

10G-EPON用通信LSIの開発

大道文雄*・吉村明展・神山真一
西岡進吾

Development of Communication LSI for 10G-EPON — by Fumio Daido, Akinobu Yoshimura, Shinichi Kouyama and Shingo Nishioka — GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) systems have been widely used for broadband access services. As the next generation technology of GE-PON, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3 Working Group standardized 10G-EPON in 2009 to define physical layer and data link layer specifications, and IEEE P1904.1 (SIEPON: Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks) Working Group has currently been working on the standardization of upper layer protocols to ensure service-level and multi-vendor interoperability for GE-PON and 10G-EPON. Along with the standardization activities for 10G-EPON, the authors have developed the communication LSI (large scale integration) for 10G-EPON, and successfully demonstrated technical feasibility of the 10G-EPON and SIEPON standardization.

Keywords: FTTH, 10G-EPON, LSI

1. 緒言

ブロードバンドアクセスサービスは、電話線を利用したADSL^{*1}から、光ファイバーを利用したFTTH^{*2}へと発展し、情報化社会を支える必須のインフラとなった。当社はブロードバンド黎明期からブロードバンドアクセス機器を研究・開発し、市場に提供してきた。国内のブロードバンドサービス契約者数は、2010年12月末の時点で3,459万件であり、その中でもFTTHサービスが1,977万件となっており全体の約57%を占めている⁽¹⁾。FTTHサービスは、今後も契約者数が継続して増加していくと予測されている。

現在、国内のブロードバンドサービスにおいて主に利用されているのは、IEEE 802.3で2004年6月に標準化されたGE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) である。しかしながら、多チャンネル映像配信、クラウド通信、インターネットへの接続端末数の増加などの利用形態の変化を考えると、より高速・大容量なアクセス技術が次世代FTTHシステムとして必要である。また、近年、CO₂排出抑制のためICT技術を利用した情報通信機器の消費電力削減など新たな要求も出てきている。

IEEE 802.3ではGE-PONを10倍高速化した10G-EPONの標準化を2009年9月に完了した⁽²⁾。現在、IEEE P1904.1 (SIEPON: Standard for Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks) では、IEEE 802.3で標準の対象外であったシステム仕様の標準化を進めており、2012年6月に標準化完了予定である⁽³⁾。SIEPONでは、EPON機器の消費電力削減技術も標準の対象となっている。

当社は、標準の技術実現可能性を検証するために、標準

化と並行して10G-EPONの局側装置(OLT)と宅側装置(ONU)用の通信LSIの開発を行い、実環境に近い規模での実機検証を行ったので、仕様概要、検証結果について報告する。

2. 10G-EPON

2-1 要求条件 10G-EPONシステム導入時に、新たな光ファイバー網を構築すると多大な投資が必要となり現実的ではない。従って、GE-PON用に敷設したファイバー網や、ユーザが使用中のGE-PON ONUがそのまま利用できることが要求されている。当社は、これまで10G-EPON非対称機の試作⁽⁴⁾などを通じ、10G-EPONシステムにおけるGE-PONとの共存機能の原理試作・実機検証を進めてきた。

一方、10G-EPONシステムの商用サービス化が近づくにつれ、設備投資(CAPEX)、運用費用(OPEX)の低減要求が高まりつつある。10G-EPONシステムは、局側装置から宅側装置への速度が10Gbpsに高速化されているため、局側装置から宅側装置へのファイバー網を多分岐化し、より多くのユーザを収容することで、ユーザあたりのCAPEX、OPEXが削減可能である。当社は、多分岐化が今後の10G-EPONシステムで重要視されると考え、従来は32分岐対応であったが、今回の開発では128分岐対応とした。

また、最近では情報通信機器の低消費電力化に対する関心

が高まっている。GE-PONや10G-EPONシステムについても例外ではなく、消費電力の多くを占めるONUに対する消費電力削減が期待されている。SIEPONの標準化では、通信トラフィックが少ない時にONUの機能の一部を停止させることで消費電力削減を図る省電力機能が検討されており、標準化中の本機能を通信LSIに実装した。

2-2 標準化 10G-EPONの標準化に関して、IEEE 802.3で標準化された標準は、光の強度や波長、符号化などを規定するPHY層^{*3}と、フレームのフォーマットや送受信処理を規定するMAC層^{*4}を対象としており、上位層の機能は標準の対象外であり、通信事業者やベンダの仕様に依存していた。したがって、異ベンダ間での相互接続に問題が生じることがあった。

そこでSIEPONでは、GE-PONと10G-EPONのOLTとONU間でのシステムレベルの相互接続性を実現することを目標とし、上位層の標準化を進めている。2012年6月標準化完了を目標としており、2011年10月現在Draft2.0を作成済みである。

SIEPONが規定する技術範囲は多岐に渡っているため、標準化を効率的に進めるために、SIEPONのワーキンググループは5つのタスクフォース（TF）から構成されている。表1に各TFが担当する技術範囲を示す。当社は、SIEPONの標準化に積極的に取り組んでおり、TF4のエディターを担当している。

表1 各タスクフォースの検討テーマ

	名称	検討テーマ
TF1	Service Configuration and Provisioning	SIEPON アーキテクチャ クラシフィケーション VLAN/マルチキャスト
TF2	Performance Requirements and Service Quality	QoSメトリック, MPCPフレームフォーマット
TF3	Service Survivability	機器・トランシーバ状態監視 PONプロテクション、省電力
TF4	System/Device Management	ONU管理、暗号、認証
TF5	Conformance Test Procedures	適合試験

GE-PONシステムは、既に世界各国で異なる仕様で運用されているため、SIEPONでは、複数の仕様を規定している。それぞれの仕様をパッケージと呼び、パッケージAからCまでの3種類が規定されている。異ベンダのOLTとONU間でも、同一パッケージに対応していれば相互接続が可能となる。

3. 10G-EPON用通信LSI

3-1 開発方針 当社では、標準化活動と並行し、いち早く機能を実装・検証するため、市販のFPGA^{*5}を使

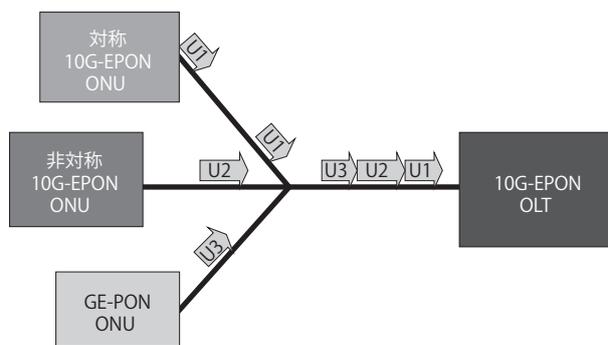


図1 10GE-PONシステム

用し、10G-EPONの評価機を開発した。10G-EPONシステムは局側装置（OLT）と宅側装置（ONU）で構成され、当社はそれぞれの装置に使用される通信LSIの開発を行った。10GE-PONシステムの概略を図1に示す。

下り方向（OLTからONU）の通信は、OLTからの光信号が全ONUに同報され、ONUが自分宛てかどうかの判定を行う。それに対して、上り方向（ONUからOLT）は、各ONUからの光信号が衝突しないように制御する必要があり、上り動的帯域割当（DBA: Dynamic Bandwidth Allocation）と呼ばれる帯域制御によってOLTが各ONUに対して送信時間割当を行う。今回開発したOLT用の通信LSIでは、対称10G-EPON ONU（下り10G／上り10G）、非対称10G-EPON ONU（下り10G／上り1G）、GE-PON ONU（下り1G／上り1G）が接続可能である。

これまで当社で開発してきたOLT用の通信LSIに対する、今回の通信LSIの特徴は、次の2点である。

- ① 収容可能なONUの台数を32台から128台に拡張
- ② SIEPONで標準化中の省電力機能（D2.0）に対応

3-2 仕様緒元

(1) OLT用通信LSI

表2にOLT用通信LSIの仕様諸元、図2にブロック図を示す。上位装置とのインターフェースはGE-PONシステムとの互換性を考慮し、10Gポートの他に1Gポートも備え

表2 OLT用通信LSI仕様緒元

PONインタフェース	(10G) XSBI (1G) TBI
SNIインタフェース	(10G) XAUI (1G) GMII
PONプロトコル	IEEE802.3av 準拠
ロジカルリンク数	128
バッファ数	上り 256MByte (外部) 下り 256MByte (外部)
論理接続可能距離	90km
省電力プロトコル	SIEPON D2.0 準拠

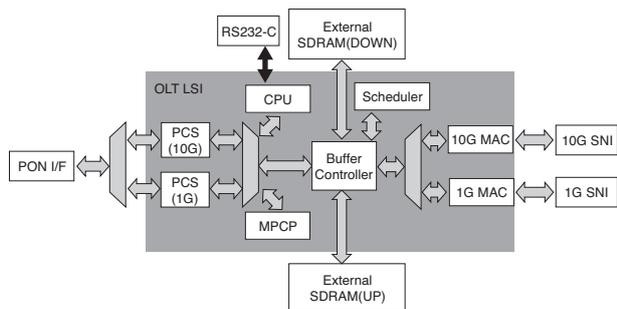


図2 OLT用通信LSIブロック図

た。また、最大でONU 128台分のフレームを蓄積する必要があるため、FPGAの外部に上下トラフィック用にそれぞれ256MByteのSDRAM^{*6}を置いた。動作時に使用するキュー数やキューサイズに関しては、設定によって変更可能である。

(2) ONU用通信LSI

表3にONU用通信LSIの仕様緒元、図3にブロック図を示す。今回の開発で使用したFPGAでは、PON光トランシーバ^{*7}からの10Gシリアル信号を直接入力できないため、外部にシリアル信号をパラレル信号に変換するSERDES LSIを置き、FPGAにはパラレル信号(XSBI)として入力した。端末側インターフェイス(UNI)として、10Gと1Gの両方のインターフェースを備えており、運用時には、1Gもしくは10Gのどちらかのポートを選択し、切り替えて使用することが可能である。

表3 ONU用通信LSI仕様緒元

PONインタフェース	XSBI
UNIインタフェース	(10G) XAUI (1G) GMII
PONプロトコル	IEEE802.3av 準拠
ロジカルリンク数	1
バッファ数	上り 4MByte (外部) 下り 256MByte (外部)

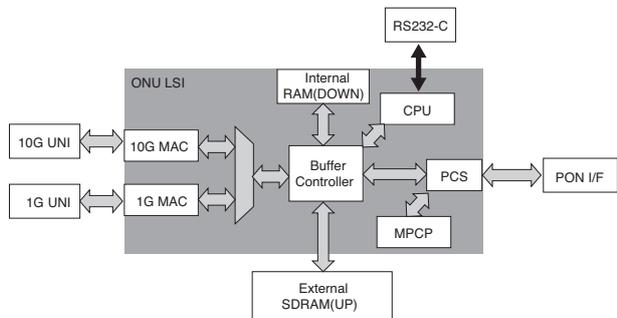


図3 ONU用通信LSIブロック図

3-3 特徴

(1) 上り動的帯域割当 (DBA)

EPONシステムでは、上り方向の通信は時分割多重アクセスで送信するため、OLTは各ONUからONUの上りフレーム蓄積量の通知を受け、ONU間の公平性を考慮しながらDBAによる送信時間割当を行う。10G-EPONのONUでは、従来のGE-PONと比較すると、10倍程度大きいバッファ^{*8}のフレーム蓄積量を算出する必要がある。算出時間は16μs以内とIEEE 802.3標準で規定されているが、その時間内に上りフレーム蓄積量を逐次的に調べることは難しい。そこで、当社ではコードベクタ検索技術⁽⁵⁾を用いることで、上りフレーム蓄積量の高速算出を実現している。具体的にはフレームをバッファに格納する際に、データを1/64に圧縮したインデックステーブルを作成し、フレーム蓄積量算出時には、そのインデックスを参照することで高速算出を行うものである。

(2) 多分岐化 (ONU128台対応)

OLT用の通信LSIは従来の4倍の台数のONUを収容可能とするため、ONU間の公平性、送信レート、フレームの優先度などに基きフレームの送信順序を決定するスケジューリング機能の負荷が増加する。上り方向については、前述のDBAに関する処理時間が一つの制約となるが、ソフトウェアで行う計算の一部をハードウェアで高速処理するアクセラレータと呼ばれる回路を組み込み、ソフトウェアの負荷軽減を図った。下り方向に関してもスケジューリング方式を改良し、128台接続時でも送信レートを落とすことなくフレームの送信が可能な回路を開発した。

(3) 省電力機能

SIEPONでは、ONUの消費電力低減のため、通信トラフィックが少ない場合、ONUのPON送信・受信部を一時的に停止(スリープ)させるためのOLTとONU間の制御プロトコルを規定している。ONUのスリープモードとして、送信部のみを停止させるTxスリープモードと、送受信両方を停止させるTRxスリープモードの二種類のモードがある。

図4にOLTとONU間の省電力制御プロトコルフローの一例を示す。まずOLTはスリープさせたいONUに対し、省電力制御の開始を示すメッセージ(SLEEP_ALLOW)を

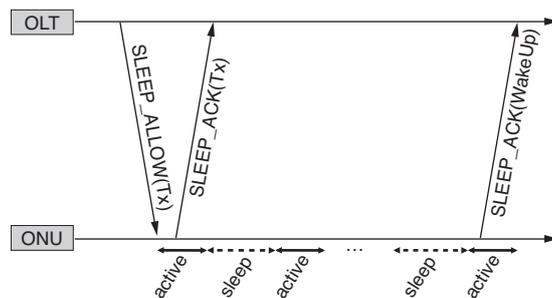


図4 省電力制御プロトコルフロー

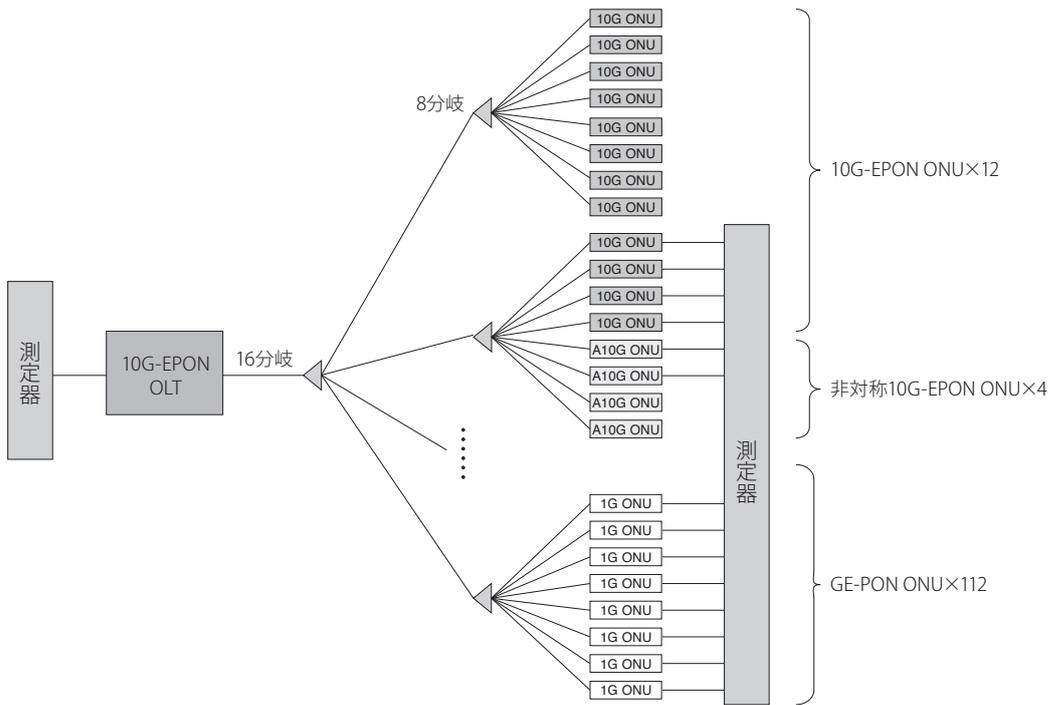


図5 128台系実機検証環境

送信する。ONUはスリープ可能であれば省電力制御の開始を了解するメッセージ（SLEEP_ACK）を返答し、間欠スリープ（activeとsleepの繰り返し）を開始する。図4はOLTから省電力制御を開始する例であるが、オプションとしてONU側から省電力制御の開始を要請するメッセージを送ることも可能である。省電力制御の終了は、ONUがスリープの終了を通知する場合（WakeUp）と、OLTからONUに対してスリープの終了を要求する場合とがある。

OLT用の通信LSIでは下り方向の通信トラフィック量を、ONU用の通信LSIは上り方向の通信トラフィック量をそれぞれ監視して、省電力状態の開始または終了の可否を判定し、上記の省電力制御プロトコルを実行する。

4. 実機検証

4-1 多分岐化 今回開発した通信LSIが、128台のONUが接続された場合でも安定動作し、また、各ONUに対する上り動的帯域割当が期待通り動作することを確認するため、図5に示すように、12台の10G-EPON ONUと、4台の非対称10G-EPON ONU、112台のGE-PON ONU

からなる評価系を構築し、実機検証を行った。

表4に、OLT用通信LSIが対応可能なDBAサイクル時間を示す。ONUの収容可能台数が増えるにつれ、DBA処理に必要な時間が増える。ONU32台収容可能時では、最少300μsで動作させることができたが、ONU128台収容可能時では、安定動作させるために1,200μsの時間が必要であった。最大DBAサイクル時間は32台、128台収容可能時とも、2,000μsに設定可能であり、OLTとONU間の距離を20Km以上に長延化することが可能である。上りフレームの最大遅延時間は、DBAサイクルの約3倍となるため、DBA処理をより高速化し、DBAサイクル時間をより短縮することが今後の課題である。

表5は、128台接続時に、各ONUに対する上りトラフィックをフル負荷入力した時の、各種ONUからのスループットである。対称10G-EPON ONU、非対称10G-EPON ONU、GE-PON ONUが混在して接続されている状態で、ONUの種類に関係なく公平に帯域割当されていることを確認した。

表4 動作可能なDBAサイクル範囲

ONU 収容可能台数	最少DBAサイクル	最大DBAサイクル
32台	300μs	2,000μs
128台	1,200μs	2,000μs

表5 128台系スループット測定結果

ONU	スループット	
	%	Mbps
対称 10G-EPON	0.58 %	5.7
非対称 10G-EPON	0.58 %	5.7
GE-PON	5.80 %	5.7

4-2 省電力機能 まずは、自社開発の LSI を使用している 10G-EPON OLT と ONU に省電力機能を実装し、長時間安定動作することを確認した。その際には、省電力機能が標準の規定通りに動作していることを確認するため、OLT と ONU 間の制御フレームをモニターし、制御フレームのフレームフォーマットと設定値が期待通りであること、制御シーケンスが規定通りに実施されていることを確認した。次に、実装した省電力制御プロトコルの正当性と省電力効果を実測するため、市販の LSI を使用した GE-PON ONU との間で省電力機能を動作させ、消費電力を測定した。各スリープモードにおける、ONU への入力トラフィックを変化させた場合の消費電力の変化を表 6 に示す。スリープモードなし、かつ、入力トラフィックがない場合の ONU の消費電力を 1 としている。Tx スリープモード時には GE-PON ONU の全体の消費電力が約 24 % 削減され、TRx スリープモード時には GE-PON ONU の全体の消費電力が約 38 % 削減され、省電力機能による ONU の消費電力低減効果が確認できた。消費電力の低減率は、PON 側の送受信回路の性能に依存しており、停止・復帰時間の高速化によりさらなる消費電力の削減が期待される。

表 6 スリープ時の ONU 消費電力比

スリープモード	トラフィック入力なし	低トラフィック入力 (上り 1pps)	高トラフィック入力 (上り下りフル)
スリープなし	1.0	1.0	1.29
Tx スリープ	0.76	0.76	1.29
TRx スリープ	0.62	0.62	1.29

測定条件：active 時間と sleep 時間の比は 1 : 10。

5. 結 言

IEEE 802.3 標準と IEEE P1904.1 のドラフト案に準拠した 10G-EPON の OLT と ONU 用の通信 LSI を開発し、標準で規定された機能が実装可能であり、実機で安定動作可能であることを確認した。特に、今後の 10G-EPON の商用サービス導入時に重要となる多分岐化と省電力機能に関しては、多数の ONU を用いた実機検証環境を構築し、技術的に実現可能であることを実証した。

用語集

※1 ADSL

Asymmetric Digital Subscriber Line：電話回線を使用した高速デジタル通信技術。アクセス回線の通信速度は、一般的に 1Mbps ~ 50Mbps 程度。局舎とユーザ宅までの距離や回線の品質により実際の通信速度が影響を受ける。

※2 FTTH

Fiber To The Home：光ファイバーを使用した超高速デジタル通信技術。アクセス回線の通信速度は、一般的に 100Mbps ~ 10Gbps 程度。局舎とユーザ宅までの距離などに通信速度が影響を受けない。

※3 PHY 層

Physical 層：通信機能の階層構造を規定する OSI 参照モデルの最下層（第 1 層）を示し、物理的な仕様や伝送路符号化などの仕様が定義されている。

※4 MAC 層

Media Access Control 層：OSI 参照モデルの第 2 層（データリンク層）の副層を示し、フレームのフォーマットやフレームの送受信処理などが定義されている。

※5 FPGA

Field Programmable Gate Array：プログラミングにより内部の回路を書き換え可能な LSI。

※6 SDRAM

Synchronous DRAM：パソコン用のメインメモリなどとして使われている安価で大容量な汎用メモリ。

※7 PON 光トランシーバー

局側装置（OLT）と宅側装置（ONU）に内蔵され、電気信号を光信号に変換して PON の光ファイバーに送信する機能と、PON の光ファイバーからの光信号を電気信号に変換する機能を持つ回路ブロック。

※8 バッファ

情報通信機器で、受信したイーサネットフレームを送信するまで一時的に保持しておくためのメモリ。

参 考 文 献 -----

- (1) 総務省報道資料、「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表（平成22年度第3四半期（12月末））（平成23年3月16日）
- (2) IEEE P802.3av, “10Gb/s Ethernet Passive Optical Network”
- (3) IEEE P1904.1. <http://www.ieee1904.org/1/>
- (4) 大道 他、「非対称 10G-EPON システムの開発」、SEI テクニカルレビュー第 175 号、pp103-107（2009）
- (5) 特許：第 4003645 号

執 筆 者 -----

大道 文雄*：情報通信研究所 グループ長
ブロードバンド用アクセス機器の研究開発に従事



吉村 明展：情報通信研究所 主査
神山 真一：情報通信研究所
西岡 進吾：情報通信研究所

* 主執筆者