6A-3

モバイル IP ネットワークにおける ハンドオフと伝送誤りの双方を考慮した TCP 高速化方式の評価

海老原 成　　粂川　一也　　加藤 聰彦　　伊藤 秀一
電気通信大学 大学院 情報システム学研究科

１．はじめに

近年、モバイルコンピューティング環境が急速に普及している。このような環境では無線通信による伝送誤りや、端末の移動に伴うハンドオフに起因する瞬断によりパケットロスが頻繁に発生する。パケットロスが多発する環境で TCP 通信を行った場合、不必要な輻輳制御が多発し、スループットが低下する。この問題を回避するための研究が広く行われている[1]が、これらの研究にはいくつかの課題が残されている。第一にモバイルコンピューティングの環境においては無線区間の伝送誤りとハンドオフの双方に起因してパケットロスが発生するが、既存の方法の多くは、それらのどちらか一方だけが生じた場合に主眼が置かれ、双方の原因に対して協調して対応している研究は少ない。第二にハンドオフに対応する既存の研究では、端末の移動管理は IP より下位のレベルで独立に行われていることを想定しており、データ転送は必ず特定のノードを経由すると仮定している。しかし Mobile IP が基本プロトコルであるようなモバイルネットワークでは、移動管理が IP のレベルで行われているため TCP 高速化を実現するためには、Mobile IP 手順と関連付けた方式を用いる必要がある。これに対して筆者らは、前述の課題すべてを満足する TCP 通信高速化方式を提案している[2]。本稿では、先に提案した手法をネットワークシミュレータ ns2 により性能評価した結果について述べる。

２．プロトコルの設計方針

(1)　MN (Mobile Node)が、ある FA (Foreign Agent)の下に移動した場合、HA (Home Agent)への登録が完了するまでの瞬断、および FA と MN の間の無線リンクにおける伝送誤りによるパケット紛失により起動される輻輳制御によるスループット低下を防ぐこととする。このため MN との TCP 通信の監視を FA に行わせ、移動した場合のそれまでの FA と移動先の FA の間で必要な情報を転送するために HA を中継させることとする。すなわち FA と HA は TCP セグメントを処理する機能を有する。

(2)　ハンドオフ中は CN にパケット送出を停止させ、ハンドオフが終了した後にパケット送出を再開させる必要がある。このために本方式では M-TCP [3]を基本とする。M-TCP では端末が移動した場合、データ送信元を TCP のパーシストモードにすることで不要な輻輳制御の発生を防いでいる。具体的には Supervisor Host (SH)と呼ばれる制御ノードが移動端末からの ACK を送信元に送る際に確認応答シーケンス番号を 1 バイト分だけ少なくして転送する。移動端末に転送したデータに対して応答がないと SH は端末が移動したと推定し、保留していた 1 バイトの ACK をウィンドウサイズ 0 として送信元に送る。本方式では FA に SH の働きを行わせ、かつその処理を Mobile IP の手順に連携させる。

(3)　MN が別の FA の下に移動し HA に登録する時点で、HA は、移動元の FA から MN の行っている TCP 通信の情報を入手し、移動先の FA に通知するとともに通信中の CN に対して通信を再開させる。この場合 Registration Request / Reply に用いる新たな Extension と、HA と移動前の FA との間での新たなメッセージを導入する。

(4)　無線区間の伝送誤りが生じた場合は誤ったデータパケットを再送し、CN に対して無線区間の伝送誤りを隠す必要がある。このため FA においてパケットをバッファリングし、MN からの SACK オプションおよび重複 ACK により無線区間におけるパケット紛失が検出された場合に再送することとする。また無線区間での伝送誤りに起因する重複 ACK は FA において破棄する。

(5)　不必要な 0 ウィンドウの送信を抑えるために、FA は 0 ウィンドウ広告用タイマと再送用タイマを別々に管理する。0 ウィンドウ広告用タイマは MN からどのような ACK を受信しても停止するが、再送用タイマは関連するデータセグメントが ACK されるまで停止しないこととする。

３．シーケンス例

図 1 はホームエージェント HA に属する移動端末 MN が、CN からのデータを受信中に FA1 から FA2 のネットワークに移動した場合の手順例である。最初に CN は MN に対し 3 つのセグメントを送信している。図 1 の「1:1025(1024)」はシーケンス番号 1 で長さ 1024 バイトのデータセグメントを示す。また HA から FA1 までの太い矢印はカプセル化して転送されていることを示す。FA1 は受信した各セグメントをバッファリングするとともに MN に転送する。ここで FA から転送されたデータのうち、最初と 3 セグメント目のデータは MN により受信されるが、2 セグメント目のデータは無線区間での伝送誤りにより紛失している。次に MN は SACK オプション付きの ACK を返す。「Ack 1025[2049-3073]」は確認シーケンス番号 1025 と、2049 から 3072 までの番号のデータの受信を示す SACK オプションが含まれていることを、「win 4096」はウィンドウサイズが 4096 であることをそれぞれ示す。FA1 はこれを取り込むと、確認応答シーケンス番号を 1 減らして 1023 までのデータを受信したとして CN に SACK オプションのない通常の ACK を転送する。と同時にシーケンス番号 1025 のセグメントが紛失したと判断し再送する。この再送に対し MN は確認応答シーケンス番号 3073 の ACK を返す。FA1 はこれを取り込むと、確認応答シーケンス番号を 3072 として CN に転送する。次に MN が移動を開始するとネットワークがハンドオフ状態となるため、シーケンス番号 3073 のデータは MN に到達することができない。FA1 は MN からの確認応答がないことにより移動を推定し、3073 までの受信を示す

"Evaluation of High Speed TCP Communication Procedure over Mobile IP Taking Account of Both Handoff and Transmission Errors"
Joe Ebihara, Kazuya Kumekawa, Toshihiko Kato and Shuichi Itoh　University of Electro-Communications

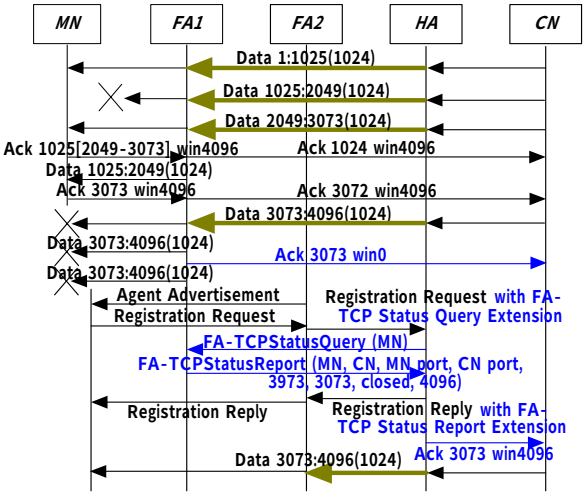

図１　シーケンス例

ACK をウィンドウ 0 で送信し CN をパーシストモードにする。また、MN に対してバッファしてあるシーケンス番号 3073 のセグメントを再送する。しかしこの再送データは MN に到達できない。FA1 によるシーケンス番号 3073 のセグメントの再送は MN の移動登録が完了するまで続けられる。一方 MN は FA2 からの Agent Advertisement により移動を検知し HA に登録を行う。このとき FA2 は、新たに移動してきた MN に対する TCP の状態の問い合わせを要求する FA-TCP Status Query Extension を Registration Request に追加して HA に転送する。HA はこれを受信して MN が移動前に属していた FA1 に対して問い合わせ要求メッセージを送出する。FA1 はこれに対し対応する MN の TCP 通信の状態を FA-TCPStatusReport メッセージにより通知する。TCP 通信の状態はコネクションごとに、CN の IP アドレス、MN と CN のポート番号、MN から受信した確認応答シーケンス番号(3073)、CN に通知した確認応答シーケンス番号(3073)、ウィンドウを閉じたかどうかのフラグ、MN から受信したウィンドウサイズ(4096)を含む。HA は MN が正常にハンドオフを終了したことを知るので、確認応答シーケンス番号 3073、ウィンドウサイズ 4096 の ACK を CN に送信する。これにより CN はパーシストモードから解除され、速やかにデータ転送を再開できる。

４．評価結果と考察

ネットワークシミュレータ ns2 を使用してシミュレーションを行った。ns2 の TCP 処理ではシーケンス番号を便宜上パケット単位に割り当てており、そのままでは M-TCP の処理が実現できない。そこで、ns2 の TCP 処理に対してシーケンス番号をバイト単位に付与するように変更し、さらに持続タイマに伴うウィンドウ検査の送出機能を追加した。このように変更した ns2 をベースに提案する手順を実行するエージェントを新たに作成した。

HA に属する移動端末 MN が、FA1 の下でシミュレーション開始 10 秒後に CN と TCP 通信を開始すると同時に直線距離で 620m 離れている FA2 の下に向かって FA 間を結ぶ直線上を秒速 10m で移動し、途中 12 秒間の通信不能範囲を通った後、FA2 の下で通信を再開するというシナリオを用いてシミュレーションを行った。なお無線は、無線到達範囲 250m、帯域 2Mbps、遅延 200ms、ビットエラーレート 10^{-5} とし、有線通信は帯域 100Mbps、往復遅延 120ms、ビットエラー無しとした。またウィンドウサイズは 65000 バイトとした。シミュレーションでは、提案手法、無線基地局による再送のみを行う手法、M-TCP のみを用いた手法、Mobile IP のみを用いた手法をそれぞれ比較した。図 2 に縦軸を TCP のシーケンス番号、横軸を時間[秒]としてシミュレーション結果を示す。

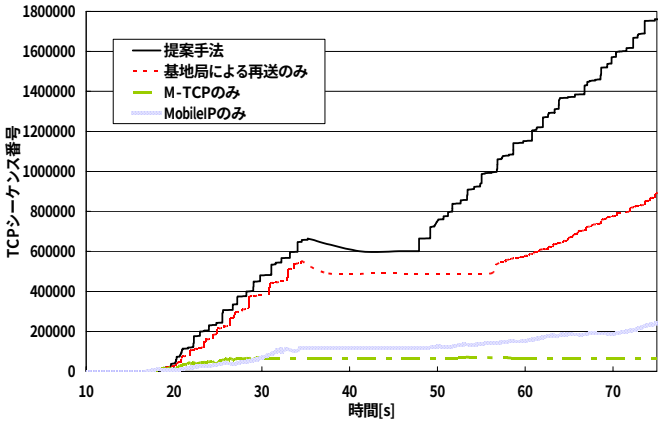

図２　シミュレーション結果

図 2 から、ハンドオフ後、提案手法が他の 3 つの手法に比べて速やかに通信を再開できたことがわかる。これは M-TCP のみの手法では、MN の移動登録が完了してもパーシストタイマーが発火するまで通信が再開できず、また基地局による再送のみの手法と MobileIP のみの手法では、MN が移動登録を完了しても TCP のタイムアウトによる再転送が起こるまで通信が再開できないのに対し、提案手法では MN の移動登録完了後、直ちに HA が CN に対して ACK を送信するので、速やかに通信が再開できたためだと考えられる。また、提案手法は基地局による再送のみの手法に比べ、通信再開後にシーケンス番号の立ち上がりが鋭いことがわかる。これは基地局による再送のみの手法ではハンドオフ中に TCP のタイムアウトが複数回起き、結果的に cwnd が 1、ssthresh が 2 になってしまうのに対し、提案手法ではハンドオフ直後に CN がパーシストモードなっているため cwnd と ssthresh の値が、通信再開時に起動される高速再転送の分だけしか減らなかったためであると考えられる。

５．おわりに

本稿では、モバイル IP ネットワークにおいてハンドオフと伝送誤りの双方を考慮した TCP 高速化手法を示した。また提案手法をシミュレーション評価した結果により、その有効性を示した。

参考文献

[1] 山本幹他, "無線 TCP の研究動向, " 信学技報, IN2003-111, Nov. 2003.

[2] 海老原成他, "ハンドオフと伝送誤りの双方を考慮したモバイル IP のための TCP 高速化方式の提案,"信学技報, NS2004-78, Jul 2004.

[3] K. Brown, et al., “M-TCP: TCP for Mobile Cellular Network,” ACM Computer Communications Review, Vol.27, No.5, pp.19-43, Oct 1997.