

相対エントロピーを使用した CBR 度評価関数

榎本 正†
 Tadashi Enomoto

1. まえがき

通信品質の評価として, CBR(Constant Bit Rate)の程度は重要である.特に動画配信などでは,平均ビットレートは一定であっても,時間の粒度を小さくするとビットレートの変動が大きく,待ち行列のモデルから予想されるようにパケットロスが増加することが多い.しかし, CBR 度を評価する関数は使われていないのが現状である.^[1]

本稿では,まずクロックジッタの指標として広く使用されている標準偏差/平均を CBR 度の評価に適用した時の問題について考察し,次に相対エントロピーを使用した CBR 度評価関数 CBRI を提案する.最後に実トラヒックと作成トラヒックデータを使用して,その評価をおこなう.

2. 標準偏差/平均で CBR 度評価時の問題

まずパケットデータ発生源出力のパケット毎のビットレートを定義する. i 番目のパケットのパケット長を L_i , 到着時刻を T_i とし,到着時間間隔 $\Delta T_i = (T_i - T_{i-1})$ を使ってパケット毎のビットレート BR_i を $L_i / \Delta T_i$ で定義する.

ハードウェアのクロックジッタの評価に標準偏差/平均が利用されていることから類推して,パケット毎のビットレートの標準偏差/平均を使えば CBR 度を評価できると考えられるが,実際はデータの発生頻度の問題があり適切な値が得られない.たとえば, L_i が一定ならば,ある BR_i の測定データの発生頻度は ΔT_i に反比例するので BR_i に比例して増加する.このため,大きな BR_i 値の発生頻度が多くなりサンプルが偏るので,標準偏差/平均の値はビットレートの変動を適切に反映しなくなる.

3. CBR 度評価関数

CBR 度評価関数 CBRI を提案する. CBR 度評価関数 CBRI は,その値が「複数のパケット $\{P_i\}$ が到着するとき測定したパケット長の系列 $\{L_i\}$ と到着時刻の系列 $\{T_i\}$ から算出される $\{BR_i\}$ の系列が CBR からどの程度ずれているかを示す」関数である. CBRI のパラメータとしては L_i と T_i が考えられるが,ネットワークを経由したときの CBRI の値の変化に焦点をあてると L_i は変化しないので,以下 $\{L_i\}$ は与えられた条件とし到着時刻の系列 $\{T_i\}$ をパラメータと考える.

3.1 要求条件

CBR 度評価関数に要求される条件は以下のとおり.
 (条件 1) ビットレートが一定のときに限り極大値をとる
 (条件 2) (T_1, \dots, T_i, \dots) に関して上または下に凸な関数である

また,次のような性質を持つことが望ましい.

(条件 3) ビットレートが一定のとき一定の最大値をとる
 (条件 4) 値が次元をもたない,すなわち L_i あるいは T_i の単位のとり方を変えても値は変わらない

3.2 評価関数の検討

まず(条件 1)から「 $\partial CBRI / \partial T_i = 0$ for all $i \Leftrightarrow BR_i$ は一定」が成り立たないといけないので, $\sum \int BR_i dT_i$ を計算すると $f = \sum L_i \ln(\Delta T_i)$ が得られる. $\partial f / \partial T_i = \sum (BR_i - BR_{i+1})$ となって要求条件(1)をみたす'自然'な関数であることがわかる.次に,定数 A, B を導入して $CBRI = A * \sum L_i \ln(\Delta T_i) + B$ とし,(条件 3)と(条件 4)を満たすように A, B を L_i と ΔT_i を使って構成すると,次の(式)が得られる.

$$CBRI = - \sum (L_i / \sum L_k) * \ln((L_i / \sum L_k) / (\Delta T_i / \sum \Delta T_k)) \quad (式)$$

また(条件 2)は $\{T_i\}$ と $\{U_i\}$ を到着時刻の系列として $CBRI(\alpha T_i + (1-\alpha) U_i) > \alpha CBRI(T_i) + (1-\alpha) CBRI(U_i)$ [$0 < \alpha < 1$] を意味するが,計算により確認できる.

3.3 評価関数の考察

(式)は2つの確率変数の相対エントロピーの算出式と類似の形をしている.そこで, $\{L_i\}$ と $\sum \Delta T_k$ が与えられたとして $\{\Delta T_i / \sum \Delta T_k\}$ をパケット i がネットワークを使用する時間の確率分布とみなすと, $\{L_i / \sum L_k\}$ は CBR のときの $\{\Delta T_i / \sum \Delta T_k\}$ の確率分布であり, $\{\Delta T_i / \sum \Delta T_k\}$ は実際に測定された確立分布であるとみなすことができる.従って,関数 CBRI は CBR のときの $\{\Delta T_i / \sum \Delta T_k\}$ と実際に測定された $\{\Delta T_i / \sum \Delta T_k\}$ の相対エントロピーを符号反転した値である.相対エントロピーは2つの確率変数の“違い”を示す指標として広く使用されているので, CBR 度を示す指標として有効と考えられる.

なお,関連研究としては,エントロピーを異常トラヒック検出に使用する研究がある.例えば^[2].

4. 評価

—標準偏差/平均 (以下単に標準偏差/平均と記す) と CBRI を比較評価した.

4.1 評価データ

以下の2分類の5種類のトラヒックデータを使用した.
 (1) DV 転送アプリケーション出力の tcpdump 出力データ. 2種類の OS を使用した.
 (2) 計算で作成したトラヒック
 CBR トラヒック, ON-OFF トラヒック, および ON-OFF' トラヒック (オフ期間にもオン期間と同じ時間間隔で L_i の小さなパケットが到着する)

† NEC 通信システム

それぞれのパケット毎のビットレート BR_i を図1から図3に示す。横軸は到着時刻(msec)であり縦軸はMbpsである。

図3から ON-OFF トラフィックでは OFF 期間には測定サンプル数は0であり,ON 期間の最初のパケットのビットレートが非常に小さいことがわかる。

4.2 計算結果

図4に計算結果を示す。横軸は評価データの種類であり,グラフはCBRIと(標準偏差/平均)の計算値を示す。

4.3 考察

まず,標準偏差/平均法の問題点を考察する。図4に示す ON-OFF トラフィックと ON-OFF' トラフィックの標準偏差/平均の値をみると, ON-OFF トラフィックの値は大きく ON-OFF' トラフィックの値は小さい。これは,ON-OFF トラフィックでは小さな BR_i 値が ON 期間の最初の1つだけであり(図3),残りの大多数の値は ON 期間の大きな BR_i 値であるので,平均が ON 期間の大きな値に近い。このため,標準偏差は小さくなる。ON-OFF' トラフィックでは OFF 期間にも ON 期間と同じ頻度で小さな値が観測されるため,平均は ON 期間の大きな値の半分となり標準偏差は大きくなる。

同じ理由で,図1の OS-A トラフィックはバースト性が高いので CBR 度は低く,図2の OS-B トラフィックはバースト性が低いので CBR 度は高いと想定されるが,標準偏差/平均の大小関係は逆になっている。

以上から標準偏差/平均法の問題点の原因が確認できた。

次に,評価関数 CBRI の値を考察する。

2つの評価関数の値の特徴を表1に示す。CBRI の値は標準偏差/平均法がもつ問題もなく,OS-A のトラフィックが ON-OFF トラフィックに近く OS-B のトラフィックが CBR に近いという特徴をよくあらわしていることがわかる。

以上の結果から評価関数 CBRI が望ましい特徴をもっていることがわかった。

表1. 評価関数の値の特徴

トラフィック	標準偏差/平均	評価関数 CBRI
OS-A	ON-OFF と近い	ON-OFF とほぼ同じ
OS-B	非常に小さい	CBR に近い
CBR	0	0
ON-OFF	CBR に近い	CBR とは明確に異なる
ON-OFF'	OS-A と近い	ON-OFF とほぼ同じ

5. おわりに

標準偏差/平均を CBR 度の評価に適用する時の問題について考察し,データにより確認した。次に相対エントロピーを使用した CBR 度評価関数 CBRI を提案した。最後に,評価を行い,評価関数 CBRI が優れていることを確認した。

参考文献

- [1] IETF ippm ワーキンググループ RFC およびドラフト <http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html>
- [2] Yu Gu, Andrew McCallum, and Don Towsley, Detecting Anomalies in Network Traffic Using Maximum Entropy Estimation, Internet Measurement Conference 2005

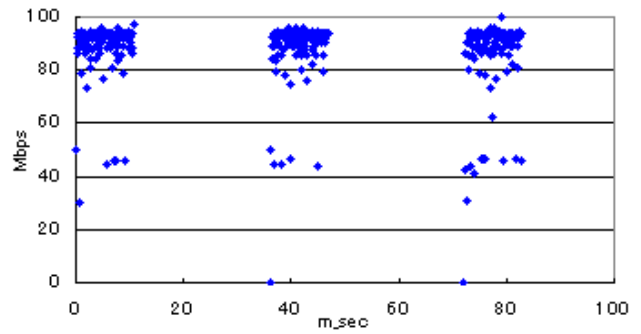


図1 パケット毎ビットレート (OS-A)

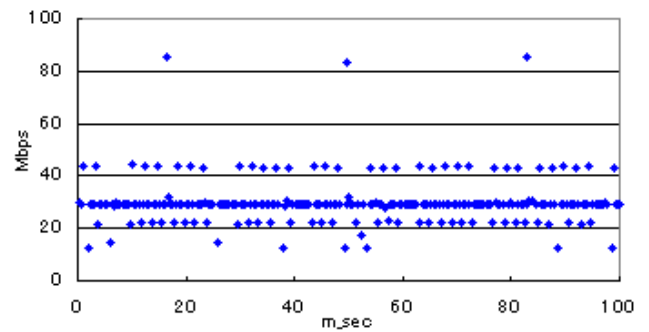


図2 パケット毎ビットレート (OS-B)

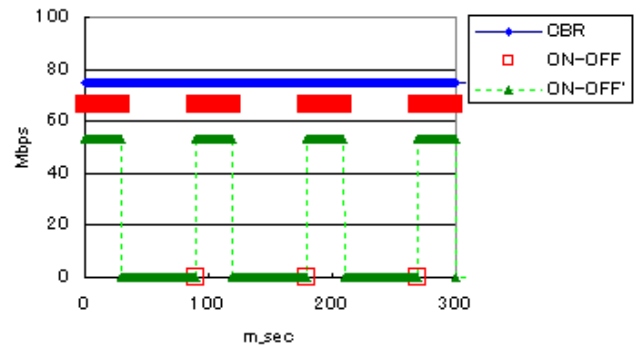


図3 パケット毎ビットレート (その他)

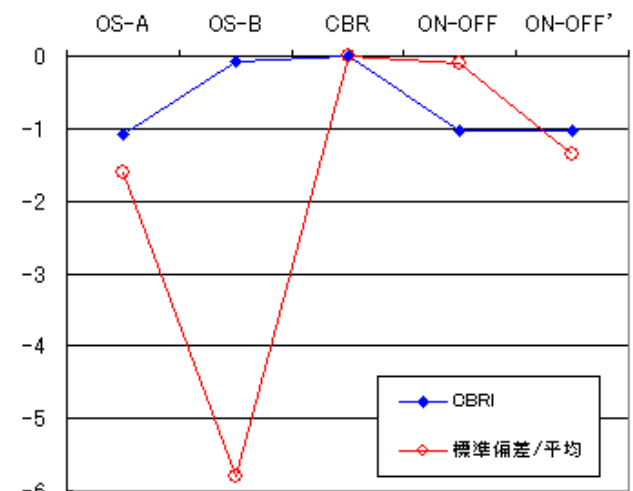


図4 計算結果