

可視光通信における実通信データを用いたバースト誤り評価

堂面 拓也
Takuya DOMEN

1 はじめに

データ通信における誤りは大別して、誤りが局所的に発生するバースト誤りと誤りがランダムに発生するランダム誤りの 2 種類がある。通信において誤りの傾向を知ることが、誤り訂正アルゴリズムの最適な選択を行うために重要なことである。バースト誤りの評価指標は先行研究でいくつか提案されているが、理論値の Signal to Noise Ratio (SNR) や Bit Error Rate (BER) を用いたシミュレーションベースがほとんどである¹⁾。また、可視光通信に関する研究の多くは、データをビット単位で送信している。ビット単位のバースト誤りに関する評価指標は、通信アルゴリズムの特徴を踏まえて提案されており、複数の通信アルゴリズムを同一指標で評価することは容易ではない²⁾。さらに、先行研究の多くは、評価手法として隠れマルコフモデル (HMM) を用いている^{1, 2)}。HMM は複数のパラメータを使用するため、パラメータ決定を最適に行うことは容易ではない。

以上の背景を踏まえ、本稿では、通信の実測データに基づいたビット単位のバースト誤り評価に関する指標を提案する。本稿が提案する指標は、二元マルコフモデルを用いて、連続した誤りビット列が生成される確率をランダム誤りと比較し、バースト性を評価する。本稿が使用するパラメータは、実通信データから割り出した BER のみである。異なる 2 種類の変調手法を用いて、照度変化によるデータ送信実験を実機にてそれぞれ行い、得られた実測データを基に、提案する評価指標にて 2 種類の変調手法の考察を行う。

2 実通信データに基づくバースト誤り評価指標

2.1 概要

バースト誤りは通信において誤りが局所的に分布する。一方、ランダム誤りは、通信において誤り分布が完全にランダムである。本稿では、実通信データから得られた BER を用いて、誤りが完全にランダムに発生する場合をシミュレーションによって算出し、実通信データの誤り分布と比較することで評価を行う。評価指標は、連続した誤りビットの長さ (CBEL : Consecutive Bit-Error Length) および連続誤りビット長別の発生頻度を用いる。CBEL は、誤りが連続で続いたときのビット数を示す。

2.2 ランダム誤りのモデル

本稿が提案する評価指標は、ランダム誤りと比較して行う。ランダム誤りは、実通信データから得られた BER を用いてシミュレーションにより算出する。ランダム誤りのシミュレーションは二元マルコフモデルに基づいて行う。

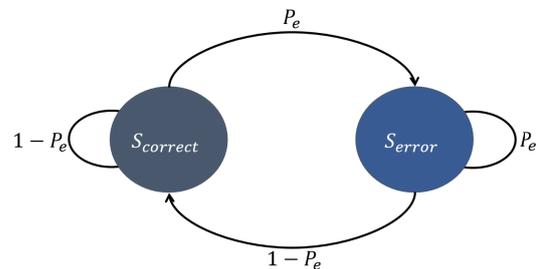


Fig.1 ランダム誤りの二元マルコフモデル



$$n_1 = 2 \quad n_3 = 2$$

Fig.2 連続誤りビット長

BER を P_e 、送信ビットが正しい状態を $S_{correct}$ 、送信ビットが誤っている状態を S_{error} とすると、二元マルコフモデルは Fig. 1 となる。Fig. 1 において、連続した誤りビット長 CBEL の平均 l_e は、式 1 により計算できる。

$$l_e = \sum_{i=1}^{\infty} i(1 - P_e)P_e^{i-1} \quad (1)$$

2.3 CBEL の発生頻度

連続誤りビット長 CBEL は、誤りが連続で続いた場合のビット数を示す。CBEL が m であるとき、 m ビット連続で誤った集団の個数を n_m とする。例えば、受信データおよびビットの正誤が図 2 であった場合、1 ビット連続で誤った集団の個数 n_1 は 2 となる。同様に、図 2 における 3 ビット連続で誤った集団の個数 n_3 は 2 となる。 $n_l (l = 1, \dots, i)$ の発生頻度 P_l は以下の式で計算できる。

$$P_l = \frac{n_l}{\sum_{k=1}^i n_k} \quad (2)$$

3 提案する評価指標を用いた誤り分布の解析

3.1 概要

異なる 2 種類の照度変化を用いたデータ変調手法の A 手法および B 手法を用いてデータ送信実験を実機にて行い、実通信データを取得した。A 手法は振幅のみによって変調し、B 手法は位相を用いて変調する。1 回の送信実験にて送信するデータは 800 ビットであり、3 回実験を行った。実通信データを解析した結果、変調に A 手法を用い

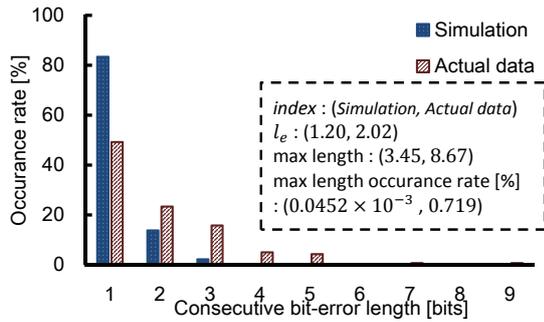


Fig.3 実験 A のシミュレーション結果および実測データの解析結果

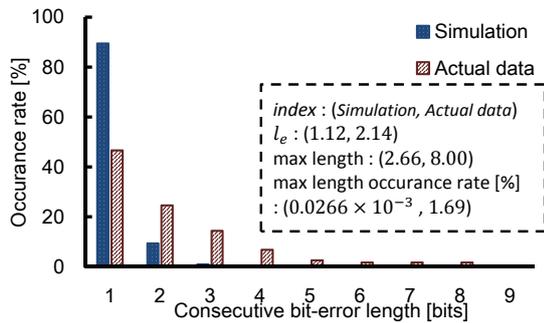


Fig.4 実験 B のシミュレーション結果および実測データの解析結果

た実験の BER は 16.6 %，変調に B 手法を用いた実験の BER は 10.5 % だった。

式 1, 2 および各実験の BER を用いて，誤りビットが完全にランダムに発生した場合と実通信データを比較する。なお，ランダムに誤りが発生した場合の数値はシミュレーションを 100000 回実行することによって算出する。

3.2 解析結果

変調に A 手法を用いた実験（実験 A）および変調に B 手法を用いた実験（実験 B）における，誤りビットがランダムに発生した場合のシミュレーション結果と実測データの解析結果をそれぞれ図 3, 4 に示す。なお，図 3, 4 の「max length」は，800 ビット中に発生した連続誤りビット長 CBEL の最大値の平均を示している。シミュレーションでは 800 ビット送信を 100000 回行った際の平均を示しており，実測データは 800 ビット送信を 3 回行った際の平均を示している。また，「max length occurrence rate」はシミュレーションと実測データにおける最大 CBEL の発生頻度を示す。図 3, 4 の縦軸は式 2 から算出した $n_i (i = 1, \dots, 9)$ の発生頻度を示し，横軸は誤りが CBEL を示す。

実験 1 の解析結果を示す図 3 から，誤りが完全にランダムに発生した場合の連続した誤りビット長 CBEL の平均

l_e は 1.20 bits，実測データの l_e は 2.02 bits であることが分かる。実測データの誤りビットが完全にランダムで発生していた場合，実測データの平均 CBEL はシミュレーション結果の 1.20 bits に近づく。しかし，図 3 に示すように，実測データの l_e は平均 CBEL の約 1.7 倍だった。すなわち，実測データの誤りビットは，誤りが完全にランダムで発生する場合よりも固まって発生していることが分かる。また，CBEL の最大値の平均を示す max length は，シミュレーションでは 3.45 bits，実測データは 8.67 bits となり，CBEL の最大値は約 2.5 倍となっている。すなわち，完全にランダムで誤りが発生する場合に比べ，実測データの誤りが連続的に発生していることを示す。さらに，CBEL の発生頻度を示す max length occurrence rate は，実測データの確率がシミュレーションの確率より 10^3 倍ほど大きい。すなわち，誤りが完全にランダムで発生する場合よりも 10^3 倍大きい確率で連続的な誤りが発生していたことを示す。

次に，実験 B の誤りの分布について考察する。図 4 から，実験 B の誤り分布は実験 A と同様の傾向が認められる。平均 CBEL を示す l_e ，CBEL の最大値の平均を示す max length，CBEL の発生頻度を示す max length occurrence rate はいずれもシミュレーションと比較して実測データの方が大きい数値を示している。すなわち，位相による変調を行う B 手法を用いた場合，振幅による変調を行う A 手法と同様に，誤りは完全にランダムで発生するのではなく，固まって発生すると結論できる。

4 まとめ

実通信データからビット単位のバースト誤りを評価する指標を提案した。提案手法は，ランダム誤りにおいて連続誤りビット長が発生する確率と，実通信データから解析した連続誤りビット長の発生頻度を比較することで評価する。異なる 2 種類の変調手法を用いた実通信データを提案手法によって解析した結果，両変調手法ともにバースト誤りが発生していることが分かった。解析結果から，両変調手法ともにバースト誤りに対応した誤り訂正を行う必要がある。

今後は，照度変化を用いたデータ送信に耐バースト性の誤り訂正アルゴリズムを組み込み，実用的なデータ送信を実現する予定である。さらに，データ送信時のオーバーヘッドや送信時のインタラプトに対応したモジュールを開発し，照度変化を用いたデータ送信を活用したアプリケーションを構築する。

参考文献

- 1) J.Garcia-Frias and P.M.Crespo, "Hidden Markov models for burst error characterization in indoor radio channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.46, No.4, pp.1006–1020, Nov. 1997.
- 2) C.C. Chao and Y.L Yao, "Hidden Markov models for the burst error statistics of Viterbi decoding," *Communications IEEE Transactions on*, vol.44, No.12 pp.1620–1622, Dec. 1996.