

L-077

## 無線 LAN 通信時における TCP パラメータの振舞とパケット転送タイミングの解析

Analysis of TCP Parameters and Packets Transportation Timing  
in a wireless network environment松井愛子<sup>†</sup>Aiko Matsui<sup>†</sup>豊田真智子<sup>‡</sup>Machiko Toyoda<sup>‡</sup>神坂紀久子<sup>†</sup>Kikuko Kamisaka<sup>†</sup>小口正人<sup>†</sup>Masato Oguchi<sup>†</sup>

## 1. はじめに

近年、無線通信に対する需要が高まり、更なるスループットの増大が切望されている。しかし、無線通信の通信効率は有線通信の場合と比較して、著しく低い。これにはさまざまな原因が考えられるが、その1つとして有線環境用に開発された TCP 等の通信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挙げられる。本研究では、有線・無線 LAN 通信時の TCP パラメータを可視化し、両者を比較することで無線 LAN 通信の問題点を明らかにした。これに基づき無線 LAN 通信において広告ウィンドウを変更することで輻輳ウィンドウの制御を行い、通信効率の向上を目指した。その結果、輻輳ウィンドウの制御はうまく行なえたものの、スループットにはあまり差が出なかった。原因としては無線 LAN 通信を隣接した端末同士で行ったため、輻輳ウィンドウの制限によるパケット転送の待ち時間が短かったことに起因するのではないかと考えられる。パケットがどのようなタイミングで往来しているのか調べることで、この予想を検証して行く。

## 2. 輻輳ウィンドウ

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、送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 パラメータである。通常の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、エラーが起ると急激に減少する。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。

## 3. 基礎実験と考察

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 1 と図 2 に示す。

図に示されている縦の点線は、送信側デバイスバッファが溢れることによって起きる 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

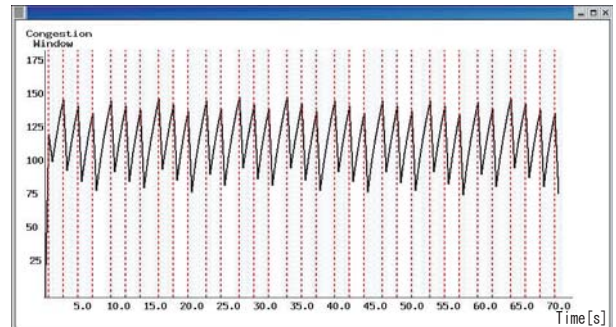


図 1: 有線 LAN 通信時の輻輳ウィンドウ個数の遷移

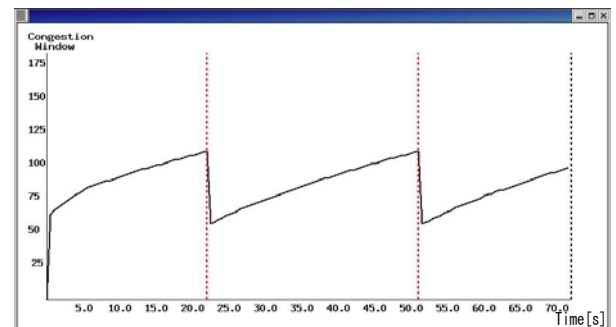


図 2: 無線 LAN 通信時の輻輳ウィンドウ個数の遷移

た。これは無線 LAN の単位時間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。

## 4. 輻輳ウィンドウ制御

そこで、無線 LAN 通信において広告ウィンドウサイズを変更することで、輻輳ウィンドウの制御を行う。

広告ウィンドウとは受信側が送信側に指定するウィンドウサイズであり、この値と輻輳ウィンドウの値の小さいほうが ACK 無しに連続送信できる最大パケット数となる。実際に制御した結果を図 3 に示す。

広告ウィンドウが 8M バイトのときは、広告ウィンドウサイズが十分に大きく、輻輳ウィンドウの値は広告ウィンドウに影響を受けず、鋸型の波形を示す。広告ウィンドウをその値から徐々に下げていき、200K バイトにすると、輻輳ウィンドウの値が急激に落ちる直前に広告ウィンドウによって成長が止められ、輻輳ウィンドウが使い切られないため、その値を保った。広告ウィンドウを更に下げていくと、輻輳ウィンドウは一定の値を保つが、広告ウィンドウの値の低下に伴い限界値が下がる。

このことから本実験環境においては、広告ウィンドウのサ

<sup>†</sup> お茶の水女子大学人間文化研究科数理・情報科学専攻

<sup>‡</sup> NTT 情報流通プラットフォーム研究所

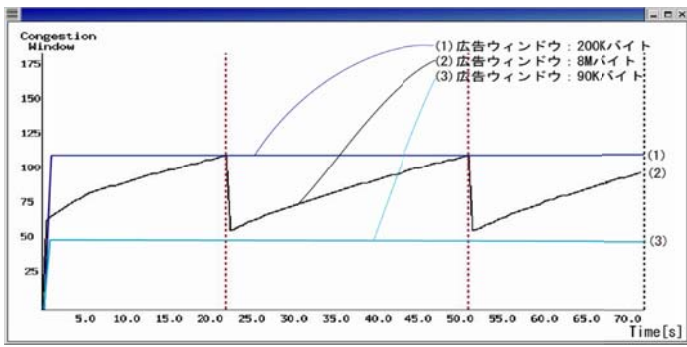


図 3: 輻輳ウィンドウ制御結果

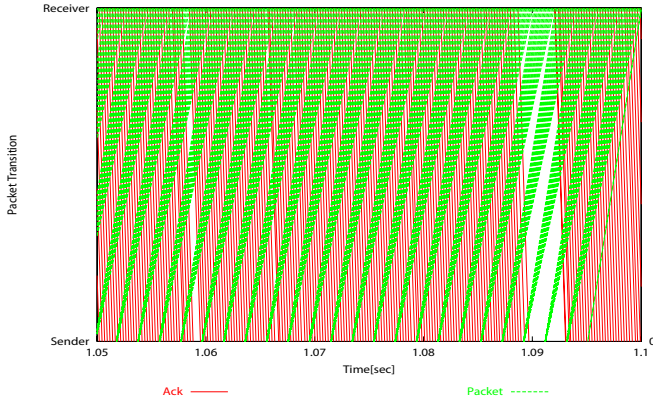


図 4: 有線 LAN 通信時の TCP パケット可視化図

イズを 200K バイトにした際、最も通信効率が向上すると言える。しかしスループットを測定したところ、広告ウィンドウサイズが 8 M バイトの時は 3.88Mbits/sec、200K バイトにした時は 3.94Mbits/sec と、スループットにはあまり変化が現れなかった。

## 5. 転送タイミングの解析

スループットに差が生じなかった原因としては (1) 隣接した往復遅延時間の短い環境下で、ウィンドウの大小に関わらず ACK がすぐ返ってきてしまい制御による影響が出なかった (2) 本実験で採用した無線 LAN IEEE11b の帯域幅が狭く、ウィンドウサイズ消費が遅いため影響が出なかった、という 2 つの原因が考えられる。そこで、tcpdump コマンドを用いてパケットをキャプチャし更にそれらをグラフとして可視化することで、上記の予想の検証を行う。

まず有線 LAN、無線 LAN 通信時の TCP パケットをキャプチャした結果を図 4、図 5 に示す。無線 LAN 通信では有線 LAN 通信に比べ、単位時間あたりにやりとりされるパケット数が圧倒的に少ないことが分かる。

次に、前節で述べたように、広告ウィンドウの値を変えて輻輳ウィンドウを制御した場合としない場合の TCP パケットのやりとりの様子を図 6、図 7 に示す。図からもわかるように、制御した場合もしなかった場合も、Ack が立て続けに返ってきておりパケットもスムーズにやりとりされている。一方、ノード間に人工的な遅延を挿入して同じ実験を行った結果、遅延による影響は殆ど見ることが出来なかった。これより、4 節の輻輳ウィンドウ制御によってスループットに差が生じなかったのは、先に述べた原因 (1) よりも原因 (2) が主であると考えることが出来る。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では TCP パケットの振舞を可視化し、有線 LAN・無線 LAN 通信における TCP パケットの振舞を比較した。そこから無線 LAN 通信独自の問題点を発見し、広告ウィンドウサイズを変えることで輻輳ウィンドウを制御し通信効率を

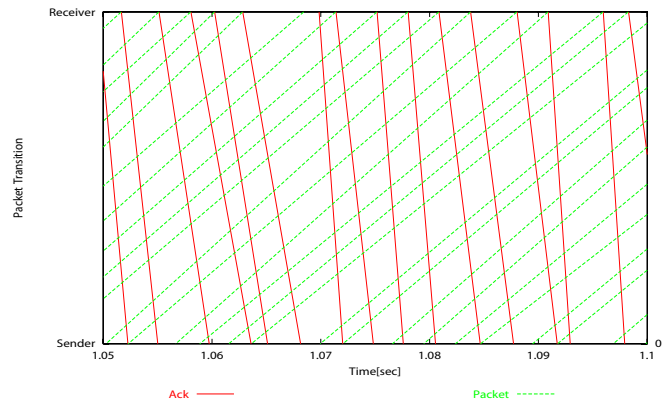


図 5: 無線 LAN 通信時の TCP パケット可視化図

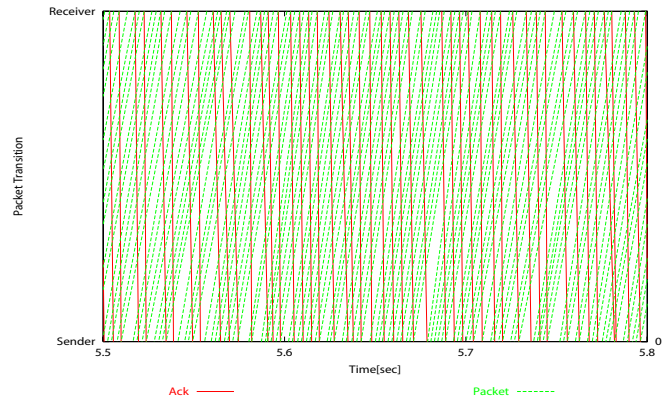


図 6: 輻輳ウィンドウ非制御時の TCP パケット可視化図

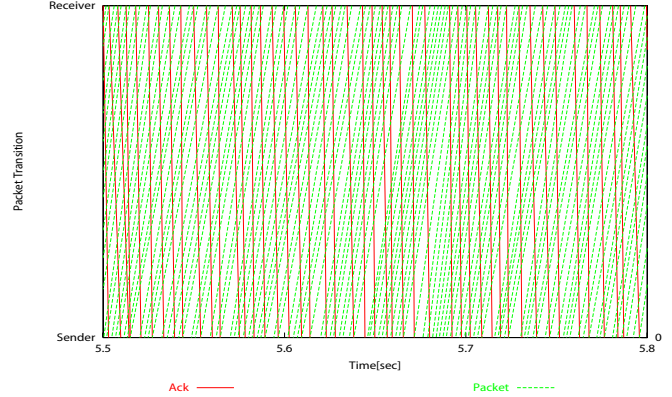


図 7: 輻輳ウィンドウ制御時の TCP パケット可視化図

上げた。輻輳ウィンドウの制御はうまくいったもののスループットに差が生じなかったため、パケットのやりとりをキャプチャし比較することでその理由を検証した。

今後は、より現実的な実験環境を構築し、TCP 等の解析を更に進めて行きたい。

## 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 (SACSIS 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/>