

IP ネットワーク試験器 AE5511トラフィックテスター Pro

IP Traffic Load Generator/Analyzer-AE5511 Traffic Tester Pro

平岡 伸之^{*1}
HIRAOKA Nobuyuki

福田 吉展^{*1}
FUKUDA Yoshinobu

川手 広介^{*1}
KAWATE Kousuke

長嶋 繁^{*1}
NAGASHIMA Shigeru

IPネットワーク試験器は、IPデータを発生し受信解析することで、IPネットワークのノードとして構成されるスイッチやルータ等の通信機器の性能確認、及びそれらを構成するネットワークを通じて、エンドエンドや中継伝送区間での性能評価を行うために使用される測定器である。当社では、AE5511トラフィックテスターProとして各種の多ポートインタフェースユニットを揃え、IPネットワーク試験の幅広い測定ニーズに柔軟に対応できる測定器を開発した。WindowsベースのGUI(Graphical User Interface)ソフトウェアにより、マルチユーザ、マルチインタフェース対応を実現している。本稿では、AE5511トラフィックテスターProの基本構成および本器によるQoS(Quality of Service)試験、高精度フルワイヤーレート測定への対応について解説する。

The IP traffic load generator/analyzer is a measuring instrument used to test the performance of communications equipment, such as switches and routers configured as the nodes of an IP network, by generating IP data and receiving the data for analysis. In addition, the generator/analyzer is used to evaluate the performance of end-to-end transmissions or transmissions between relay points via a network made up of those pieces of equipment. Our company has developed the AE5511 Traffic Tester Pro, a measuring instrument equipped with various multi-port interface units and capable of flexibly meeting measurement needs in IP network testing. With the Windows-based graphical user interface (GUI) software, the AE5511 supports multi-user, multi-interface operating environments. This paper explains the basic configuration of the AE5511 Traffic Tester Pro, as well as approaches toward the testing of the quality of service (QoS) and the high-precision measurement of full wire rates.

1. はじめに

現在の情報通信ネットワークでは、従来の電話交換主体のネットワークからIPデータ伝送を中心としたIPネットワークへの急速な転換、拡大が進められている。インターネットの普及に始まり、IP電話、企業間通信、移動体通信等、我々を取り巻く身近な世界からそれらを裏で支えるIPネットワークが急速に浸透してきている。

一方、このIPネットワークを支える中心的技術は、一般的にはイーサネットと呼ばれる伝送技術である。イーサネットは周知の通り、原型は米国Xerox社で開発されたものであり、現在ではIEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)の802シリーズとして国際規格化され、IETF(Internet Engineering Task Force)を

中心に進化を続けている。

この規格は柔軟性が高いため、多くのベンダーに支持され発展を続けているが、その反面では従来の伝送規格



図1 外観

*1 通信測定器事業部 第4開発PJTセンター

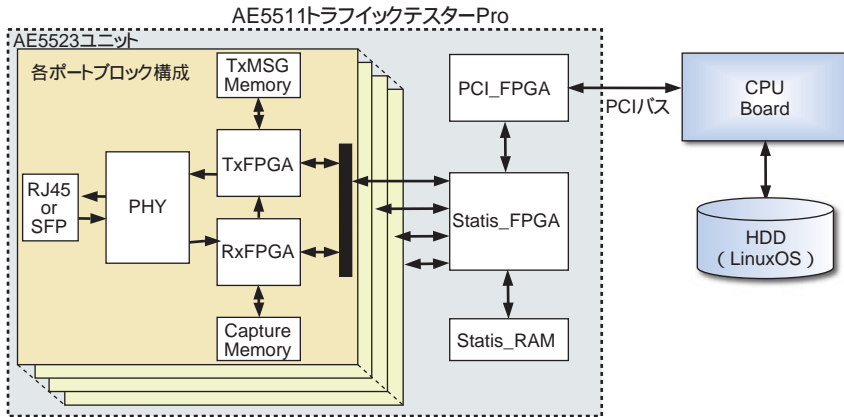


図2 AE5511 ハードウェアブロック図

の様な厳格性が薄いため、同じ規格であってもその性能については様でなく、IPデータ伝送の性能評価を行う測定器の必要性が増してきている。

この性能評価に必要な各種試験機能を複数ポートで容易に実現できる測定器として、AE5511トラフィックテスター Proを開発した。

図1に、本器の外観と主な構成ユニットを示す。

2. 特 長

AE5511 はネットワーク機器を評価・検証するためのIPネットワーク試験器であり、下記のような特長を持つ。

(1) 多ポート対応

2Uの小型筐体、高密度実装で、最大32ポートの試験が可能。

(2) QoS 評価機能

QoS 別統計解析機能にて、優先制御の評価が可能。

(3) シーケンスチェック機能

パケットロス、最大バーストロス、パケット順序反転、パケット重複をリアルタイムに検出可能。

(4) マルチユーザ機能

1台のAE5511を、最大8人で共有可能。各ユーザは、ポート単位で占有することが可能。

(5) キャプチャ機能

各ポートにキャプチャメモリを搭載。エラーフレームやシーケンスチェックエラー、リンクアップ/ダウンなどを、トリガ条件としてキャプチャすることが可能。

(6) IPv6 エミュレーション機能

NDR(Neighbor Discovery Protocol)エミュレーション機能を搭載しており、IPv6ステートレスアドレス自動取得やPING6の自動応答にも対応。

(7) 複数フィールド可変機能

フレーム内4ヶ所を可変しながらの送信が可能。MAC(Media Access Control)アドレス、IP アドレ

ス、VLAN ID (Virtual LAN ID), QoSフィールド等の連動可変を実現し、実環境に近い評価が可能。

(8) アラームログ機能

受信レートの範囲外や、IFG(Interframe Gap)異常、パケット遅延異常等を条件としたアラームログを記録可能。アラーム発生時刻も記録されるため、帯域保証や帯域制限機能等の長時間検証が可能。

3. 構 成

AE5511にAE5523ユニットを搭載した場合のハードウェア構成を、図2に示す。

AE5511は、各種インタフェースに対応したユニット(表1)を、任意の組み合わせで最大2ユニット搭載可能である。

3.1 AE5511 アーキテクチャ

AE5511には、Linux OSで動作するCPUボードが搭載されており、各ユニットとはPCIバスを介して接続されている。リアルタイム測定機能は主に各ユニットのハードウェアで実現しており、測定ポートのトラフィックや統計処理が増大してもCPUにかかる負荷は変動せず、全測定ポートのフルワイヤレート試験でも、測定パフォーマンスや操作レスポンスの低下がない構成となっている。

3.2 ユニットアーキテクチャ

ユニットは、測定インタフェースの種別と測定ポート構成が異なるだけで、共通のアーキテクチャで構成されている。ユニットには、各測定ポート単位に独立した1つのPHY(物理レイヤインタフェースIC)と、送信/受信用に独立した2つのFPGA(Field Programmable Gate Array)を搭載している。そのため、フルワイヤレートにおいてもポート間の依存性がない機能・性能を実現している。送信制御用FPGA(TxFPGA)と受信制御用FPGA(RxFPGA)間は専用インタフェースが設けられており、

表1 ユニット一覧

ユニット名	インタフェース速度	測定ポート数	電気/光
AE5520	10 M/100 M bit/s	16	電気
AE5521	1 G bit/s	4(GBIC)	光
AE5522	10 G bit/s	2(XENPAK)	光
AE5523	10 M/100 M/1 G bit/s	12+1(SFP)	電気/光
AE5524	1 G bit/s	12(SFP)	光

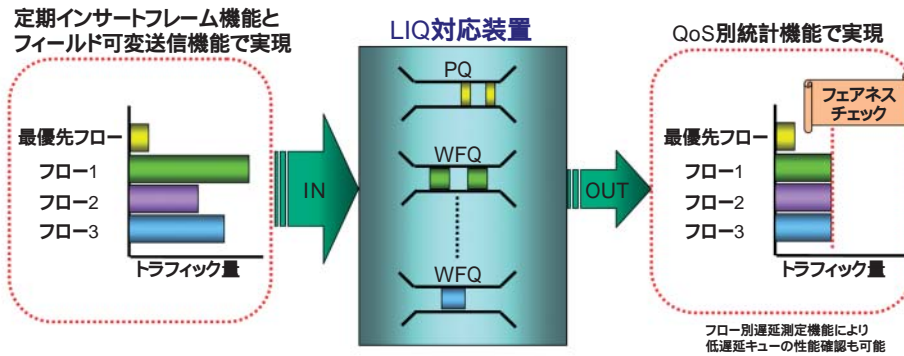


図3 LLQを用いた優先制御イメージ

PQは、他のトラフィックに対して絶対的な優先度を持つキューであり、廃棄や遅延が許されない音声データフローなどに割り付けられる。

一方、非優先フローは、WFQで各フロー均等に帯域を分けられる(図3)。

AE5511では、これら優先制御機能の確認を有効に行うための機能を実装している。

ハードウェアによるARP/NDP/PINGなどのネットワークエミュレーション機能の高速応答を実現している。なお、各測定ポートのFPGAは、全てソフトウェアに依る書き換えが可能となっており、機能の追加・拡張にも柔軟に対応できる構成となっている。

また、ユニットには1つの統計制御用Statis_FPGAが搭載されている。このFPGAがユニット内の全測定ポートの統計情報を、各測定ポートのTx/FPGAおよびRx/FPGAから高速にキャッシュし、その集計データを積算処理することによって統計値を一元管理している。

これにより、各測定ポートのFPGAの処理負担を抑え、小規模のFPGAを分散配置することにより、多ポートのインタフェースユニットにおいても、高いコストパフォーマンスを実現している。

4. 機能

この章では、数ある測定機能の中で、AE5523 1000BASE-Tユニット、AE5524 1000BASE-Xユニットで新たに取り入れた、QoS試験、高精度フルワイヤード測定定の各機能について紹介する。

4.1 QoS試験

データ・音声・映像のいわゆるトリプルプレーを実現するためのIPネットワーク機器は、これまでのベストエフォート型サービスの提供からポリシーに応じた優先制御を提供するQoS機能が求められるようになってきている。

QoS機能を搭載したネットワーク機器は、VLANタグのPriorityフィールド(CoS)値やDiffserveのDSCP(Diffserve Code Point)などによる明示的のサービスクラスの定義によって、サービス(トラフィック)を分類している。

分類されたこれらのトラフィックを優先度の異なるPQ(Priority Queuing), WFQ(Weighted Fair Queuing), 或いはPQとWFQを組み合わせたLLQ(Low Latency Queuing)などのキューに割り付けることにより、優先制御を行っている。

QoS機能の確認では、高プライオリティの低トラフィックと、低プライオリティの高トラフィックを多重してパケットを発生させ、輻輳時に高プライオリティのパケットが優先されて出力されていることを確認する。

先ず、送信側におけるプライオリティの異なるフローの多重送信機能は、通常トラフィックより優先して多重することのできるインサートフレーム機能で実現できる。

インサートフレーム機能では、最小1msの周期で定期的にフレームを送信させることができるため、音声データなどの最優先データフローを擬似的に生成することが可能である。

一方、非優先フローをフロー別に異なる送信レートで送信させるためには、フィールド可変送信機能のテーブル参照方式を用いて各フローの出現頻度をコントロールすることで対応できる。

次に、受信側では、受信フィルタで設定したフレームのみを測定するQoS別統計機能を、測定ポート毎に最大8ch実装している。

受信フィルタを、優先順位に対応した条件に設定することで、図4のように、トラフィック・レートおよび遅延時間(最大、最小、平均)をch毎に計測可能であり、WFQのフェアネスチェックやPQの遅延揺らぎを検証することができる。

UNIT1-PORT01		UNIT1-PORT01	
[CH1]フレーム数	29,125	[遅延]最大フレーム間ギャップ(μs)	1.0
[CH1]バイト数	22,782,167	[遅延]最小フレーム間ギャップ(μs)	0.9
[CH1]レート(%)	0.38246	[遅延]平均フレーム間ギャップ(μs)	1.0
[CH1]レート(frame/s)	599	[遅延]最大パケット遅延時間(μs)	0.2
[CH1]レート(bps)	3,728,776	[遅延]最小パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH2]フレーム数	29,125	[遅延]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH2]バイト数	22,779,532	[CH1]最大パケット遅延時間(μs)	0.2
[CH2]レート(%)	0.39026	[CH1]最小パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH2]レート(frame/s)	599	[CH1]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH2]レート(bps)	3,806,784	[CH2]最大パケット遅延時間(μs)	0.2
[CH3]フレーム数	29,125	[CH2]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH3]バイト数	22,781,138	[CH2]最小パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH3]レート(%)	0.39539	[CH3]最大パケット遅延時間(μs)	0.2
[CH3]レート(frame/s)	599	[CH3]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH3]レート(bps)	3,858,032	[CH3]最小パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH4]フレーム数	29,125	[CH4]最大パケット遅延時間(μs)	0.2
[CH4]バイト数	22,777,142	[CH4]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH4]レート(%)	0.39014	[CH4]最小パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH4]レート(frame/s)	599	[CH4]平均パケット遅延時間(μs)	0.1
[CH4]レート(bps)	3,805,608		

図4 QoS統計結果画面例

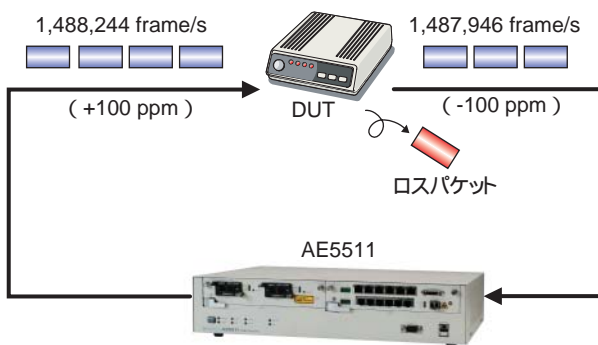


図5 周波数偏差によるパケットロス発生原理

4.2 高精度フルワイヤレート測定

近年のレイヤ3スイッチは、ハードウェア性能の飛躍的向上によって、10 Gbit/sの速度においてもフルワイヤレートの性能が発揮できるようになってきている。

イーサネットは各ノードが独立のクロックで動作する非同期システムであるため、フルワイヤレート試験では各ノード間のインタフェースクロックの違い(周波数偏差)が問題となってくる。

IEEE802.3では、インタフェースクロックの周波数偏差を最大 ± 100 ppmまで許容している。そのため、ギガビットイーサネットの場合、64 byte長フレームのフルワイヤ送信レートの理論値は1,488,095 (frame/s)となるが、周波数偏差を考慮すると、実際には1,487,946 ~ 1,488,244 (frame/s)のレート幅を持つことになる。

通常の使用条件下では、周波数偏差により、ネットワーク機器の出力インタフェースクロックが入力インタフェースクロックより高い場合にも、フレームバッファによって、ある程度のバーストに耐えられるようになっている。しかし、フルワイヤレートの試験環境下では、フルワイヤレート対応のIPネットワーク機器でもフレームバッファのオーバーフローが発生し、パケットロスが発生することになる(図5)。

AE5511では、周波数偏差によるパケットロスを回避して、確実にワイヤレート試験を行うことができるように、送信クロックの調整機能と受信クロックの精密測定機能を搭載している。

受信クロック測定では、リンクアップ時のアイドルデータや受信データから抽出されたクロックを1 ppm単位で測定することが可能であり、送信クロックは ± 100 ppmの範囲を、1 ppm単位で可変することを可能としている。

周波数偏差によるパケットロスの発生は、DUTの出力

インタフェースクロックがAE5511の出力インタフェースクロックよりも低い時に発生するため、周波数偏差による問題を回避してフルワイヤレートの試験を行うためには、AE5511の送信クロックを下げれば良いことになる。

AE5511の受信クロック測定機能によりDUTの出力インタフェースクロックを測定し、測定された周波数よりもAE5511の送信クロックを僅かに低くした状態にすることで、パケットロスを発生させない状態で厳密なフルワイヤレート試験が可能となる。

このように、厳密なフルワイヤレート試験環境を構築し、長時間の連続動作においてもパケットロスが発生しないことを確認するには、シーケンスチェック機能を用いると更に効果的である。シーケンスチェックを有効にすると、パケットの中にシーケンス番号を埋め込んで送信し、受信側ポートではシーケンス番号通りにパケットが到着しているかどうかを確認するため、リアルタイムにパケットロスやバーストロスを検出することが可能となる。

通常、フレームロスが発生していないことを確認するためには送信トラフィックを停止して送受信フレーム数を確認するが、シーケンスチェック機能を使うことにより、送信トラフィックを継続しながらリアルタイムにパケットロスを監視することが可能となり、長時間試験を効率的に行うことができる。

5. おわりに

IPネットワーク試験器、AE5511トラフィックテスターProを用いることで、IP通信機器、IPネットワークを有効に、効率的に評価できることを紹介した。

今後はAE5511トラフィックテスターProをプラットフォームとして、新規インタフェースユニットの追加や、新しいプロトコルへの対応を含めたシステム改良を適時行い、ユビキタス社会を実現するための次世代IPネットワークの進展に寄与していきたい。

参考文献

- (1) "IPネットの品質を確保する「QoS」のしくみ", 日経NETWORK, No. 41, 2003, p. 72-85
- (2) 石田修, 瀬戸康一郎, 10ギガビットEthernet教科書 改訂版, インプレス, 2005, 389p.

* イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標です。