

無線 LAN における MAC 層の情報を用いた
TCP ウィンドウ制御による通信品質制御方式の一検討
An Enhanced TCP Window Flow Control with MAC Layer Information in Wireless LAN

御子柴 健吾[†] 中島 裕[†] 大坐島 智[‡] 川島 幸之助[‡]
東京農工大学大学院工学府情報工学専攻[†] 東京農工大学大学院共生科学技術研究院[‡]
Kengo Mikoshiba, Hiroshi Nakashima, Satoshi Ohzahata, Konosuke Kawashima

1. はじめに

TCP/IP プロトコルスタックでは機能が各層で独立しており、制御間に整合性がなく TCP 無線通信においては通信品質が低下するという問題がある。そこで本稿では無線チャネル占有率を考慮した TCP ウィンドウの制御方式により、通信品質を改善する方式を提案する。無線チャネル占有率は無線同一チャネル内の端末ごとの RTS/CTS の NAV の測定値の累計から求め、利用帯域幅の推定に用いる。ウィンドウ制御端末は通信開始前に帯域割り当てポリシーを登録しておき、通信中にそれを越えるとき、輻輳ウィンドウサイズの値の更新を行い、利用帯域幅の調節を行うことにより通信品質の改善を行う。

2. 提案システム概要

提案システムでは MAC 層の情報として NAV(RTS/CTS)の計測値の累計を得る[1]。これにより各端末の無線チャネル占有率を求めることが可能である (RTS/CTS を用いない場合は、データフレームの NAV 値を用いる)。計測は無線 LAN テストソリューションボードで行う。帯域幅制御は送信側の TCP ウィンドウ制御を改良する。

2.1 RTS/CTS

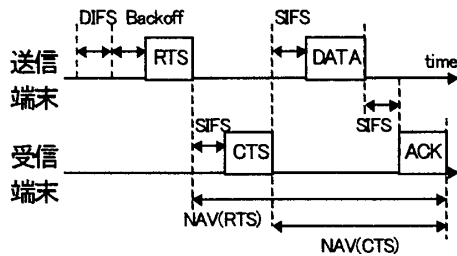


図1 RTS/CTS 導入時の通信

RTS/CTS を用いた場合 RTS フレームと CTS フレームには NAV と呼ばれるデータフレームが送信され ACK フレームが返ってくるまでの時間が設定される (図 1)。このとき端末毎の方向別の NAV の測定値を一定時間毎に累計する。チャネル占有時間は 1 パケットを送信するときの DIFS から ACK を受け取るまでの時間で、このときの計測時間中のチャネル占有時間の割合をチャネル占有率とする。RTS, DIFS, Backoff の時間は予測可能であり、

NAV により各端末のチャネル占有率を上下方向別に求めることが可能となる。

2.2 TCP 輻輳制御

TCP では伝送遅延の大きい環境で、効率のよい通信を実現するためにウィンドウフロー制御による通信を行っている。確認応答を待たずに送ることのできるセグメント数をウィンドウサイズとし、ウィンドウサイズを増やすことで、利用帯域幅を増加させる。TCP 通信の最大利用帯域幅 B は、ウィンドウサイズ W とパケットの往復時間である Round Trip Time(RTT)を用いて $B=W/RTT$ と表される。

TCP では、ウィンドウサイズ増加によるネットワークの輻輳を防ぐために、通信開始から少しづつウィンドウサイズを増やし、もし輻輳が発生したときには一時的にウィンドウサイズを小さくする輻輳制御アルゴリズムを用いている。提案システムではこの輻輳制御アルゴリズムを改良し、無線の状況にあわせて帯域幅 B' 以上を使わせないようにウィンドウサイズの上限 W' を制御する。RTT は MAC 層の遅延による変動が大きいため、TCP 再送タイムアウト判定のために計算される過去の RTT を平滑化した値、スムージング RTT(SRTT)[2]を用いる。 W' は B' ; SRTT から $W'=B' \times SRTT$ により導かれる。

3. 実装

提案システムを Fedora core 6 (Linux kernel 2.6) に実装した。無線 LAN インタフェースは MAC 層と物理層が FPGA(Field Programmable Gate Array)上に実装されている無線 LAN テストソリューションボード(以降無線ボード)を用いた。FPGA とはプロミング可能な LSI であり、容易にハードウェアの変更が可能である特徴を持つ。本稿では NAV の計測値の累計を得られるように MAC 層の部分を変更したものをを用いた。

3.1 システムの動作

システム全体の動作を図 2 に示す。動作は次のようになる。(1)通信を開始する前にクロスレイヤ制御プログラムに利用する帯域を登録する。(2)通信が始まったら、無線ボードが一定時間ごとに NAV 計測値の累計を無線ドライバに送信する。(3)クロスレイヤ制御プログラムが無線ドライバの NAV の計測値の累計を取り出す。(4)クロスレイヤ制御プログラムは NAV 情報を元に、各端末の無線チャネル占有率を計算する。(5)クロスレイヤ制御プログラムはウィンドウサイズ制御端末の無線チャネル占有率が閾値を越えているかどうかを判定する。(6)閾値を越えていれば、ウィンドウサイズの制御情報をカーネルに入力する。(7)輻輳制御モジュールはウィンドウサイズ更新処理を行うとき、制御情報を参照し、制御を行う。(8)制御端末と、他の同一チャネル内端末の利用帯域幅が増減する。(9)(2)~(8)を繰り返す。

[†]Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture & Technology

[‡]Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture & Technology

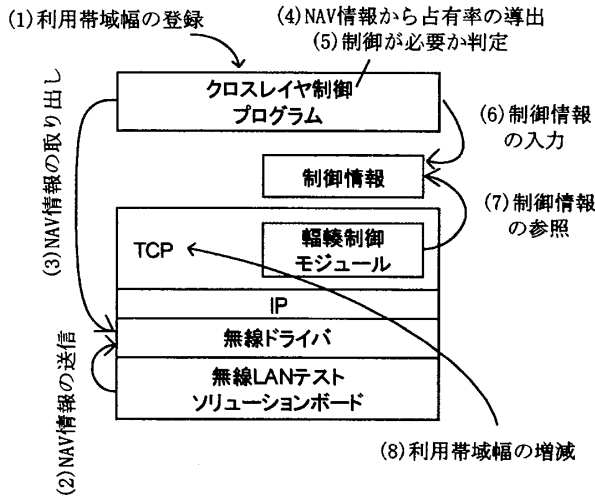


図2 システム全体の動作

クロスレイヤ制御プログラムの動作のフローチャートを図3に示す。まずクロスレイヤ制御プログラムは一定時間ごとに、無線ドライバからNAV情報を取り出し、無線チャンネル占有率を計算する。占有率が一定値を越えているなら制御情報を入力し、ウィンドウサイズの制御を行う。その後、再び一定時間待った後、NAV情報を取り出す処理を繰り返す。

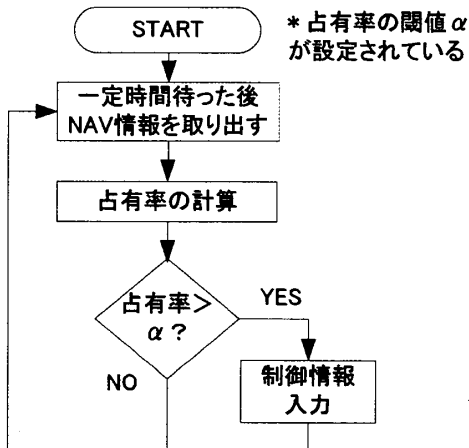


図3 クロスレイヤ制御プログラムのフローチャート

3.2 輻輳制御モジュールの設計

Linux kernel 2.6 下では輻輳制御アルゴリズムの実装はインタフェース化されている。本システムではウィンドウサイズを更新するため、輻輳制御モジュールとして独自のアルゴリズムを追加する。モジュールのフローチャートを図4に示す。輻輳制御モジュールのウィンドウサイズ更新関数はTCPがACKを受信したとき呼び出される。クロスレイヤ制御プログラムによって更新された制御情報とソケットに保持されている最新のSRTTを参照する。制御情報は制御の状態を決定する変数 qos 、利用帯域幅を決める変数 $rate$ からなる。ウィンドウサイズ更新関数が呼び出されたときまず qos を参照し、 qos が1のときは制御の開始また

は続行で、ウィンドウサイズの上限 $clamp$ を書き換え、通常の処理に戻る。 qos が2のときは制御の解除で、制限されたウィンドウサイズの上限值を消去する。 qos が0のとき、制御は無効で通常の処理を行う。

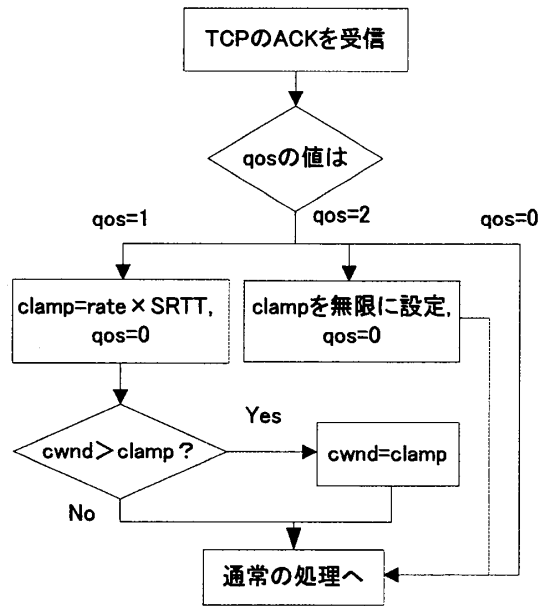


図4 輻輳制御モジュール

4.まとめ

MAC 層の情報を用いて、TCP 通信の帯域幅を送信側から制御できる方法を提案した。帯域幅の制御にウィンドウフロー制御を用いることで、自端末内でのキューの待ち時間が減少し、TCP 輻輳制御の効果の改善が期待できる。今後の課題として受信側からの制御や、ウィンドウ制御端末内に複数のフローが存在するときの対応等が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費および電気通信普及財団研究助成金によるものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] 中島 裕, 御子柴健吾, 大坐島智, 川島幸之助, 無線ネットワークにおけるMAC層の情報を用いた帯域制御の実現, 第70回 情報処理学会 全国大会, 6Z-7, 2008.
- [2] Vern Paxson, Mark Allman, *Computing TCP's Retransmission Timer*, RFC2988, 2000.