



GE-PON システムのファームウェア技術

Firmware Technology of GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) System

合中 直樹*¹
Ainaka Naoki

伊藤 哲次*¹
Itou Tetsuji

片山 元*¹
Katayama Hajime

橋 亮介*¹
Tachibana Ryousuke

佐々木 優*¹
Sasaki Yu

あらまし

日本国内における FTTH (Fiber To The Home) の利用回線数は、急速に増加している。インターネットでの情報入手、情報交換の内容も、広帯域と安定性を必要とする情報の移動が当然のこととなっている。さらに、VoIP (Voice over IP) やインターネットラジオ、テレビというようなストリーム技術も一般利用が普及しつつある。

このような背景の中で、FTTH サービス料金の低下はもちろん、高速性、安定性、および品質があらためて評価されているものと考えられる。

当社では、次世代のブロードバンドサービス、将来のインフラとして期待される GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) システムを開発した。本稿では、当社 GE-PON システムの特長についてファームウェアの機能を中心に紹介する。

Abstract

In Japan, Internet users' needs have caused the number of FTTH (Fiber To The Home) lines to increase rapidly. Today, it is only natural that broadband and stability are required to access and exchange information through the Internet. The majority of users tend to use VoIP (Voice over IP) or streaming technology such as Internet radio, and TV.

Against this background, it is assumed that high-speed performance, stability, and quality are being re-evaluated as well as the reduction of FTTH courtesy rates.

We have developed the GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network), which is expected to become a next-generation broadband service and part of future infrastructure. This paper focuses on the firmware functions of the features of our GE-PON system.

* 1 IPアクセスシステム事業部 第一ソフトウェア開発部

1. ま え が き

日本国内におけるFTTH (Fiber To The Home) の利用回線数は、急速に増加している。インターネットでの情報入手、情報交換の内容も、大量のファイルを添付したメールや、さまざまなメディアの転送など、広帯域と安定性を必要とする情報の移動が当然のこととなっている。さらに、VoIP (Voice over IP)^{注1)} やインターネットラジオ、テレビのようなストリーム技術も一般利用が普及しつつある。このような背景の中で、FTTHサービス料金の低下はもちろん、高速性、安定性、および品質があらためて評価されているものと考えられる。

現在当社ではFTTH用のメディアコンバーターおよびFE-PON (Fast Ethernet Passive Optical Network) システムを通信事業者向けに製品化しているが、更に高速・広帯域対応で経済性に優れたGE-PONシステムを開発した。

次世代のブロードバンドサービス、将来のインフラストラクチャーとしてのFTTHの役割は大きく、特にユーザー数が大きく増える局面では、一芯型^{注2)} でファイバー設置コストも低いPONシステムの優位性が高まり、かつ十分な帯域を確保したGE-PON装置への期待は大きい。

2. 装 置 概 要

2.1 システム概要

GE-PONシステムは、局内装置であるOLT (Optical Line Terminal) と宅内設置型のONU (Optical Network Unit) によって構成される。OLTは、IEEE802.3ah (the Institute of Electrical and Electronic Engineers)^{注3)} 伝送方式を用いて、1本の光ファイバーと受動素子である光分岐回路 (スターカプラ) にて、複数のONUを任意の場所に光ファイバー接続してデータ通信を行うことが可能である。

OLT装置にはGE-PONインターフェースとコアネットワーク側インターフェース^{注4)} CNI (Core

Network Interface) にGbE (Gigabit Ethernet)^{注5)} ポートを1ポートずつ搭載したPIF盤を16枚実装することが可能であり、1枚のPIF盤につきそれぞれ32台のONUを接続可能である。ONUにはOLTと接続されるPONインターフェースのほかにユーザー側端末との接続インターフェースUNI (User Network Interface) としてGbEポートとFE (Fast Ethernet)^{注6)} ポートがそれぞれ一つずつある。

図1にGE-PONシステムの構成例を示す。

各ONUは、1台につき4本までのロジカルリンク接続を構成可能であり、したがって当社システムでは、1台のOLTで2048回線^{注7)} の高密度収容を実現している。

また、それぞれのロジカルリンクについて、SLA (Service Level Agreement)^{注8)} を設定することにより、低遅延/帯域保障/ベスト・エフォートといったサービスクラスの使い分けが可能である。

2.2 開発の課題

本システムにおいては、GE-PONシステム用に開発されたLSIを使用している。OLT、ONUのLSIはCPUを内蔵しており、それぞれファームウェアが搭載されている。PON区間の基本制御に関しては、このLSI制御用ファームウェアが自律で制御を行っている。

しかし、このLSIは汎用性が高く設計されているため、お客様が望まれるサービスを実現するために

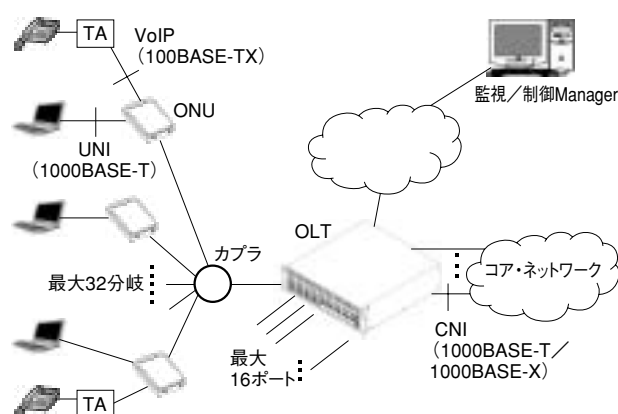


図1 GE-PONシステム構成例

注1) IPネットワーク上で音声通話を行う技術。

注2) 上下信号の光波長を変えることで、1本の光ファイバーに上下方向の信号を通す方式。

注3) 米国電気電子学会のGE-PONの規格とこれを審議している委員会の名称。

注4) ネットワークにおいて、GE-PONシステムから見て、端末側ではなく、上位のネットワーク機器に接続される側のインターフェース。

注5) 1 Gb/sの伝送速度を持つLANインターフェース。

注6) 100Mb/sの伝送速度を持つLANインターフェース。

注7) $4 \text{ (ロジカルリンク)} \times 32 \text{ (ONU)} \times 16 \text{ (PIF)} = 2048$ 。

注8) 提供するサービスの品質についての合意。ここでは、サービスとして提供する具体的な帯域を意味する。

は、非常に複雑な設定を行う必要がある。

また、GE-PON主信号部分のLSIであるため、システムとしての保守機能については、LSI単体では十分な機能を保持しておらず、システム側で保守機能を確保する必要がある。

このため、以下を開発の課題とした。

- 1) 装置の安定性を確保すること。
- 2) 汎用性を確保しつつ、複雑なLSIの設定を最適化し、ユーザーインターフェースを簡潔にすること。
- 3) 高い保守性を確保すること。

3. GE-PONシステムの特長

本GE-PONシステムの主な特長を以下に示す。

- 1) ロジカルリンクごとの木目細かな帯域設定が可能。
- 2) 簡易なユーザーインターフェースで設定可能な比例配分型DBA（3.2項で詳述）機能を搭載。
- 3) 柔軟なネットワーク構造に対応可能なVLAN（Virtual Local Area Network）機能。
- 4) 複数ロジカルリンクによるサービスクラス単位での優先制御が可能。
- 5) 認証機能を具備しており、安全性の高いネットワーク運用が可能。
- 6) 複雑な管理／保守手順を必要としない回線管理方式に対応。
- 7) MAC（Media Access Control）アドレスの登録によるONUの管理も選択可能。
- 8) SNMP（Simple Network Management Protocol）に対応したロジカルリンク単位での異常監視機能。
- 9) 故障箇所の早期検出を可能とする監視方式。
- 10) 万一の停電時等にも回線設定データを保持可能なデータ管理方式。
- 11) 各種設定をコピー可能とするデータベースダウンロード機能を搭載。

3.1 ロジカルリンク

GE-PONシステムでは、1本の光ファイバーを複数のロジカルリンクで共有する。（図2参照）ロジカルリンクとはその名のとおり論理的なリンクのことで、1本のロジカルリンクはGigabit Ethernetの1本の物理リンクと同等の伝送機能がある。GE-PONでは、MPCP（Multi Point Control Protocol）^{注9)}を使用して、一つの物理ポートに複数のMACアド

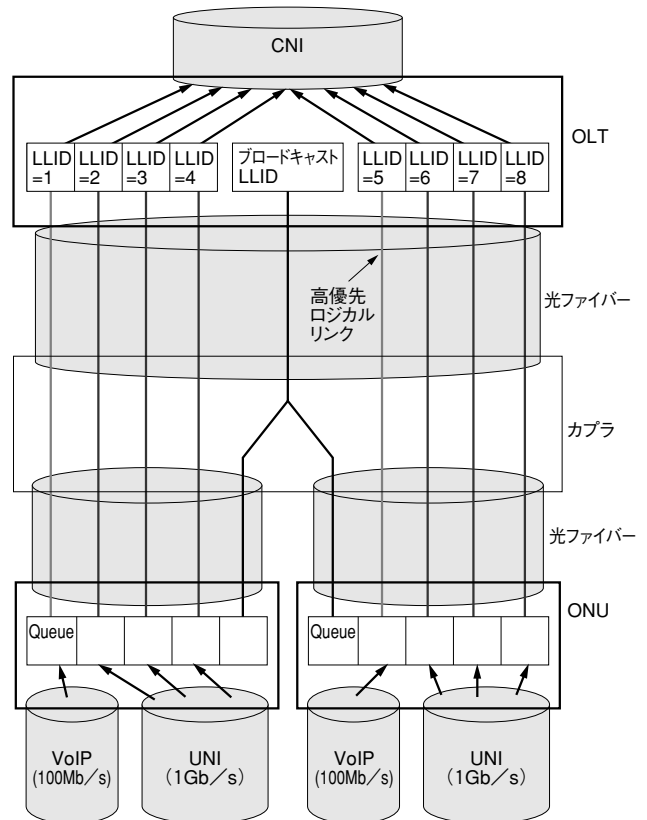


図2 ロジカルリンク構成

レスを持ち、それぞれがOLT側とONU側でリンクを確立することができる。

物理リンクを複数のロジカルリンクで共有しているために、データが通るリンクを識別する方式が必要である。このPON区間でのロジカルリンクの識別にはLLID（Logical Link Identification）が使用される。LLIDとは、各ロジカルリンクに一意に割り当てられる識別子であり、MPCPのフレームヘッダにこのLLIDが付与されることで、OLT／ONUはデータの行き先を識別することができる。

下り方向のデータに関しては、OLTからの信号を物理的に全ONUが受信し、ONUはLLIDが自分宛のフレームだけを選択して疎通させる。

上り方向のデータに関しては、光ファイバーを共有しているために、複数ONUが同時にデータを送信することができない。このため、ONUはUNIから受信したデータを一旦ロジカルリンクごとにバッファに溜めておき、OLTから各ONUに対してロジカルリンクごとに送信タイミングを指示すること

注9) 一つの物理リンク内に複数の論理リンクを構成するための制御を行うプロトコル。

で、順に送信することができる。

3.2 DBA機能

GE-PONシステムの大きな特長として、動的帯域割り当て機能（DBA（Dynamic Bandwidth Allocation））が挙げられる。これは、設定されたSLAに従って、動的に各ロジカルリンクに対する帯域の割り当てを制御するものである。

本GE-PONシステムでは、1 Gb/sの帯域を最大128本のロジカルリンクで共有しているが、（実際にはユーザーデータが疎通するロジカルリンク帯域以外に、IEEE802.3ahにて定められたロジカルリンクの制御を行う帯域が別途必要となるため、実効帯域は1 Gb/s未満となる。）各ロジカルリンクが占有可能な帯域は最大1 Gb/sである。したがって、物理帯域である1 Gb/sの配分方法によって、GE-PONシステム全体でのスループットが大きく影響を受ける。

そこで、本GE-PONシステムにおいては単位時間ごとに各ロジカルリンクに必要な帯域を掌握し、優先順位に応じた帯域の配分を行うDBA機能を搭載している。

GE-PONシステムにおける帯域配分は、OLT主導で行われる。OLTからの送信許可（grant）を与えられて、初めてONUは上り方向の信号を送信することができる。grantを得るために、ONUはUNIからの入力データ量に応じて、ロジカルリンク単位に必要な帯域をOLTに対して要求する。OLTでは、帯域要求に対して、優先順位に従って決定した配分でgrantを各ロジカルリンクに与える。

3.2.1 SLAによるサービス分類

本システムにおいては、SLAの設定として「最低保証帯域」「最大許容帯域」「遅延許容」の3項目を設けており、これらの設定によりロジカルリンクのレベルを以下の3種類に振り分ける。

レベル1 - 低遅延帯域保証

レベル2 - 耐遅延帯域保証

レベル3 - ベスト・エフォート

「低遅延帯域保証」とは、伝送遅延時間が短いことが要求されるサービス向けの設定であり、VoIP等のサービスを使用する際には、この設定を使用する。

「耐遅延帯域保証」とは、低遅延を要求しないが、帯域保証を行う必要のあるサービス向けであ

る。帯域の品質が要求されるサービス向けである。

「ベスト・エフォート」は、低遅延を要求せず、かつ帯域保証もない設定であり、通常のインターネット接続サービス等に使用可能である。

なお、DBAにおいて帯域を配分する際の優先順位は、上記のレベルの順に従う。

3.2.2 比例配分型DBA

上記のとおり、本システムのSLAでは、各ロジカルリンクに与えられる帯域は保証帯域と非保証帯域に分けられる。ここで、まず保証帯域を確保した後に余った帯域（余剰帯域）が非保証帯域に割り当てられる。すなわち、余剰帯域を非保証帯域で分かち合う。

本システムでは比例配分型のDBA方式を採用している。比例配分型とは、設定したSLAの帯域の配分に従って動的な帯域の配分を実施する方式である。

例えば、最大許容帯域が10Mb/sと100Mb/sのロジカルリンクが存在した場合、余剰帯域の割り当ても1：10で配分する。これにより、保証帯域だけでなく、非保証帯域部分についても最大帯域に応じて重み付けされるサービスを提供することができる。

3.3 VLAN機能

もう一つの本GE-PONシステムの特長として、さまざまなお客様の要望に対応するために、複数のVLANモードに対応していることが挙げられる。

GE-PONシステムでは、一つのポート、つまり物理回線に複数のロジカルリンクが存在する。よって、IEEE802.3ahで規定されるユニキャストロジカルリンクとブロードキャストロジカルリンクだけを使用した場合には、VLANグループごとにブロードキャストドメインを構成することができない。同一VLANドメイン内に複数ロジカルリンクが存在するような構成では、ブロードキャストフレーム／マルチキャストフレームのコピーが必要となり、ほかのドメインの帯域を圧迫する可能性がある。

しかし当社では、帯域を圧迫することなくそのような構成を可能にするための独自の構成により、同一VLANドメイン内に複数ロジカルリンクの構成を実現している。

3.4 優先制御機能

ONUに対して、主信号キューバッファサイズお

よびクラシフィケーションルール^{注10)}を設定することができる。これらは、上り方向と下り方向を別々に設定可能である。

上り方向に対して、各ロジカルリンクにどのようにキューを割り当てるかを設定し、さらに、各キューに入力するパケットのルールを設定する。

下り方向に対しては、各ポートにどのようにキューを割り当てるか、またどのキューにどのようなパケットを入力するかというルールを設定する。

パケットのクラシフィケーションルールとしては、照合のパラメータにMACアドレス、VLAN ID等を指定可能であり、照合方法として設定値との一致時、不一致時、該当フィールドの存在/非存在時等が選択可能である。

また、照合一致時の動作として、疎通させるだけでなく、該当のパケットを破棄するフィルタ機能も具備している。

3.5 セキュリティ機能

GE-PONでは、物理回線を複数のロジカルリンクで共有する方式であり、下り信号については物理的に全ONUに配信されてしまうため、セキュリティ機能、秘匿性の確保が重要となる。本システムでは、認証機能と暗号化機能によって、高いセキュリティを確保している。

認証機能とは、接続を許容されたロジカルリンクだけを信号疎通可能とし、そのほかの不明なロジカルリンクは排除して帯域を分配しない機能である。これにより、無許可でユーザーが帯域を使用することは不可能である。

暗号化機能とは、下りデータを暗号化し、特定のONUだけを解読可能とする機能である。これにより、認証されていないONUは受信したデータを解読することは不可能である。

4. ファームウェアの特長

4.1 OLT構成概要

図3にGE-PONシステムのブロック図を示す。

OLT装置は主信号インターフェース盤と、それらインターフェース盤の監視、制御を行うSV盤によって構成される。この構成により、主信号と制御系は分離され、あるPIF盤の異常時にもほかのPIF

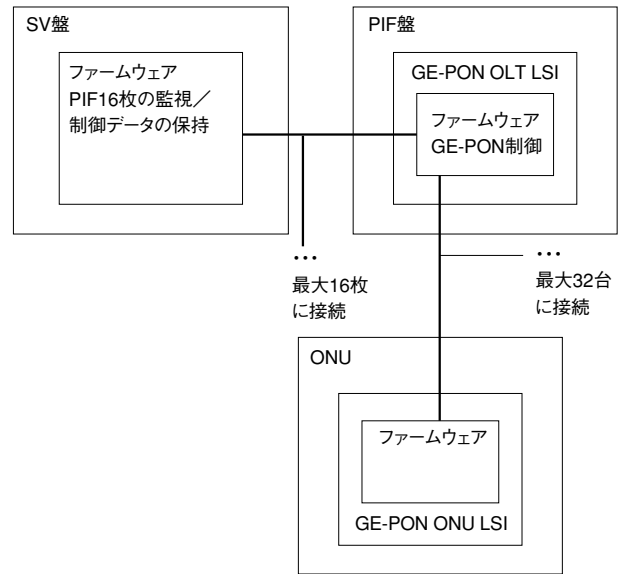


図3 GE-PONシステムファームウェアブロック図

盤の監視制御に影響を与えることなく、パッケージ交換等の保守を行うことができる構成となっている。

4.2 装置設定機能

4.2.1 DBA設定方式

DBA動作時のロジカルリンクへの帯域配分の優先順位は前述のSLA設定によってLSI制御用ファームウェアで自動的に決定される。OLTのLSIに実装されているDBA機能は汎用性を持たせた設計としているため、比例配分等の特殊なDBA方式を実現するためには、それらのハードウェアリソースも適正に設定する必要がある。

このハードウェアリソースは、レベルごとに分けられたtoken^{注11)}の形で各ロジカルリンクに割り振られる方式となっており、これはSLAの設定とは独立している。したがって、比例配分を実現するためには、各レベルのロジカルリンクの数および帯域設定値、光モジュールの性能等を考慮して最適値を検討する必要がある。これは本来ネットワーク設計に従ってカスタマイズされることが望ましいが、レベルおよび機能ごとのtoken設定を行うためにはシステムの理解だけでなく、実機による検証を必要とするため、お客様が短期間で詳細をカスタマイズすることは極めて困難である。

したがって本システムでは、あらかじめ当社内で検証して求めた最適となるDBAのためのハー

注10) パケット優先制御用のクラシフィケーション（分類）を行うためのルール。

注11) 送信の権利。tokenを得たロジカルリンクだけがデータを送信することができる。

ドウェアリソース設定を、入力されたSLA値に応じてファームウェアにて判断し、自動的に設定する方式を採用した。これにより、操作者はSLAの設定を行うだけで、最適な比例分配型DBAを使用することが可能となっている。

4.2.2 VLAN設定方式

同一VLANドメイン内でのブロードキャスト配信を可能とするために、特殊な帯域設定が必要となる。これらはファームウェアにて自動的に設定を行っているため、操作者が意識することなく運用可能である。

4.3 認証機能

本システムでは、セキュリティのためにあらかじめ接続を許容されたロジカルリンクだけを認証してデータの疎通をすることができる。この認証機能として、自動認証モードとMACアドレス認証モードを選択可能である。

自動認証モードとは、接続されたロジカルリンクをすべて認証し、主信号の疎通を許容するモードである。したがって、ONUの登録等の作業を必要とせずに運用に入ることができるのが特長である。ただし、当社のOLTは当社のONUの接続だけを許容しており、独自のIDでその判別を行う。したがって、IDによって当社システムであると認識されたONUに所属するロジカルリンクだけが認証され、データ疎通を可能とすることで、不明なONUが接続されてしまうことを防ぐことが可能となっている。また、この自動認証モードにおいては、ONUに実装されているONU番号設定スイッチの値で管理を行うことが可能である。OLT側でスイッチの番号を読み取って表示するため、ONU設置時に設定した番号で管理して、各種設定を行うことが可能である。

一方、MACアドレス認証モードとは、ONU個別のMACアドレスを元に管理を行う認証方式である。このモードにおいては、認証するONUのMACアドレスだけを登録することで、保守者がより厳密に接続を許容するONUを管理することができる。

4.4 警報監視機能

本システムでは、伝送路の異常、ハードウェアの故障など、異常を即座に検出し、保守者に通知する警報監視機能を具備している。

保守者への異常通知方法はSNMPv2 TRAPを使用しており、対応したマネージャーで監視可能である。各TRAPは、必要に応じて通知／非通知を選択可能となっている。または、装置に具備しているCLI (Command Line Interface) により、警報の発生状態をリアルタイムに確認することが可能である。

また、システムの異常以外に、ONUの電源断等ユーザーによって故意に行われる回線断も発生し得る。それらについては、異常と判断する必要がないため、そのような操作による回線断については、別途判別可能な機能も搭載している。

4.5 情報保持機能

本システムにおいては、各種設定情報を保存する不揮発性メモリがSV盤に搭載され、そこで一元管理される。

したがって、PIF盤を交換した際にSV盤にて保持している設定情報を交換したパッケージに反映することで、再設定の手順を不要としている。ONUについても同様で、ONU交換時にはOLT側のデータがマスターとなりONUを再接続するため、ユーザーは何も設定する必要はない。

また、このデータは、停電などによってOLT装置の電源がOFFになった場合にも消失することなく保持され、電源復旧時に各PIF盤およびONUの設定を復元することを可能としている。

一方、SV盤の交換が必要となった場合には、各PIF盤から運用中のデータを引き上げ、SV盤のデータベースを更新することで設定情報を保持する。

ここで、復元すべき2種類の情報が存在する。設定情報等の静的な情報と、リンク状態や警報状態等の設定とは独立して動的に変化する情報である。動的に変化する状態については、SV盤不在時にはPIF盤自身で制御を行っている。ただし、認証等のセキュリティ上、SV盤での管理が必要な制御については、SV盤なしでは動作せず、堅牢なセキュリティを確保することが可能なシステムとなっている。

SV盤不在時にこのような動的状態に変化が起きた場合にも、SV盤が実装されたときに各PIF盤から最新の状態を収集し、その結果に合わせた処理を即時行うことで、最新の状態を保っている。

4.6 安定性

SV盤とPIF盤では、異なる二つのCPUが非同期

に処理を行っているため、タイミングにずれが生じる場合も存在する。また、OLTとONU間の制御インターフェースについても、PONの回線状態などによって、時間的な遅延が生じる場合もある。そのような場合に備えて、SV盤ファームウェアには制御失敗時の再送処理を実装しているため、タイミングのずれを吸収して正しく動作することが可能である。

そのほかに、タイミングを調整する方法として制御に待ち時間を持たせるwait処理を実装している。ここで、処理によって時間を必要とする制御等が存在するため、一律同じ待ち時間とするのではなく、処理に応じた適切な待ち時間を持たせることで、高パフォーマンスを実現している。

5. む す び

GE-PONシステム自体はMPCP, ロジカルリンク, DBAのような通常のLANには存在しない概念が存在するため、そのままでは通常のLAN機器と同様の運用手順は導入できない。これらの事細かな設定を装置内で適切に最適化することで、簡単明瞭なユーザーインターフェースでありながら、さまざまなサービスに対応可能なシステムの構築を追及してき

た。同時に、高性能な監視機能、データ管理機能によって、高い保守性を実現した。

GE-PONは次世代のFTTHを担うシステムであり、広帯域で高品質なインフラストラクチャーとして今後期待されている。また、設置コストも低いことにより、既存のネットワークにも対応していくことで、更なる適用領域の拡大も予想される。

今後は、更に発展しつつある新サービスに対応した高機能化、経済化を追及し、FTTHサービスの発展を支えていく所存である。



【開発者】 前列左から、合中、伊藤、片山、
後列左から、佐々木、橘