

技術基礎講座

【GE-PON技術】

第1回 PONとは
第2回 IEEE802.3ah標準規格

第3回 DBA機能

第4回 GE-PONのシステム化機能
第5回 今後の標準化

GE-PONにおける重要な機能の1つであるDBA機能について解説します。DBA機能を使用する目的と、DBA機能を実現するための仕組みについて説明し、NTTアクセスサービスシステム研究所が独自に開発したDBAアルゴリズムを紹介します。

DBAとは

前号で、GE-PONの基本となるIEEE802.3ah標準について解説しました。IEEE802.3ahで規定されているのは、OLT-ONU間のインタフェースと、基本的な動作だけです。GE-PONをシステムとして動作させるためには、IEEE802.3ahで規定される機能以外にいくつかの機能が必要となります。その1つがDBAです。DBA (Dynamic Bandwidth Allocation: 動的帯域割当) は、ONUからOLTへの上り帯域を、トラフィック量に応じて動的に割り当てる機能です。

DBA機能の必要性

GE-PONでは1 Gbit/sの上り帯域を、最大32台のONUで分け合います。このとき、もっとも簡単に分け合う方法は、各ONUに一定量の送信許可を繰り返し与える、という方法です。例えば、ONU#1に5 kBを割当、次にONU#2にも5 kB、ONU#3にも5 kB、...という方法です。このように固定的にONUに帯域を割り当てる方法をFBA (Fixed Bandwidth Allocation: 固定帯域割当) と呼びます。しかし、FBAの場合、上りトラフィックが流れていないONUにも帯域が割り当てられるため、その分は未使用帯域となり、無駄になってしまいます。FBAによる割当帯域の例を図1に示します。図の横軸は時間、縦軸は帯域を表し、色が付いている領域は実際に割り当てられた帯域にONUが上りデータを送信していることを表しています。この例では、OLTに4台のONUがつながっているものとしているため、それぞれのONUに常に全帯域の4分の1が割り当てられています。最初、3台のONU (#1, #2, #3) だけに上りトラフィックが流れ

ているものとします。このとき、トラフィックが流れていないONU#4にも上り帯域が割り当てられているため、その分は未使用帯域となります。その後、ONU#3は通信が終了し上りトラフィックが流れなくなったとします。そうすると、さらにONU#3に割り当てられている帯域も無駄になってしまいます。この例のように、FBAでは未使用帯域が多く発生し、帯域の利用効率が非常に低いことが分かります。また1台のONUに割り当てられる帯域はONU台数分の1しかありません。32台のONUがOLTにつながっている場合、1台のONUに割り当てられる帯域は最大でも30 Mbit/s程度しかないこととなります。

そこでこの無駄をなくすため、GE-PONシステムではOLTにDBA機能を搭載することが可能となっています。DBA機能は、各ONUの上りトラフィックに応じて柔軟に帯域を割り当てます。DBA機能による割当帯域の例を図2に示します。この例では、図1と同様に4台のONUがつながれており、時間が経つにつれて、上りトラフィックが流れているONUの台数が変化するものとします。このとき、

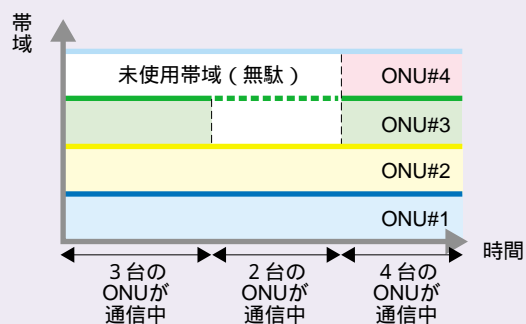


図1 FBAのイメージ

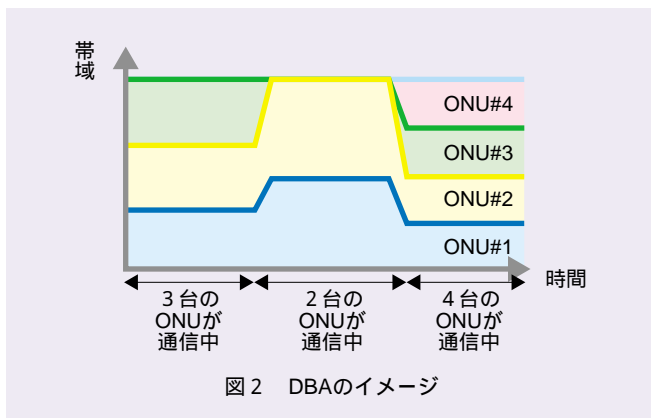


図2 DBAのイメージ

図1の例とは異なり、DBA機能により上りトラフィックが流れているONUだけに上り帯域が割り当てられます。その結果、図に示すように、無駄なく帯域を使用することができます。

このように、DBA機能により、各ONUに流れる上りトラフィックの状況に応じて適切に割り当てる帯域を切り替えることで未使用帯域を発生させることなく、効率的に上り帯域を使用できます。

GE-PONにおけるDBA

DBAの仕組み

前号の解説で、GE-PONではMPCP (Multi Point Control Protocol) というプロトコルを使用して上り信号制御を実現することを述べました。OLTはGATEフレームにより、それぞれのONUが時間的に衝突することなく送信できるように送信開始時刻、送信量を指示します。一方、ONUはREPORTフレームによりONUのバッファに蓄積されている送信待ちのデータ量をOLTに伝えます。

このGATEフレームとREPORTフレームとを用いてDBA機能を実現する手順を説明します(図3)。

ONUは上りデータを受信すると、ひとまずバッファに上りデータを蓄積します。

ONUは蓄積している上りデータの量をREPORTフレームに記し、そのREPORTフレームをOLTに送信します。OLTは受信したREPORTフレームから、ONUに蓄積されている上りデータの量を把握します。

OLTは、ONUの蓄積データ量と他のONUの使用帯域から、このONUに割り当てるべき上り帯域を計算します。具体的には、ONUの上り送信開始時刻と送信量とを算出します。

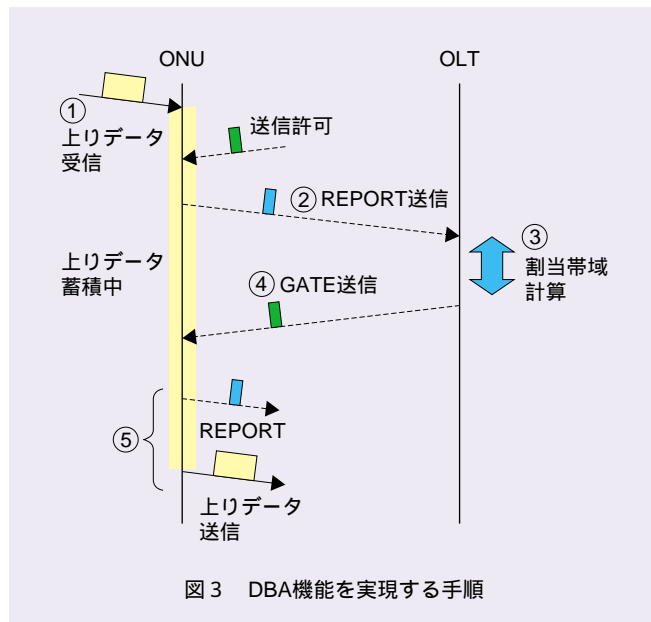


図3 DBA機能を実現する手順

OLTは算出した値をGATEフレームに記し、ONUに送信します。

ONUは受信したGATEフレームの指示に従い、指定された時刻に上りデータを送信します。このとき、次回の帯域割当のために、再度バッファに蓄積している上りデータの量を通知することもあります。

この～の手順を繰り返すことで、OLTは各ONUにおける上りトラフィックの状況を知ることができ、適切に帯域を割り当てることができます。

DBAアルゴリズム

各ONUへの割当帯域の計算方法(図3の)をDBAアルゴリズムと呼んでいます。DBA機能を実現するための手順～、～はIEEE802.3ahでMPCPとして標準化されていますが、手順のDBAアルゴリズムは標準化の範囲外とされています。

DBA機能はGE-PONシステムの性能を大きく左右することから、DBAアルゴリズムはGE-PONシステムの差異化要素の1つです。

NTTアクセスサービスシステム研究所では早くからこの点に着目し、高性能なGE-PONシステムを実現するためのDBAアルゴリズムを開発してきました。

NTT開発のDBAアルゴリズム

DBAアルゴリズムの仕組み

今回NTTアクセスサービスシステム研究所が開発したDBAアルゴリズムを紹介します。開発したDBAアルゴリズムは、イーサネットの可変長フレームを効率的に詰め

込めるように工夫しています。

具体的には、まず図4に示すように、ONUの上りバッファ全体の蓄積量を蓄積データ量#1とし、あらかじめ設定されたしきい値以下でしきい値にもっとも近いデータフレームの境目までを蓄積データ量#2とします。ONUには、この両方の値を記したREPORTフレームを送信させ、OLTは、この2つの値のいずれか一方を割当帯域として選択します^{(1)・(2)}。これにより、ONUが蓄積しているフレームの境目と割当帯域とが一致し、ほとんど無駄を生ずることなく帯域を割り当てることができます。

さらに、図5に示すように、通信中のONUの台数が多い場合には、蓄積データ量#1を割当帯域として選択するONUを少なくし、蓄積データ量#2を選択するONUを多くするようにします。これにより、サブミリ秒程度の短い周期で割当帯域を切替えながらも、多くのONUに無駄なく帯域を割り当てることができ、上りデータの送信待ち時間を短くすることができます。

この2つの蓄積データ量は図6に示すように、

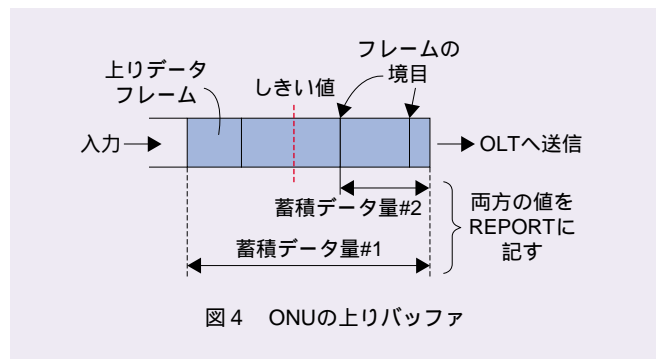


図4 ONUの上りバッファ

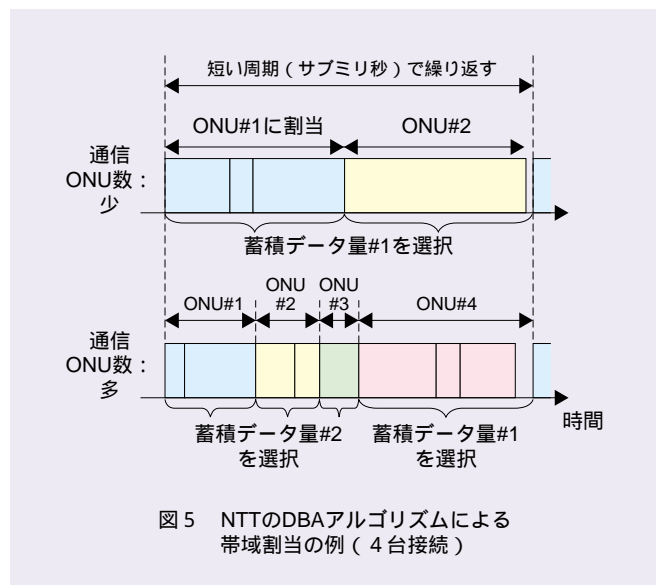


図5 NTTのDBAアルゴリズムによる帯域割当の例（4台接続）

REPORTフレーム中の1st Queue Set, 2nd Queue Setフィールドにそれぞれ格納します。

このようにして、NTTのDBAアルゴリズムは、低遅延（上りデータがONUに到着してから、実際にOLTに送信されるまでの待ち時間が短い）と高効率（全上り帯域のうち、上りトラヒックの伝送に使用される割合が高い）の両立を実現しています。

DBAアルゴリズムの特徴

NTTのDBAアルゴリズムは、前述の2つの蓄積データ量のうち、どちらを割当帯域として選択するか工夫することで、以下の2つの制御を可能としています。

(1) 帯域制御

ONUごとに割り当てる帯域を細かく制御することができます。この機能は、割当帯域として蓄積データ量#1を選択する頻度を調整することで実現しています。

この機能により、ONUごとの最低保証帯域、最大帯域を設定することが可能です。最低保証帯域とは、他のONUに流れているトラヒック量によらず、割り当てられることが保証される帯域です。最大帯域は、そのONUが使用できる最大の帯域です。この機能を利用することで、サービスのメニュー化を実現することができます。

ある1台のONUへの割当帯域の推移の例を図7に示します。上り帯域が空いている場合、このONUには設定されている最大帯域分が割り当てられます。上り帯域が極

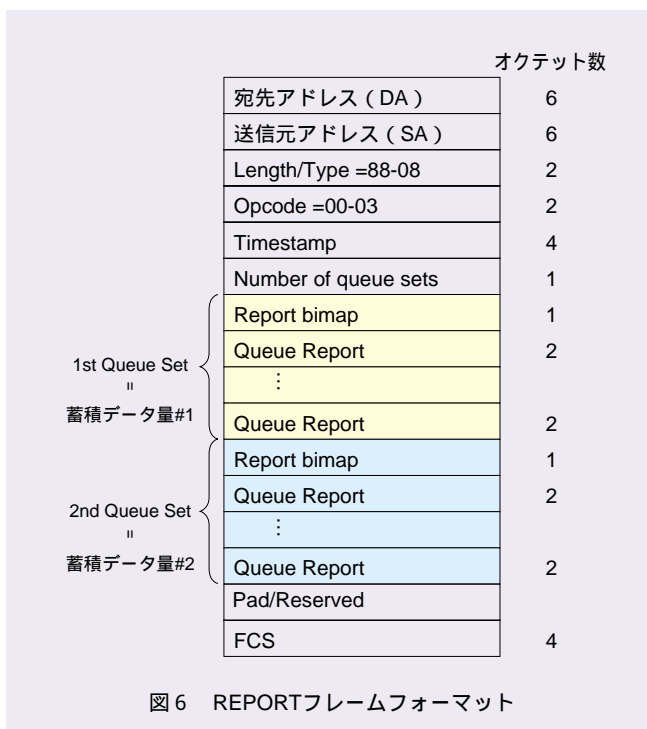
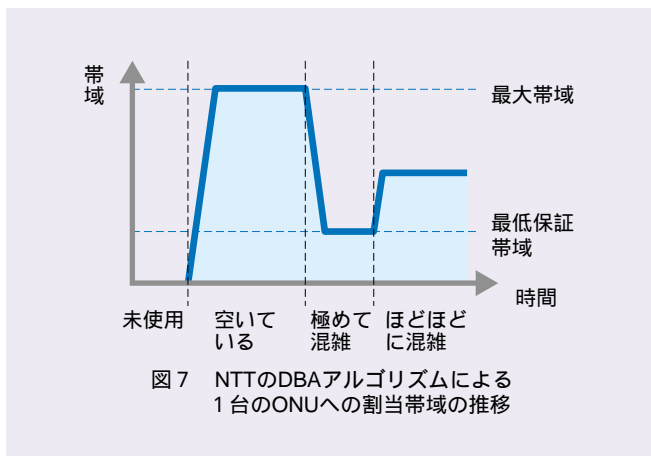


図6 REPORTフレームフォーマット



めて混雑した場合、このONUに割り当てられる帯域は最低保証帯域分に限られます。ほどほどに混雑している場合は、混雑具合に応じて、最大帯域と最低保証帯域の間程度の帯域が割り当てられます。

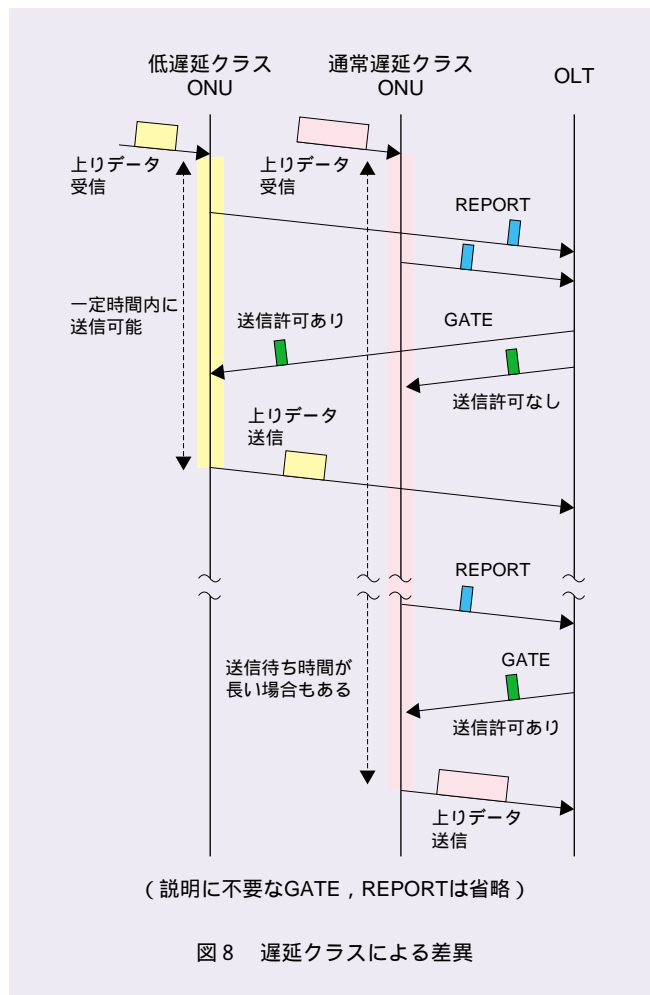
(2) 遅延制御

GE-PONでは、上りデータがONUに到着してから、実際にOLTに送信されるまでの待ち時間が必ず発生します。この待ち時間が上りトラヒックに加わる遅延時間となり、アプリケーションによっては大きな影響を受けます。

NTTのDBAアルゴリズムでは、遅延時間への要求に応じて低遅延クラスと通常遅延クラスの2つのクラスを設定することができます。低遅延クラスとして設定されたONUの上りトラヒックに加わる遅延時間は、図8に示すように、ある一定の範囲内に収まることが保証されます。この機能は、低遅延クラスに少なくとも蓄積データ量#2以上の帯域を毎回割り当てることで実現しています。このクラスはIP電話やTV電話など、遅延時間に厳しいサービスに適用できます。またTCP (Transmission Control Protocol) のACK (応答確認) 信号を遅滞なく送信できるため、高いTCPスループットを達成できます。一方、通常遅延クラスとして設定されたONUの上りトラヒックに加わる遅延時間は、上り帯域が混雑している場合には、送信までの待ち時間が長くなる場合もあります。

まとめ

DBA機能は、上り帯域をトラヒックに応じて柔軟に割り当てる機能であり、GE-PONシステムの性能を大きく左右する要素の1つです。DBA機能を実現する仕組みはIEEE802.3ahで標準化されていますが、具体的なDBAアルゴリズムは標準化の範囲外となっています。ここでは、NTTアクセスサービスシステム研究所で開発した高



い性能を実現できる独自のDBAアルゴリズムを紹介しました。

参考文献

- (1) O. Yoshihara, Y. Fujimoto, N. Oota, and N. Miki : " High Performance EPON , " IEEE 802.3ah EFM, Austin, TX, Nov. 2001 .
http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/nov01/yoshihara_1_1101.pdf
- (2) 吉原・太田・三鬼 : " 高効率・低遅延を実現するGE-PON グラント/リクエスト方式 , " 2002信学総大, B-8-44, 2002 .

問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
 TEL 043-211-3298
 FAX 043-211-8883
 E-mail oota@ansl.ntt.co.jp

このコーナーで取り上げて欲しいテーマをE-mailで編集部までお寄せください。
 (社)電気通信協会内 NTT技術誌事務局 E-mail jrr@tta.or.jp