

新しいテストの必要性/見方: 400Gクライアント成功のために

筆者: Dr. Paul Brooks

はじめに

100Gが導入されるまで、クライアント側光トランシーバーの検証とテストは比較的簡単なタスクでした。「テスト」用チャンネルを介して光モジュールを動作させ、対応するビットエラーレート (BER) を測定して、それを合否基準として使用していました。たいていの場合、期待値は通常の測定時間でエラーなし(error-free)でした。

これに対し、400Gクライアント光トランシーバーはNRZ(ノンリターンゼロ)方式からPAM-4(4値パルス振幅変調)変調方式に移行し、すべてのPMD(Physical Media Dependent:物理メディア依存部)に対してFEC(フォワードエラー訂正)が採用されています。この変化は、光モジュールのテストおよび検証を著しく複雑にし困難にします。エラー統計(および根本原因)とFEC特性との関係が深く関係しているため、単純な合否判定方法は使えなくなりました。

このホワイトペーパーでは、400G光トランシーバーの登場に伴う新たな課題と、それらの課題で必要となるテストと検証のための新しい視点について説明します。この新しいアプローチにより、テストの負担を大幅に増すことなく、オプティクス良品と不良品の判別可能性を高めることができます。

現行の100G以下における"ベストプラクティス"

Viaviソリューションズは、30年以上にわたり、NRZの電気および光変調に基づいたクライアントベースの光トランシーバーのテストおよび検証を行ってきました。最近の25Gおよび40GベースのNRZシステムのテスト実績でも、適切に設計および構築されている場合、現行のリンクを「非常に低い」BERとして扱うことができます。テスト方法はむしろシンプルです。

1. 簡単なアンフレームBERテストを実行する
2. エラーの数を数える(期待値ゼロ)
3. テスト信号にストレスを加え(異なるパターン、クロックレート、セキュアまたはSRS)BERを測定する。合否のためのBER閾値は変更しない

この方法は、クライアントFEC(100G LR4など)を使用せずに「エラーフリー」で動作するクライアント光トランシーバーに最適ですが、100G SR4など、名目上FECを必要とするその他のPMDにも適用できます。物理メディア(マルチモードファイバなど)が要因で、送信データエラーを引き起こす可能性があるため、FECは必要です。FECを使用すると、リンク上で発生する多くのエラーを訂正できるため、低コストの物理メディアを使用できます。現実には、これらの光トランシーバーは「ループバック」でエラーフリー、あるいは非常に低いエラーレート(10⁻⁸-12以下)で動作するため、非常に単純な合否基準となります。実際、現在のエコシステムであれば、クライアント光トランシーバーは、光ループバックの実験室で少なくとも「コーヒープレーク数十分程度」の間はエラーフリーで動作するはずで

400Gクライアントオプティクス簡単な紹介

400G(および200G)用IEEE P802.3bsプロジェクトは、2017年後半には正式標準化されます。ドラフト標準のイーサネット部分は非常によく知られていますが、(クライアント側の観点から)革新的な技術を採用して、400G技術がより広範な市場のコストとサイズの期待を満たすことを可能にする必要があります。新しいトピックには以下があります。

- **PAM-4**。PAM-4変調は、NRZで使用される0か1ではなく、4つの信号レベルを使用します。これにより、同じ時間内に2倍多くの情報を送信できます。信号レベル間のギャップは小さくなるため、信号はノイズの影響を受けやすくなります。
- **FEC**。フォワードエラー訂正(FEC:Forward Error Correction)コードを使用すると、コーディング段階で追加の情報ビットを付加することにより、送信信号中のエラー(ノイズ、干渉、反射などで発生)を訂正できます。FECコードは、CDやDVD、RF、光ファイバー通信の分野で広範囲に利用されています。
- **生エラーレート**。生エラーレートは、FECがエラーを訂正する前の物理メディア上でのエラーレートです。
- **フレーム損失**。フレーム損失は、訂正不能なエラーが原因で失われたイーサネットフレーム数です。データフレーム全体を廃棄する必要があります。
- **不良フレーム受け入れ平均時間(MTFFA:Mean-Time-To-False-Frame-Acceptance)**。MTFFAは、データパケットの破損が進んで、リンクが機能しなくなるまでの平均時間です。パケットの破損が進むと、FECコードおよびチェックサムを提供するエラー保護および検出機能がパケットの破損を検出できなくなり、このため受信側が誤ってパケットまたはフレームを「良好」と見なします。

ビット計数が重要でなくなった理由

FECは、FEC前の 10^{-4} BERのすべてをFEC後にエラーゼロフレームに変換できる魔法のブロックではありません。実際は、FECはエラー統計の性格に大きく左右されます。特に影響するのはバースト長です。

あるモジュールが 10^{-4} (エラーの分布がランダムで、FEC後はエラーなしになる)、別のモジュールが 10^{-10} の生エラーレートで動作することはごくあり得ることで。ただし、設計と性能により、後者のエラー特性は訂正不可能なエラーになることがあります。このため、簡単なBERテストでも、すなわち、ガードバンドをかなり大きくとったBERテスト(10^{-6})でも、完全に良好なモジュールが不合格になったり、基本的な性能に制限があるモジュールが合格になったりすることがあります。

エラー統計のフィンガープリント

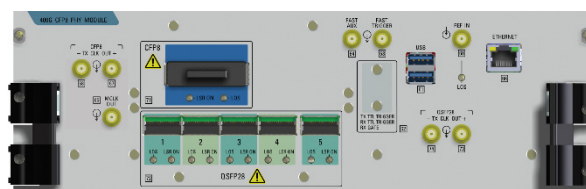
エラーの本質を見極めるために、バースト長、バーストギャップ、また、バーストが真のエラーであるかパターンスリップであるかなどの主要パラメータに従ってエラー統計を判断するには、フィンガープリントが必要です。エラーの根本原因を突き止めて設計時に対策を取り、FECを使ってエラーなしで動作するよう十分なマージンをモジュールを盛り込むには、このレベルの詳細情報が必要となります。

エラーバーストの長さや性質により、FECによって訂正可能なバーストの長さに上限があります。これにより、管理可能なバースト長に重要な制限が設定され、この情報があれば、モジュール内のマージン要件が明らかになります。バーストの性質に関する質問は重要です:それは、従来のビットエラー、パターンスリップ、或いは「エラーフロアー(フローリング)でしょうか?例えば、エラービットが「1」または「0」だけの場合は、その根本原因に関する重要な情報を得られて、適切な対策を取ることができます。最適テストにより、CDR(クロックデータリカバリ)や帯域幅の課題、パターン感度、直線性(特に光レーザーに要求される厳しいダイナミックレンジ上での直線性)に関する問題を特定する必要があります。

ビットキャプチャーなどのツールは、エラーやバーストにつながるイベントの完全な可視性を提供し、光レイヤーでの符号化されたPAM-4信号に関してビットキャプチャーを調整する機能も提供します。これによっても、エラーの根本原因を探り、訂正することができます。

モジュールのテストと検証のための新しい「レシピ」

Viaviが提供する新しい400Gテストセットでは、さまざまな有効なパターンで、詳細アンフレームBERテストを実行できます。エラーバジェットの大半が割り当てられている光ドメインで適切なアグレッサ(課題発生源)をターゲットにすることが重要です。このためには、AUI-8とAUI-16インターフェイスを使用して特定のPRBS_QおよびSSPR_Qパターンを生成する機能が必要であり、それらのパターンは光レイヤーで「真」のパターンに正しく変換される必要があります。

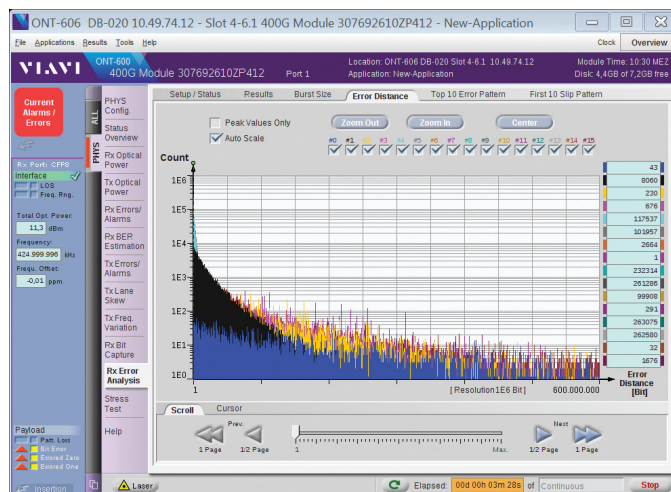


ONT 400G

拡張エラー解析機能を使用して、エラーの性質を完全に理解することもできます。エラーの分布と統計も重要です。これは、特にバーストエラーに関して重要です。バースト長とその発生間隔は、FECの性能を理解する上で極めて重要なパラメータです。さらに、エラー統計の詳細を理解することは、多くの場合、その根本原因(CDR性能、帯域幅、電気または光クロストーク、直線性)に対処し、モジュール性能向上促進を意味します。もちろん、この段階でモジュールにストレスをかけることも重要であり、よく使われるストレスサ一(負荷注入)には以下があります。

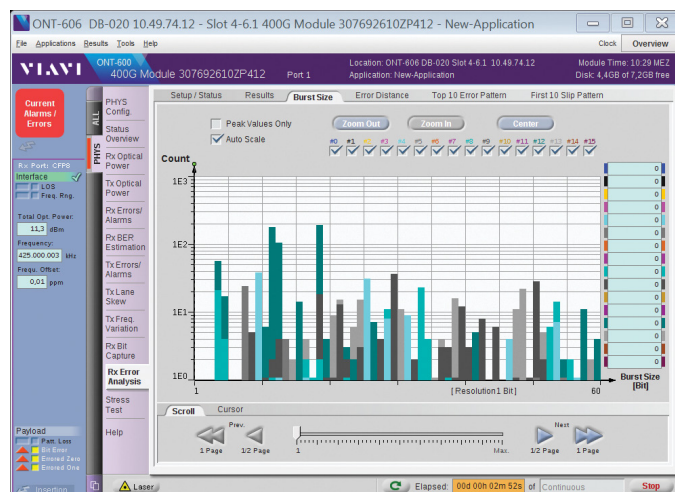
- アグレッシブなパターン組み合わせ(SSPR_Qを含む)
- スキューのダイナミック変化
- クロックレートの変化(ランプとステップの両方、または「ジャンプ」)
- ジッタ注入
- アグレッシブなコントロールバス制御(高デューティサイクルH2C、またはMDIO読み取り/書き込み活動)

これらのストレスサ一を使用して、モジュール設計上の問題点やとマージンを明らかにすることができます。ここでも、特定の障害モードを調査することで根本原因を探り、モジュール性能向上を促進します。



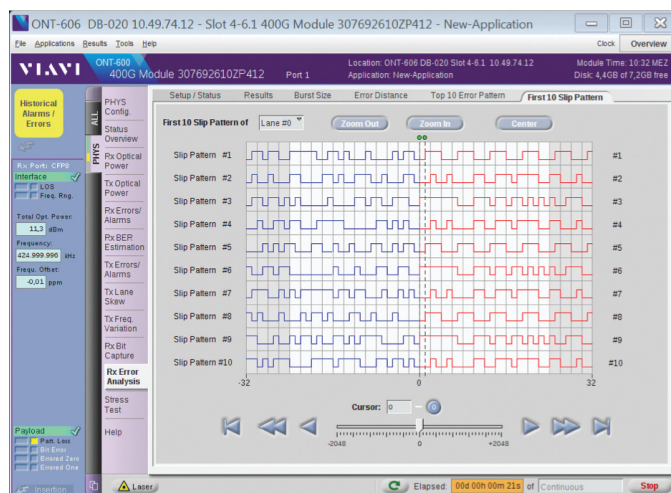
エラー間の距離

エラー間の距離は、エラー統計に貴重な洞察を与えることができます。この事例では、ギャップのある典型的なロールオフが見られます。これは、ランダムポアソンプロセスに特有です。エラー間の距離にある明確なピークは、パターン感度やクロストーク(電源ユニット(PSU)およびマイクロコントローラ回路から発生)が含まれるディタミニスティックなメカニズムを示します。例えば、1MHzの繰り返し信号バーストが約25000ビットでカップルインしておりこのビューではそのようなピークを明確に認識できます。



バーストエラー長のグラフィカルなトラッキング

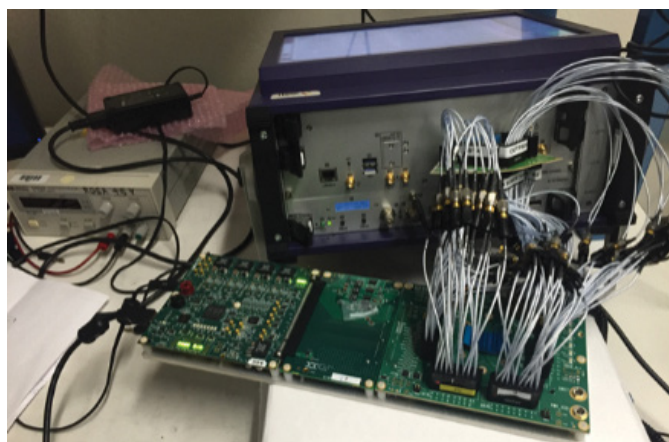
エラーバーストは、いくつかのビットまたはシンボルが1つのイベントが原因で破損した場合に発生します。この単一イベントは、その性質および/または生成が原因で、限定的な時間ウィンドウ内でいくつかのビットまたはシンボルを破損させます。この例では、バーストの発生数対バーストのサイズが示されています。ここでは、長さが32ビットを超える多数のバーストが発生しており、この場合は、FECによる訂正が不可能なエラーが発生している可能性があります。



パターンスリップのキャプチャーと表示

根本原因の発見と修正には、エラーバーストとパターンスリップを見分けることが不可欠です。この場合、ONTの拡張エラー解析により、パターンスリップが発生していることが示されています。従来のツールでは、エラーであることしか分かりません。対照的に、ONTの拡張エラー解析を使用した開発者は本当の問題を完全に把握できます。ビットスリップは通常CDR機能で発生するため、ここが究明すべき場所になります。

モジュールのパフォーマンスがアンフレームのディターミニスティックパターンによって最適化された後、モジュールは実際のトラフィックシナリオで実行できるようになります。モジュールの特性は、ライブイーサネットトラフィックと、FEC前およびFEC後のエラーレート(ゼロ希望)の詳細な監視で確立されます。当然のことながら、モジュールはこのようなシナリオ(「リアル」ワールド)で使われる方法なので、ライブトラフィックテストは不可欠のステップです。このステップでは、FEC前のエラーレートは比較的一定で、FEC能力のマーヅン範囲内にあるべきです。FEC後のエラーレートはゼロになるようにします。この情報と先に収集した生エラー統計特性により、モジュールベンダーおよびユーザーは、モジュールを現場に配備したときに十分なマーヅンをもって動作するという確信を得ることができます。



この写真は、ONT 400GとそのAUI-16電気アダプターを使用してプロトタイプ400G PAM-4 ICをテストしているところです。Viaviが開発し、ONT製品ファミリーに導入されたこの新しいアプリケーションは、拡張エラー解析やフレーム付テスト(FEC付)などの技術を使用して最新の光モジュールの特性を完全に評価しテストするために必要な洞察と知識を提供します。

新しいアプローチ

イーサネットテクノロジーの歴史を通じ、クライアント側光トランシーバーの検証とテストタスクは比較的シンプルでした。今日、400Gコンポーネントとモジュールの開発に伴い、光トランシーバーを正しく検証、テストするための新しいアプローチが求められています。PAM-4の複雑さとFECの高度に非線形的な振る舞いが組み合わさるということは、最終的には単純にエラーを計数する以上のアプローチが必要になることを意味します。このホワイトペーパーで概説した新しい、より高度なアプローチにより、テスト時の負担を大幅に増やすことなく、不良光トランシーバーを速やかに検出し、良好な光トランシーバーを合格させることができます。

筆者略歴

ポール・ブルックス(Paul Brooks)は高速光トランスポートテクノロジーに重点を置く研究機関およびNEMsの戦略を策定しており、IEEE規格やイーサネットアライアンスに積極的に関わっています。テストおよび測定業界のベテランとして、メタルやxDSLから400Gイーサネットまで、複数のテクノロジーに関り、Wandel & Goltermann、Acterna、JDSU、Viaviでは研究開発およびマーケティングでさまざまな職務につきました。以前は、イギリス海軍の兵器担当将校であり、その時期、サウサンプトン大学(Southampton University)でオプトエレクトロニクスの博士課程を修了しています。



〒163-1107
東京都新宿区西新宿6-22-1
新宿スクエアタワー7F

電話: 03-5339-6886
ファックス: 03-5339-6889
Email: support.japan@viavisolutions.com

© 2017 Viavi Solutions Inc.
この文書に記載されている製品仕様および内容は
予告なく変更されることがあります
ont400g-wp-opt-nse-ja
30186129 900 0217