

無線 LAN 通信における TCP パラメータの一解析

松井 愛子[†]

豊田 真智子[†]

小口 正人[†]

[†] お茶の水女子大学 理学部情報科学科

1. はじめに

近年、無線通信に対する需要がますます高まり、更なるスループットの増大が切望されている。しかし無線通信は有線通信と比べ、帯域が狭いだけでなく、通信効率が著しく低い。その原因として、無線環境においてはノイズ等によるエラー発生頻度が高いことに加えて、有線環境用に開発された TCP プロトコルが無線環境で効率よく機能していない可能性が考えられる。これまで有線環境においては、通信時の TCP プロトコルの振舞を解析し、TCP パラメータを独自に制御することによって通信効率を上げる研究が行われてきた [1]。そこで本研究では、無線通信においてその手法を応用する方法を検討する。

2. 無線通信における TCP プロトコルの研究

現在までに、無線通信における TCP プロトコルの研究は盛んに行われてきた [2]。しかしその多くは、スループットやレスポンスタイムの測定など、システム外部からの観察に留まっている。また無線環境に特化した TCP を構築する試みも見られる。それに対し本研究では、既存 OS のカーネル内部の TCP 実装で管理されている TCP パラメータの値を可視化し、そのデータを用いて議論を進める。

3. 研究内容

本研究ではまず、無線通信時の TCP パラメータを可視化する。そして、同一条件において、有線通信時・無線通信時の TCP パラメータの振舞を比較・解析することで無線独自の問題点を発見し、無線環境で効率よく通信できるよう TCP パラメータを制御する手法を検討する。

4. TCP パラメータの可視化

4.1 可視化の実現方法

カーネル内部の TCP ソースファイルにモニタ関数を挿入し、再コンパイルしてカーネルを再構築する。その結果、TCP による通信時にパラメータの値がカーネルのメモリ空間に保存され、カーネル外部からそれらの値が確認可能となる。また、モニタしたパラメータを X11

Window システムのライブラリ関数を利用し、リアルタイムにグラフ表示する。TCP パラメータの可視化手法の概念図を図 1 に示す。

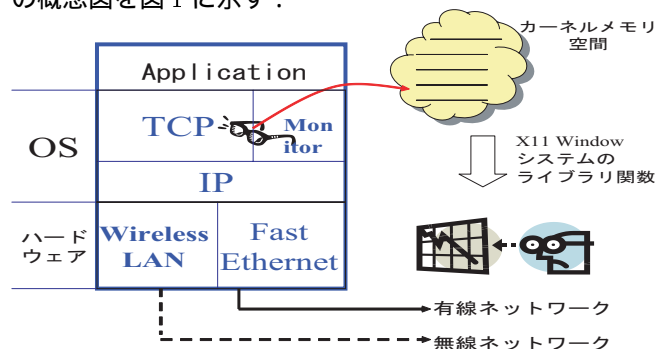


図 1: TCP パラメータの可視化手法の概念図

4.2 モニタ可能な値

上記の方法により、以下の 6 つのパラメータの値をモニタ可能な環境を構築した。

- ・輻輳ウィンドウの値
- ・スロースタート閾値
- ・次に受け取る予定のバイト番号
- ・次に送る予定のバイト番号
- ・確認応答されていない最も古いパケット
- ・TCP 再送タイマのタイムアウト時間

本研究では、上記の 6 つの値のうち、主に輻輳ウィンドウに注目して議論を進める。

5. 輻輳ウィンドウ

TCP では、輻輳制御において輻輳ウィンドウという概念を用いている。Linux OS の TCP 実装は状態機械として実装される。パケット送受信における処理は、その状態によって変化する。

輻輳ウィンドウとはネットワークの輻輳制御を目的としてデータ送信側が自主的に制限するためのパラメータで、受信側からの確認応答パケット (=ACK) 無しに連続送信できる最大のパケット数を表す TCP パラメータと言うこともできる。正常な通信時には確認応答を 1 つ受信するごとに 1 つずつ増加し、エラーが起これば急激に減少する。エラーには

- ・送信側デバイスドライバのバッファが溢れることによる Local Congestion エラー (CWR)
- ・重複 ACK, SACK を受信 (Recovery)

Analysis of TCP parameters
in a wireless network environment

[†] Aiko Matsui, Machiko Toyoda, Masato Oguchi
Department of Information Sciences,
Ochanomizu University

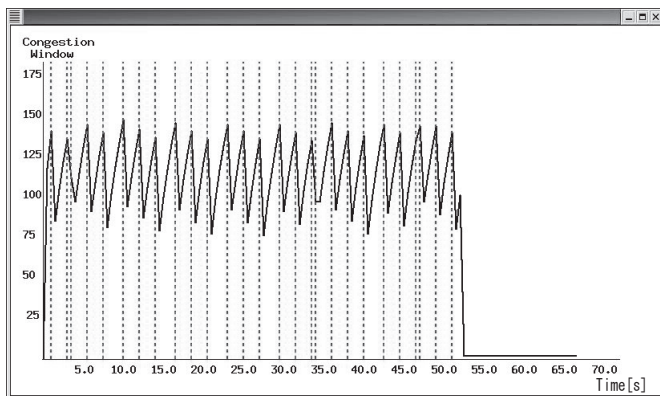


図 2: 有線 LAN 通信時の輻輳ウィンドウ個数の遷移

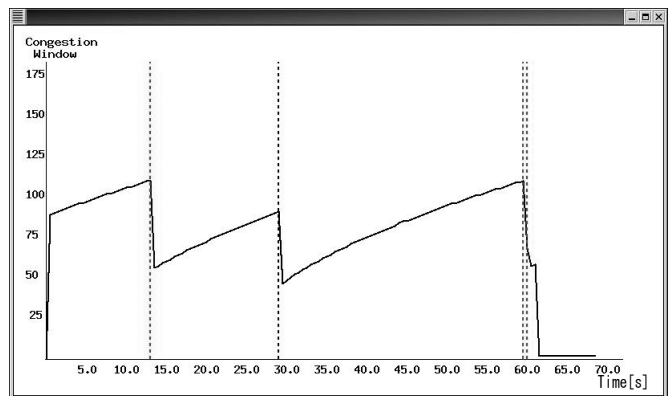


図 3: 無線 LAN 通信時の輻輳ウィンドウ個数の遷移

・タイムアウトを検出 (Loss)

の 3 つがある．これらのエラーが起きて輻輳ウィンドウが急激に減少した後，回復と判断されると再度正常な状態に遷移し増加を始める．単位時間あたりに受信する確認応答の個数によって差はあるものの，輻輳ウィンドウの減少時に比べると緩やかに増加していくため，TCP 輻輳ウィンドウ制御において，輻輳ウィンドウの時間変化はのこぎり型となる．また，Linux の TCP 実装では，通信中にひとたび設定された輻輳ウィンドウは，その値を使い切らない限りは変化せず，その間のスループットはほぼ一定の値で安定する，ということが分かっている．

6. 実験結果と考察

実験システムとして，2 台の PC を Fast Ethernet 有線 LAN と IEEE802.11b 無線 LAN で接続したものをを用いた．各マシンのスペックは，CPU が Pentium III 800MHz，メインメモリが 640MB，OS が Linux 2.4.18-3 である．データ送信，スループットの測定には netperf を用いた [3]．スループットは有線 LAN 通信時には平均 93～94Mbps/sec，無線 LAN 通信時には平均 3～4Mbps/sec 程度の値が出ている．有線 LAN 通信時および無線 LAN 通信時のデータ送信側の輻輳ウィンドウの時間変化をそれぞれ図 2 と図 3 に示す．

図に示されている縦の点線は，上記の Local Congestion エラーを検出したことを表している．

実験結果より，有線 LAN では短い周期の鋸状の波形となり，無線 LAN では長い周期の鋸状の波形となることがわかった．これは無線 LAN の時間単位あたりの送信パケット数が有線 LAN と比較して少ないためであると考えられる．この結果より，無線 LAN においては，ひとたび輻輳ウィンドウの値が減少してしまうと元の値に戻るまでに長い時間がかかり，その間通信効率が大幅に低くなることがわかる．従って Local Congestion エラー

が起きない程度の高い値に輻輳ウィンドウを保つことが，無線環境で効率よく通信を行うためには重要であると考えられる．

7. まとめと今後の課題

本研究では，有線・無線通信時における TCP パラメータ（主に輻輳ウィンドウ）の可視化を行った．同一条件において有線通信・無線通信を行い，TCP パラメータの振舞を比較し，その差異を明らかにしようとした．その結果，無線 LAN 通信は有線 LAN 通信に比べ，ひとたび輻輳ウィンドウの値が減少すると再び元の値に戻るまでに長い時間がかかることが分かった．

今後は，輻輳ウィンドウの制御を行い，今回得た推論を検証することを目指す．更に，異なる通信データ量・通信時間など様々な条件下におけるパケット通信を有線・無線 LAN 環境で行い，輻輳ウィンドウ等の TCP パラメータを比較・分析を重ね，無線 LAN 通信独自の問題点を発見し，解決策を検討して行きたい．

参考文献

- [1] 豊田 真智子，山口 実靖，小口 正人: "高遅延ネットワーク環境における iSCSI リードアクセス時の TCP 輻輳ウィンドウ制御手法の性能評価"，先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS 2005) 論文集，pp.443-450，つくば，2005 年 5 月
- [2] Ye Tian, Kai Xu, Nirwan Ansari: "TCP in Wireless Environments: problems and Solutions", IEEE Radio Communications, Vol.2, No.1, pp.s27-s32, March 2005
- [3] netperf: <http://www.netperf.org/>