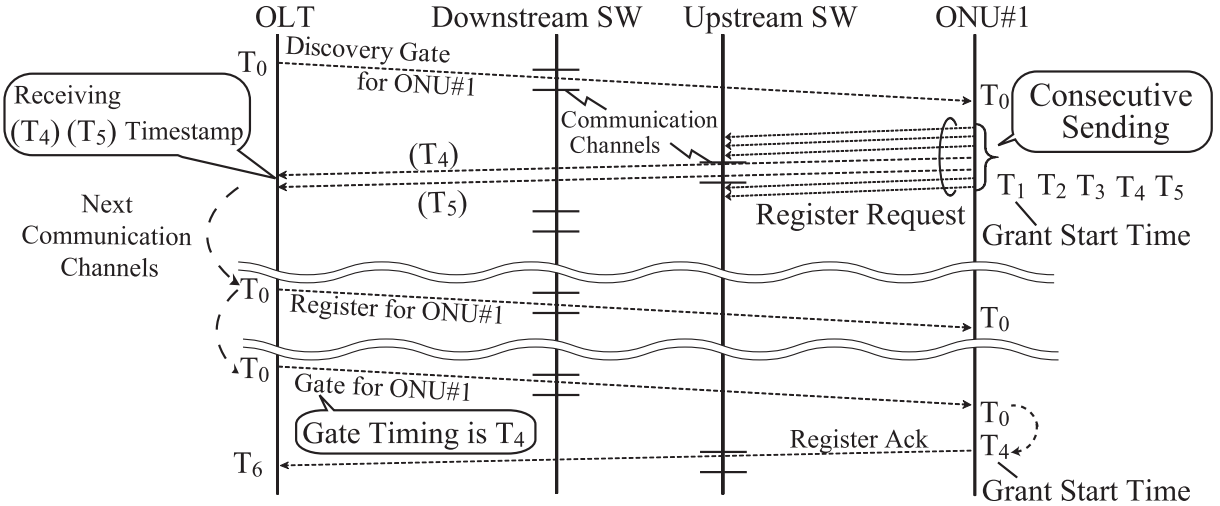


図 2 連続送信型フレームを用いたレンジング手法
 Fig. 2 Dynamic packet (frame) based ranging method.

2.3 レンジング時間についての考察

MPCP における PON のレンジング手法 [6] 及び提案手法である高精度レンジング手法についてレンジング時間の比較を行う。光アクセス網では不定期に接続される ONU に対応するため、ディスカバリレンジング周期ごとに定期的にレンジング処理を行う。そのため接続に要するまでのレンジング時間は、(1) レンジング処理が開始されるまでの待ち時間、及び (2) レンジング処理の実行時間を合わせた値となる。

PON において *Discovery Window* を開く期間をプロセス開始から Register Request メッセージを受信するまでとすると、ウィンドウには [システムが提供する距離の最大 RTT] 及び衝突回避のために設定される [距離分散のためのランダム遅延 d の最大値] に相当する $RTT_{max} + d_{max}$ が必要になる (ファイバ中の光速を 2.0×10^8 m/s とした場合の RTT は 20 km: 200 μ s, 40 km: 400 μ s)。

一方、高精度レンジング手法では、フレームが光スイッチを通過さえできればよいため、レンジングに必要なコミュニケーションチャネルのサイズを最小限に抑えることが可能である。1TQ (16 ns) の揺らぎを考慮すると、通常のレンジングで 2 フレーム長+1TQ、高精度レンジング手法を用いる場合には 1 フレーム長+1TQ のコミュニケーションチャネルを設定すればよい。実際には、64 Byte のフレームサイズで、8 Byte のプリアンブル及び 12 Byte の Inter

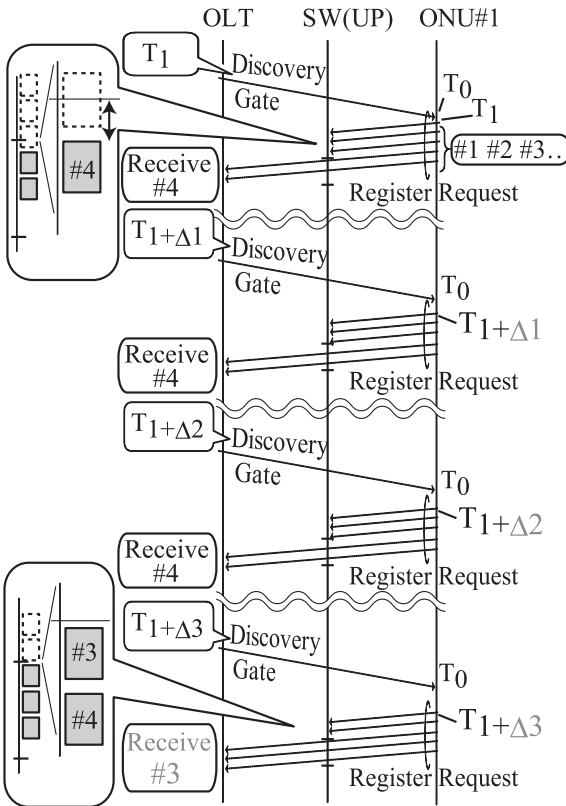


図 3 高精度レンジング手法
 Fig. 3 Precise ranging method.

表 1 最大レンジング時間の比較
Table 1 Comparison of ranging times.

	1 G 32 分岐 20 km (GE-PON)	10 G 128 分岐 40 km (Our target)
PON 手法	300.5 ms	500.9 ms
提案手法	990.9 ms	74.9 ms

Frame Gap (IFG) を考慮した場合の連続送信間隔は 1 G 環境下では 672 ns, 10 G 環境下では 67.2 ns となり, この値に $1TQ$ (16 ns) の揺らぎを含めた 688 ns 及び 83.2 ns をコミュニケーションチャンネルのサイズとする. また高精度レンジングの繰返し数 α は, $1TQ$ 単位で調整した場合, 1 G 環境下で最大 42 回, 10 G 環境下では最大 4 回となる. 本提案では周期的に割り当てられるコミュニケーションチャンネルのタイミングでメッセージを送信するため, レンジング時間 T は計算式 (1) のように示される.

$$\begin{aligned}
 T = & \text{Waiting_time} \\
 & + CC_Cycle \times ONU\text{num} \times (\alpha + 2) \\
 & + RTT\text{max}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

表 1 に最大レンジング時間の比較を示す. 公平を期するために実効帯域率 99.9% 時 (レンジング処理のために 0.1%) の最大レンジング時間を比較した. 提案した高精度レンジング手法の最大の待ち時間はコミュニケーションチャンネルが割り当てられる間隔であるため, $CC_Cycle \times ONU\text{num}$ である. また PON 手法の最大待ち時間はレンジング周期であり, プロセス実行時間は $Discovery\ Window + RTT\text{max}$ で計算した. その際に $d\text{max} = 100\ \mu\text{s}$ とし, 衝突は発生せず 1 回のレンジングで完了するものとした. また実効帯域率のうちにガードタイムの値も含めるものとした.

表 1 から GE-PON に相当するシステムでは PON 手法が優れているが, 我々がねらう長距離及び多分岐化を達成する 10 G ネットワークにおいては提案手法のレンジング時間が短縮され, 優れていることが分かる. 通信距離とユーザ数が増加した場合でも, 提案手法では通信速度の増加に伴いコミュニケーションチャンネルの時間が短縮され, また 1 フレームの伝送時間も短縮される. そのため繰返し数 α が減少し, レンジング時間が短くなる. したがって, 本手法は光スイッチを用いたアクティブ光アクセス網において有効的であるといえる.

3. 実験

1 G のネットワーク環境で, OLT と 3 台の ONU 間

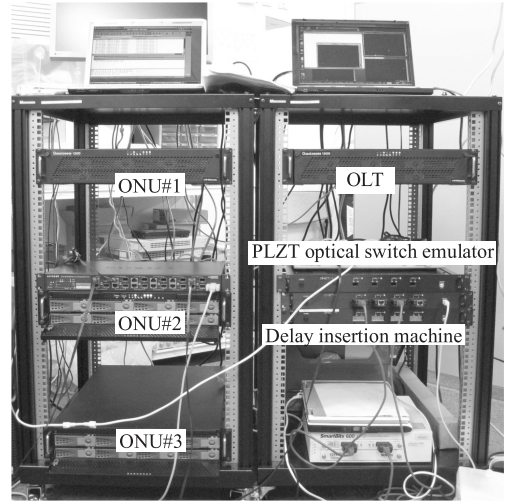


図 4 実験環境
Fig. 4 Experimental environment.

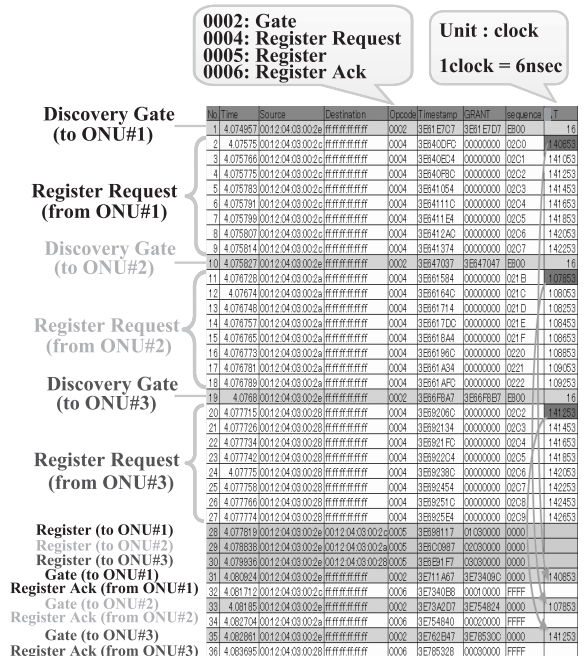


図 5 フレーム連続送信型レンジング手法の実験成功結果
Fig. 5 Successful experimental result about the dynamic packet based ranging method.

でレンジングプロセスの実験を行った. 図 4 に実装システムを示す. 2. で述べたレンジング手法を組み込んだ OLT 及び ONU のプロトタイプ, そして現在開発中の光スイッチシステムの動作をエミュレートした光スイッチエミュレータを開発した. そしてレンジング

には MPCP フレームを用い、遅延挿入装置により各 ONU に 0~40km の間で遅延を設定し、フレーム連続送信型のレンジング手法の動作実験を行った。

図 5 に動作実験結果の各メッセージのキャプチャデータを示す。連射間隔は 1200 ns とし、コミュニケーションチャンネルサイズは 10 μ s とした場合の実験結果である。OLT-光スイッチエミュレータ間でメッセージをキャプチャした。図 5 に示すように、各メッセージを受信し、異なる距離に位置する ONU に対してフレームを連続送信するレンジング手法の応答動作が可能であることを確認した。

そして 10 G 化した際にも、本レンジング手法は帯域に依存せずにレンジングプロセスを変更することなく対応できる。したがって、10 G のネットワーク環境においても、1 G の場合と同等のレンジングが可能であることがいえる。今後は 10 Gb/s システムの開発を目指す。

4. む す び

光スイッチを用いた次世代光アクセス網において、光スイッチを介して回線制御を行うために、コミュニケーションチャンネルを設置し、連続送信型フレームを用いたレンジング手法を適用した。更に精度の高いレンジングを行うために、位相を変化させ繰り返しレンジングを実行する高精度レンジング手法を提案した。また、プロトタイプ of OLT 及び ONU を開発し、レンジングプロセスの実験に成功した。今後、国際標準化への反映と光スイッチを用いた 10 Gb/s システムの

開発を行う。

謝辞 本発表内容は、総務省が進めるフォトニックネットワークに関する研究の一環である（独）情報通信研究機構の委託研究「集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発」の成果である。

文 献

- [1] G. Weichenberg, V.W.S. Chan, and M. Médard, "Access network design for optical flow switching," IEEE GLOBECOM 2007, pp.2390–2395, Washington DC, USA, Nov. 2007.
- [2] T. Nomura, H. Ueda, C. Itoh, H. Kurokawa, T. Tsuboi, and H. Kasai, "Design of optical switching module for gigabit Ethernet optical switched access network," IEICE Trans. Commun., vol.E89-B, no.11, pp.3021–3031, Nov. 2006.
- [3] <http://epiphotonics.com/>
- [4] K. Nashimoto, "PLZT waveguide devices for high speed switching and filtering," OFC/NFOEC 2008, OThE4, San Diego, USA, April 2008.
- [5] <http://www.fionix.com/>
- [6] <http://www.ieee802.org/3/av/>
- [7] 徳橋和将, 菊田 洸, 石井大介, 荒川 豊, 岡本 聡, 山中直明, "アクティブ光スイッチを用いた光アクセス網の一検討," 信学技報, PN2008-22, Aug. 2008.
- [8] 上田裕巳, 坪井利憲, 河西宏之, "光バケットスイッチを適用したアクセスネットワークにおける効率的なディスクバリ方法の提案," 信学技報, CS2009-12, April 2009.
- [9] H. Ueda, T. Tsuboi, and H. Kasai, "Discovery method for Ethernet optical switched access network," IEICE Trans. Commun., vol.E93-B, no.2, pp.263–271, Feb. 2010.

(平成 22 年 1 月 12 日受付, 2 月 27 日再受付)