

ネットワーク変動に対してロバストな可用帯域推定方式

Robust Available Bandwidth Estimation Technique Against Network Condition Variation

沢辺 亜南*
Anan Sawabe

大芝 崇*
Takashi Oshiba

金友 大*
Dai Kanetomo

里田 浩三*
Kozo Satoda

* 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、急速にスマートフォンが普及しており、主要なインターネットへの接続手段はモバイル網(LTE)である。しかし、モバイル網はベストエフォートネットワークのため、ユーザのサービス選択のために通信品質の把握が必要とされている。通信品質の指標の一つとして、エンドツーエンドの空き帯域(可用帯域)がある。従来の可用帯域推定手法の多くは有線網を前提に設計されているため、モバイル網のような変動の大きなネットワークでは推定精度が劣化し、推定値にばらつきが生じるなど、可用帯域の正確な把握が課題であった。そこで本研究では、推定精度を向上しつつ推定値のばらつきを抑える可用帯域推定方式を提案する。

2. 従来方式とモバイル網における課題

従来方式として、短い推定時間と少ないネットワーク負荷での可用帯域推定を特長とする PathQuick [1]がある。PathQuick は複数パケットから構成されるパケットトレイン方式で推定を行う。サイズが線形に大きくなるパケットを等間隔で送信し、パケットごとの送信レートを増大させる。送信レートが可用帯域を超過するとボトルネックルータでキューイング遅延が発生することを利用して、受信端末で受信間隔が延び始めるパケット番号を特定し、そのパケットサイズを送信間隔で除算した値を推定値とする。

i 番目のパケットの送信時刻を $S(i)$ 、受信時刻を $R(i)$ とすると、キューイング遅延 $Q(i)$ は(1)式となる。

$$Q(i) = \{R(i) - R(1)\} - \{S(i) - S(1)\} \quad (1)$$

有線網とは異なり LTE では、(1)式にキューイングによる遅延だけではなく、無線レベル(MAC 層)の伝送誤りが発生した場合の再送(HARQ)による遅延も含まれる。その場合、再送は推定パケットの送信レートが可用帯域を超過せずとも遅延を急増させる。また、伝送誤りはランダムに発生するため、再送遅延もランダムに発生する。そのため、従来方式ではランダムに生じる HARQ により遅延したパケットを、可用帯域を超過したパケットとして誤認識するため、推定結果にばらつきが生じ、推定精度が劣化する。したがって、受信間隔を乱す HARQ は可用帯域推定における外乱となる。図 1(b)を用いて HARQ 発生時の具体的な挙動を説明する。32 番パケットの伝送誤りにより再送遅延が生じ、72 番パケットの到着後に 32 番パケットの再送が成功する。33 番から 72 番パケットは順序制御のため受信端末の MAC 層でバッファリングされる。33 番から 72 番パケットは、32 番パケットの再送成功時に受信処理されるため、アプリケーションレベルでは、32 番から 72 番パケットの受信時刻は同時刻となる。したがって、再送発生時は可用帯域を超過し始めたパケットを 32 番と誤認識するため、従来方式では推定精度が劣化する。

3. 提案方式

本稿では再送遅延の影響を排除する新たな推定値算出方式を提案する。送信トレインは PathQuick と同じトレイン構造を用いる。推定パケットの送信レートが可用帯域を超過する区間を「飽和区間」と定義し、飽和区間内の「受信スループット」を推定値とする。

まず、送信トレインのパケット数を 108 個とした時の、商用 LTE 網で観測したキューイング遅延である図 1(a)を用いて、

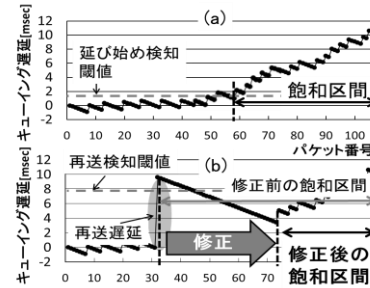


図 1 提案方式の概要

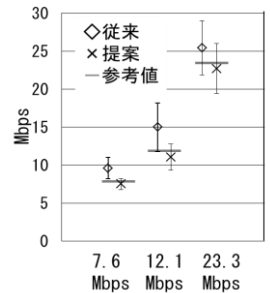


図 2 実験結果

飽和区間の決定方法を説明する。キューイング遅延が延び始めるパケットを飽和区間の始点、トレインの末尾パケットを終点とする。LTE のフレーム送信間隔の 1 ms を閾値とし、閾値を超える最後のパケット(57 番)を始点とする。したがって、57 番から 108 番パケットまでの受信スループットが推定値となる。

次に、再送遅延の影響を排除するための飽和区間の始点の変更方法を説明する。図 1(b)では、まず HARQ により遅延した 32 番パケットが飽和区間の始点に選択されるが、前述の通り、このままでは推定精度が劣化する。予備実験の結果、飽和区間の始点を、送信レートが可用帯域を超過するどのパケット(73 番以降)に変更しても、推定値はほぼ一定であった。そこで、この結果を利用して、再送遅延の影響を排除するために始点を変更する。具体的には、再送遅延を検知する閾値(再送周期である 8 ms)を設け、閾値を超えた場合、HARQ の影響を受けていないパケット(73 番目)に始点を変更する。従来方式では、パケット番号という「点」で推定値を算出するため、可用帯域を超過したパケットの誤認識は推定値のばらつきに直結する。一方、提案方式では、再送遅延の影響を排除した後の受信スループットがほぼ一定となる「区間」で推定値を算出するため、推定精度のばらつきを抑制できる。

4. 商用 LTE 網での実験結果

商用 LTE 網の下り通信での実験結果を図 2 に示す。受信端末は Android 端末を用いており、PathQuick を従来方式としている。商用 LTE 網での可用帯域の真値は不明なため、参考値として RBB SPEED TEST アプリの計測値を用いる。都内の 3 地点(参考値は 7.6 Mbps, 12.3 Mbps, 23.3 Mbps)において、それぞれ 25 回推定した結果であり、凡例は平均推定値を、エラーバーは 95%信頼区間を示す。どの地点においても、提案方式は従来方式より平均推定値が参考値に近く、ばらつきが小さい。例えば、参考値が 7.6 Mbps の場合、従来方式の平均推定値は 9.6 Mbps、提案方式は 7.5 Mbps となり推定精度が向上している。95%信頼区間は、従来方式は平均値に対して ± 1.4 Mbps、提案方式は ± 0.7 Mbps となり、ばらつきが抑えられている。よって、再送による外乱が生じる LTE 網においても、推定精度を向上しつつ、ばらつきを抑えられることを確認できた。

参考文献

- [1] 大芝 崇, 中島一彰, “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, 2012.