

ライブ映像配信システムにおける映像フレームの送信時刻推定法

A Sending Time Estimation Method of Video Frames on Live Video Streaming Systems

二瓶 浩一
Koichi Nihei

大芝 崇
Takashi Oshiba

里田 浩三
Kozo Satoda

吉田 裕志
Hiroshi Yoshida

NEC クラウドシステム研究所
Cloud System Research Laboratories, NEC Corporation

1 はじめに

近年のモバイルネットワークの通信速度向上はめざましく、LTE (Long Term Evolution) でキャリア・アグリゲーションを使用した場合の最大通信速度は、200 Mbps を超える。しかしながら、実際の通信速度（以下、可用帯域）は混雑状況や無線環境によって大きく異なるため、可用帯域を把握することへのニーズが高まっている。

可用帯域を推定する方式として、パケットトレイン方式が提案されている。文献 [1] は、等間隔でサイズを徐々に大きくしたパケット列を送信し、受信間隔（遅延）が増加し始めるパケットサイズから可用帯域を推定する方式を提案している。

2 従来技術の課題と解決アプローチ

パケットトレイン方式は、パケットトレイン送信中にクロストラフィックの送信レートが変化すると推定精度が低下する課題がある。例えば、パケットトレイン送信中の時刻 T_a に他のアプリケーションがデータ送信を開始した場合、時刻 T_a 以降に送信したパケットの遅延が増加する。前述のようにパケットトレイン方式は遅延が増加し始めるパケットサイズをもとに推定値を算出するため、推定値はアプリケーションがデータ送信を開始するタイミングに依存して変化することになる。

送信レートの変化が頻繁に発生する例として、ライブ映像配信が挙げられる。ライブ映像配信では、1 フレームの映像データを送信し、次のフレームまで待機する動作が数十ミリ秒周期で繰り返される。

ライブ映像配信中の可用帯域推定の精度を向上させるためには、映像フレームの送信時刻に応じてパケットトレインの送信タイミングを調整することが有効であると考えられる。しかしながら、一般的なライブ映像配信システムは、フレーム送信時刻を通知する機能を持たない。そこで本稿では、ライブ映像配信時の可用帯域推定の精度向上に向けて、映像フレームの送信時刻を推定する方式を提案する。

3 提案方式

提案方式は、一定周期でプローブパケットを送信し、遅延が増加し始める時刻と遅延増加の周期から、映像フレームの送信時刻を推定する方式であり、以下の 6 ステップで構成される。(1) 送信端末から受信端末へ周期 I_p [s] でプローブパケットを送信する。このとき i 番目のプローブパケット p_i には、送信端末の送信時刻 s_i を格納する。(2) 受信端末は p_i を時刻 r_i に受信すると、遅延時間 $d_i = r_i - s_i$ を算出する。(3) $\{d_i\}$ に対して、自己相関関数を求める。(4) 自己相関関数値が極大となるラグの最小値を l_I としたとき、 $l_I I_p$ を映像フレームの送信間隔の推定値 I_v [s] とする。(5) d_i が最大となったプローブパケットを p_m としたとき、条件 ($i < m$, $d_i < d_{i+1}$, $d_{i-1} \geq d_i$) を満たす最大の i を求め、 s_i を遅延増加開始時刻 T_s [s] とする。(6) $T_s + jI_v$ (j は整数) を映像フレームの送信時刻の推定値 T_v [s] として出力する。

4 評価

送信端末と受信端末を 2 台のルータを介して接続した構成（図 1）で提案方式を評価した。ルータ 1 とルータ 2 の間のリンクが最も低速（10 Mbps）となっている。映像ストリームおよびプローブパケットを送信端末から受信端末へ送信した。映像ストリームは、フレームレート 30 fps、ビットレート 5 Mbps を想定し、送信周期 0.033 s、1 周期に送信するパケットはペイロード長 1,328 バイトの UDP パケット 15 個とした。1,328 バイトは、MPEG-2 TS パケットを 7 個格納した RTP パケット長である。また、プローブパケットの送信周期 I_p は 0.001 s とした。

図 2 は、プローブパケットの遅延時間 d_i の変動を表すグラフである。横軸は送信時刻 s_i であり、映像フレームの送信開始時刻を 0 とした。すなわち、 f (≥ 0) 番目の映像フレーム送信時刻は $0.033f$ [s]（式 1）となる（図中の ▲ 印）。縦軸は遅延時間 d_i であり、 $d_0 = 0$ とした場合の相対値である。図 3 は図 2 における d_i の自己相関関数である。図 3 からアルゴリズムのステップ (4) における l_I は 33 となり、 $I_p = 0.001$ s であることから、 $I_v = 0.033$ s となる。また、図 2 において d_i が最大となるプローブパケット p_m は時刻 1.191 s に送信したものであり、(5) の条件から $T_s = 1.188$ となる。この結果から、映像フレームの送信時刻の推定値は $T_v = 1.188 + 0.033j$ [s] となる。ここで、 $1.188 = 0.033 \times 36$ であるので、 $j = k - 36$ とすると $T_v = 0.033k$ となり、これは式 1 と一致することから、正しく推定できているといえる。

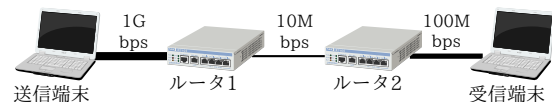


図 1 評価環境

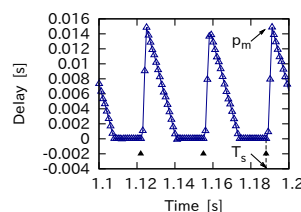


図 2 プローブの遅延

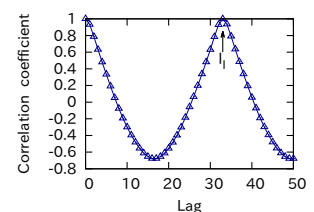


図 3 自己相関関数

5 まとめ

本稿では、プローブパケットを用いて映像フレームの送信時刻を推定する方式を提案した。今後は、推定結果をもとにパケットトレインの送信タイミングを制御し、可用帯域の推定精度を検証する計画である。

参考文献

- [1] 大芝他, “リアルタイムコミュニケーションの品質を確保するための短時間可用帯域推定方式,” 情報処理学会論文誌, vol.53, no.2, pp.698–711, Feb. 2012.