

FEC 能力の新しい評価技術 —新勧告 ITU-T O.182 による測定規格—

By 古家 隆志
石部 和彦

TABLE OF CONTENTS;

1. はじめに
2. アナログ方式
3. デジタル方式
4. まとめ
5. 参考文献

FEC 能力の新しい評価技術 —新勧告 ITU-T O.182 による測定規格—

石部和彦、古家隆志

アンリツ株式会社 神奈川県厚木市恩名 5-1-1 243-8555

Kazuhiko.Ishibe@anritsu.com, Takashi.Furuya@anritsu.com

概要: OTN インターフェース試験装置に関する新勧告 ITU-T Rec. O.182 には、OTN 伝送装置の FEC (Forward Error Correction) 効果の試験方法が記述されています。この試験では、エラー発生間隔がポアソン分布に近似するランダムエラー発生器が必要となります。本ホワイトペーパーは、FEC 効果試験方法について分かり易く解説するとともに、幾つかのランダムエラー発生器を用いた場合の実験例を示しています。実験の結果、 χ^2 検定法に合格するポアソン分布特性をもつデジタル式ランダムエラー発生器を使うことにより、正確で再現性の良い FEC の性能(FEC Efficiency)評価が短時間でできることが明らかになりました。

1. はじめに

ITU-T G.709 Optical Transport Network(OTN)では、誤り訂正(FEC: Forward Error Correction)技術としてリードソロモン符号 RS(255,239)を採用しています。一般的にランダムなエラー(実回線で起こりうるエラー)の訂正にはブロック符号に分類される誤り訂正符号が用いられます。リードソロモン符号はブロック符号であるため、ランダムエラーを擬似的に発生させなければ、誤り訂正の性能と理論値曲線との比較など、FEC デコーダの性能を正確に評価することができません。図 1 の誤り訂正能力理論値曲線は、ランダムエラーの発生を条件に算出されています。

ランダムエラーを発生させるには、大きくわけて 2 種類の方法があります。一つは光減衰器を EUT(Entity Under Test)と ME(Measurement Equipment)の間に挿入して、S/N(Signal/Noise)比を可変するアナログ方式です。もう一つは、デジタル的にエラーを付加する方法です。ここでデジタル的にエラーを付加する場合、等間隔的にエラーを発生するような条件では、FEC の性能を正確に評価できません。そこで、ランダムにエラーを発生し、訂正可能・不可能状態を作り出すことが必要となります。ランダムエラーの誤り率は、長時間の区切りにおいて満たされます。ごく短時間における誤り率は設定値に対して変動することになります。これは実回線に近い状態であり、FEC の性能を評価するために適した条件となります。

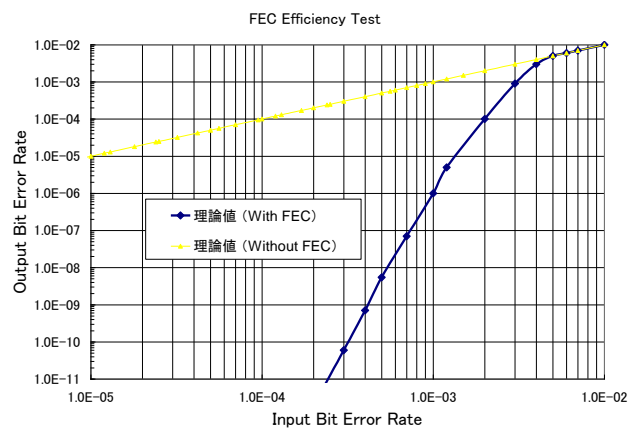


図 1 誤り訂正能力

2. アナログ方式

アナログ方式は、信号の S/N 比を光減数器で変えることにより、ランダムなエラー発生状態を作って評価する方法です(図 2)。このアナログ方式では、光減衰量の微調整により行うため、理論特性と一致した特性結果を得ることが非常に困難であり、再現性もよくありません。

評価方法は、図 2 のように機器を接続し、はじめに EUT の FEC を Off に設定しておきます。この状態で、光減衰器の減衰量を増やしていき所定の誤り率 (例えば: 2×10^{-2}) になるように光の減衰量を微調整します。次に、EUT の FEC を ON にして、EUT 出力の誤り率を測定します。ここで測定された誤り率が EUT によりエラー訂正能力になります。再度 EUT の FEC を OFF にし、光の減衰量をさらに増やして次の評価ポイントの誤り率 (例えば: 1×10^{-3}) に微調整します。再度 EUT の FEC を ON にして、EUT のエラー訂正能力を同様に評価します。このようにして評価した結果を図 3 に示します。

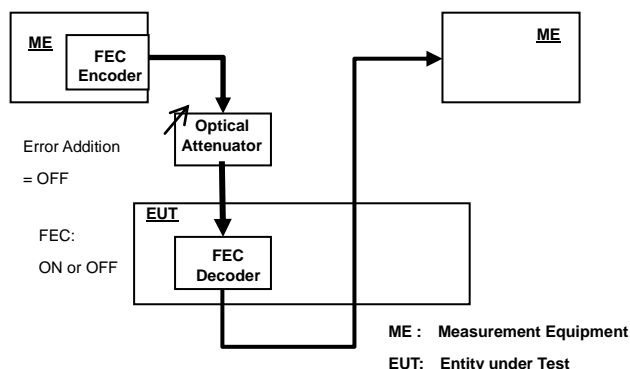


図 2 アナログ方式構成図

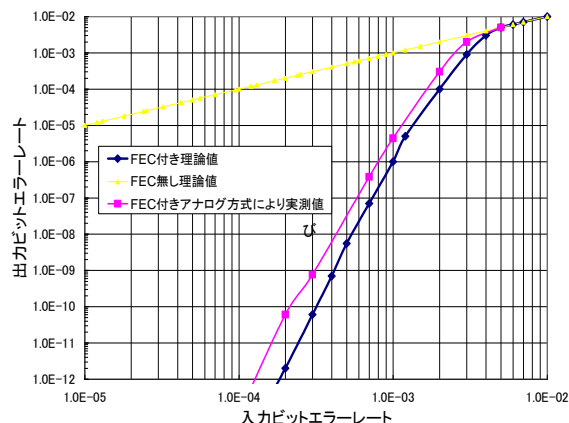


図 3 アナログ方式により FEC 能力評価

3. デジタル方式

デジタル方式は、ME よりエラー挿入間隔がポアソン分布になるように、エラーを挿入して評価する方法です。このデジタル方式の場合はアナログ方式と異なり、EUT の FEC を常に ON の状態で評価できます(図 4)。また、ランダムエラー発生器がポアソン分布特性をもつエラーを発生しているかどうかの検証が重要になります。ランダムエラー発生器のエラー分布特性を数値的に規定するために、 χ^2 検定という方法を用います。 χ^2 検定では、ランダムエラー発生器のランダムエラー分布特性とポアソン分布の理論特性を比較数値化します。

図 5 は全体的にランダムなエラー発生がされているように見えますが、ポアソン分布関数曲線と比較するとほとんど一致していないことがわかります。この例で χ^2 検定を行った場合、95%の確立で一致することを前提とした基準値 $\chi_{\alpha}^2 = 28.86$ に比べ、 χ^2 検定値 ($\chi^2 = 1,648.96$) は基準値に比べはるかに大きく、ポアソン分布関数曲線に一致しないランダムエラー発生器であることがわかります。このようなランダム性の悪い発生器をデジタル方式のエラー発生源として使用した場合、挿入する誤り率が低い部分で理論曲線と一致しなくなり、ある一定の誤り率で飽和する現象がみられることがあります(図7)。これは、誤り挿入がランダム性を保ってないために生じる現象です。

一方、図 6 はポアソン関数曲線と比較すると、ほとんど一致していることがわかります。この例で χ^2 検定を行った場合、 $\chi^2 = 18$ と基準値より小さく、ポアソン分布関する曲線に一致することがわかります。このようなデジタル方式のエラー発生器を使用した場合、理論曲線とほぼ一致する結果が得られます。

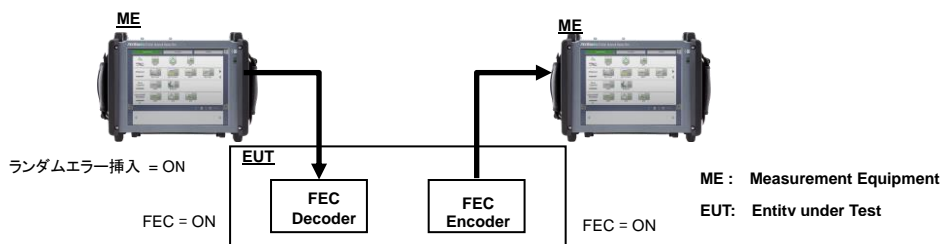


図 4 デジタル方式構成図

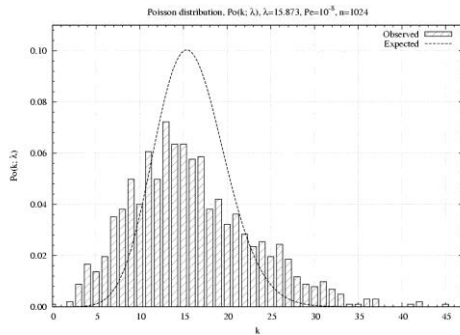


図 5 ランダムエラー発生器分布特性(悪い例)

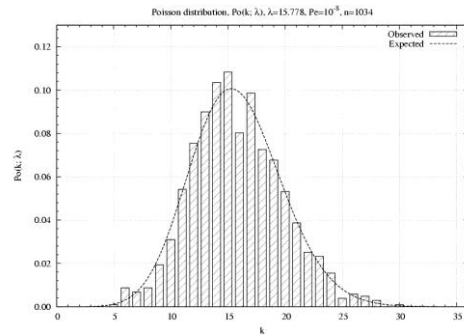


図 6 ランダムエラー発生器分布特性(良い例)

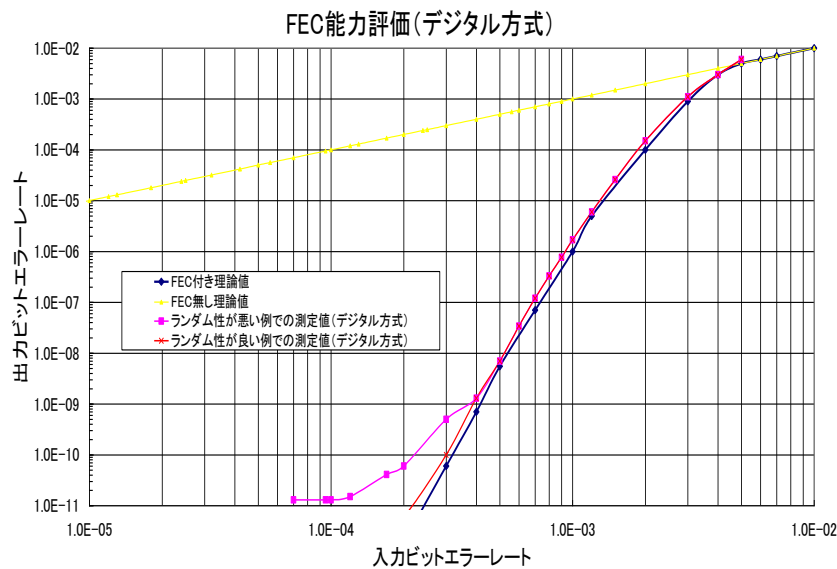


図 7 デジタル方式による FEC 能力テストの結果

4. まとめ

S/N 比を変えて評価するアナログ評価方式で FEC の性能評価した場合、測定再現性が得られない上に、手動操作による誤差を含む評価となるため、理論曲線との間にオフセットが生じてしまいます。この方式は EUT の FEC を毎回 ON/OFF および、光減衰量の微妙な調整が必要になります。

デジタル方式のランダムエラー発生器を使用すると短時間で正確な評価が可能となります。 χ^2 検定 (See ITU-T Rec. O.182 Annex I) により合格したポアソン分布特性を持つランダムエラー発生器を使用することで、測定器間のばらつきが無い正確な評価が可能となりました。FEC 評価用のランダムエラー挿入機能を持つトランスポートテスト、MT1000A と MT1100A は、ITU-T 勧告 O.182 に準拠した測定が可能です。

5. 参考文献

- [1] Paul G. Hoel, "Introduction to Mathematical Statistics," *John Wiley & Sons*, 1984.
- [2] George P. Wadsworth and Joseph G. Bryan, "Applications of Probability and Random Variables," *McGraw-Hill, Inc.*, 1974.
- [3] Harald Cramér, "Mathematical Methods of Statistics," Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1974.
- [4] Abramowitz and Stegun, "Handbook of Mathematical Functions," *National Bureau of Standards*, 1970.
- [5] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P.

- Flannery. "Numerical Recipes in C," *Cambridge University Press*, 1992.
- [6] ITU-T O.182 (05/07) EQUIPMENT TO ASSESS ERROR PERFORMANCE ON OPTICAL TRANSPORT NETWORK (OTN) INTERFACES
- [7] 黒田政廣、古家隆志 ホワイトペーパー FEC(Forward Error Correction)能力評価方法とポアソンエラー発生器の検証方法



お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

<http://www.anritsu.com>

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町 8-5	
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	
	ネットワークス営業本部	TEL 046-296-1205 FAX 046-225-8357
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-14-1	新宿グリーンタワービル
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
	ネットワークス営業本部	TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央 4-6-1	住友生命仙台中央ビル
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
	ネットワークス営業本部東北支店	TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅 3-20-1	サンシャイン名駅ビル
	計測器営業本部	TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-101	大同生命江坂ビル
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
	ネットワークス営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900 FAX 06-6338-3711
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町 1-10-19	日本生命光町ビル
	ネットワークス営業本部中国支店	TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田 1-8-28	ツインスクエア
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
	ネットワークス営業本部九州支店	TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1409



■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。