

# 高速移動通信向け ワイヤレスTCPの開発

無線技術の進歩により、移動通信ネットワークの高速化が急速に進展している。今回、高速移動通信ネットワークにおいて、無線ベアラ速度を最大限に活用し、ユーザに高品質なサービスを提供するために重要な役割を果たすワイヤレスTCP技術を開発した。

やまもと かずのり	すずき ひではる
山本 和徳	鈴木 偉元
ほかむら あや	せきぐち かつみ
外村 彩	関口 克己

## 1. まえがき

TCPは、OSI基本参照モデルのトランスポート層に位置し、エンドノードにおいて、信頼性のあるデータ通信を提供するプロトコルである。ドコモにおいては、i-mode、i-motion、フルブラウザなどの主要なサービスを提供する基盤技術として用いられている。

しかし、TCPは有線ネットワークを中心に研究開発がなされてきた経緯がある。そのため、有線ネットワークと通信特性の異なる移動通信ネットワークにそのまま適用しても、十分な性能が得られない課題がある。具体的な課題として、移動通信ネットワークにおける突発的な遅延の増加によって、TCPの再送タイムアウトが発生し、スループット<sup>\*1</sup>が低下することなどが挙げられる。そこでドコモでは、移動通信ネットワークに最適化したワイヤレスTCP（W-TCP：Wireless-TCP）技術[1]の開発を行い、高いサービス品質を実現している。

ドコモの第3世代以降の移動通信システムのネットワーク構成を図1に示す。移動通信ネットワークは無線アクセスネットワークとコアネットワークからなり、ゲートウェイ装置を介してインターネットなどの外部ネットワークに接続される。TCPコネクションはゲートウェイ装置において終端され、ゲートウェイ装置と移動端末間のTCPコネクションに対してW-TCPが適用される。W-TCPの開発では、無線アクセスネットワークの急速な進化に迅速かつ柔

\*1 スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。

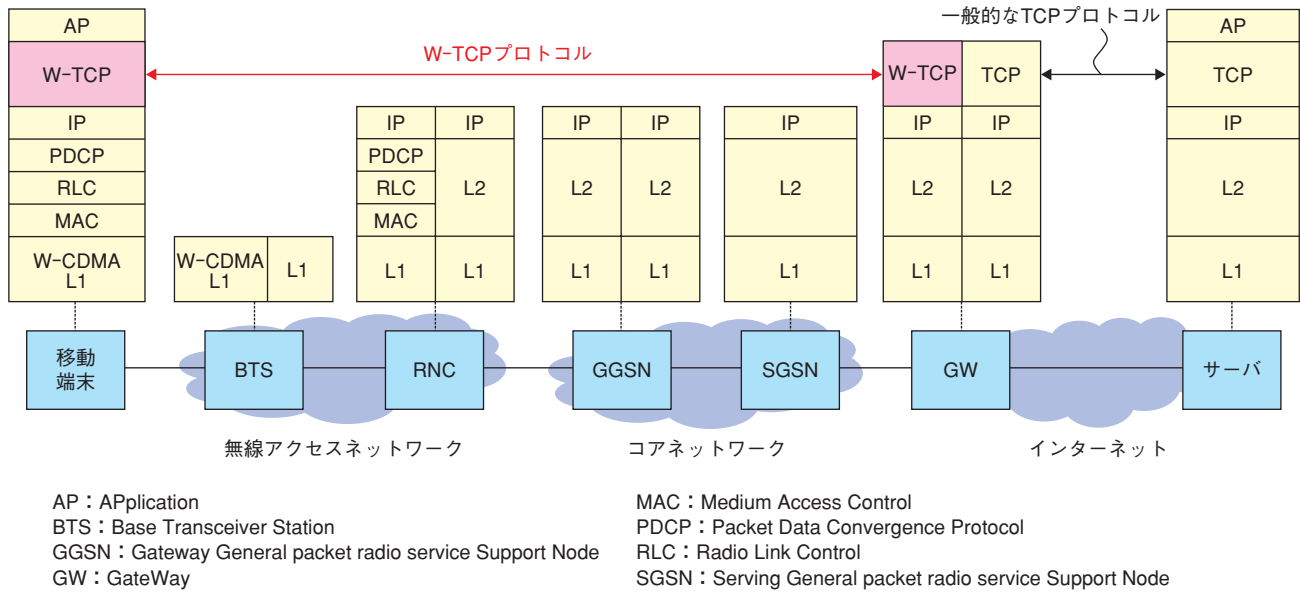


図1 第3世代以降の移动通信システムのネットワーク構成

軟に対応するため、ゲートウェイ装置および移動端末において機能追加およびパラメータの最適化を実施している。

本稿では、高速移动通信ネットワークにおけるW-TCPの課題と対策、およびドコモの開発への取組みについて解説する。

## 2. 高速移动通信ネットワークにおけるW-TCPの課題と対策

### 2.1 送受信バッファサイズの枯渇

無線ベアラの高速化によってネットワークの帯域幅遅延積<sup>\*2</sup>が増加すると、ゲートウェイ装置および移動端末においてTCPの送受信バッファが枯渇する問題が生じる。ネットワークの通信速度を使い切るためには、帯域幅遅延積以上の送受信バッファサイズが必要であることが一般に知られている。W-TCPでは、無線ベアラ速度を最大限に利用できるように、送受信バッファサイズを最大無線ベアラ速度に合わせて最適化している。

しかし、ユーザは常に最大無線ベアラ速度を利用できるわけではなく、無線品質やセルの混雑状況によって利用可能な無線ベアラ速度は変化する。無線ベアラが低速な状況では、TCPのウィンドウサイズ<sup>\*3</sup>が過剰となって中継装置にパケットが滞留するため、サービス品質およびネットワ

ーク資源の利用効率の点で、以下のような課題が生じる。

- ・中継装置にパケットが滞留すると、エンド・エンド間の遅延が増加し、WebなどのインタラクティブなアプリケーションやPoC (Push-to-talk over the Cellular)<sup>\*4</sup>などのリアルタイム性を必要とするアプリケーションの応答性が下がる。
- ・中継装置のバッファにおいて低速ユーザのパケットが滞るため、バッファ使用効率が低下する。低速ユーザのパケット滞留量が増加すると、他のユーザに必要なバッファが割り当てられずスループットが低下する可能性がある。
- ・ユーザがダウンロード（あるいは、アップロード）をキャンセルしたとき、キャンセル後、TCPの送信が停止されるまでに1ウィンドウサイズ分の不要なパケットが無線リンクに流れる。例えば、ウィンドウサイズが64kbyteに広がった状態で、ユーザがダウンロードをキャンセルした場合、64kbyteの不要なパケットが無線リンクに流れる。

これらの課題に対処するためには、無線ベアラ速度に合わせてTCPのパケットの流量を適切に制御する必要がある。その実現方法として多数の方式提案がなされているが、機

\*2 帯域幅遅延積：ネットワークの特性を示す指標の1つ。エンドノード間の通信速度と信号往復時間の積で与えられる。  
 \*3 ウィンドウサイズ：TCPのフロー／輻輳制御で用いられるバッファ内の領域の大きさで、ACKを受信することなく送信可能な最大パケット数を定めている。

\*4 PoC：OMA (Open Mobile Alliance) などによって標準化が進められている、IPネットワーク上の携帯電話向け通話サービス。

能配備に着目するとそれらは3つのアプローチに分類される。

#### ①エンドノード・アプローチ

TCPの終端装置において、データパケットの流量を制御するアプローチである。ドコモの移動通信システム(図1)においては、ゲートウェイ装置または移動端末が制御の主体となる。このアプローチは送信元でデータパケットの流量を直接制御するため、データパケットの流量を正確に調節できる。その一方で、ネットワーク状況を正確に把握できない。

#### ②中間ノード・アプローチ

ネットワーク中の中継装置において、データパケットの流量を制御するアプローチである。無線ベアラの制御装置においてRED (Random Early Detection)<sup>\*5</sup>を応用した輻輳制御を行うことで、無線ベアラ速度に応じたデータパケットの流量調節が可能となる[2]。しかし、このアプローチでは間接的にTCP輻輳制御を動作させているため、データパケット流量を細かく調節することができない。

#### ③ハイブリッド・アプローチ

TCPの終端装置と中継装置が連携して制御を行うアプローチである。エンドノード・アプローチと中間ノード・アプローチの利点を合わせ持つため、最も的確にデータパケットの流量を制御できる。ただし、複数のノード種別に対して開発が必要となるため、開発規模が膨らむ可能性がある。

ドコモでは現在、中間ノード・アプローチによって低速通信時の問題に対処しているが、より高品質なサービスを提供するため、エンドノード・アプローチおよびハイブリッド・アプローチについても検討を進めている[3]。

## 2.2 スプリアタイムアウト

移動通信ネットワークでは、無線品質の悪化によるレイヤ2再送の増加、無線チャネル遷移・ハンドオーバーに伴う処理遅延などの要因で一時的に遅延が増加する。このような遅延の増加によって、パケットロスが発生していないにもかかわらず、TCPの再送タイマがタイムアウトする現象が発生する。この現象をスプリアタイムアウトと呼ぶ。スプリアタイムアウトが発生すると、意図しない輻輳制御の実行によって、パケットの送信量が減少し、スループ

ットが低下する課題が生じる。

W-TCPでは、この問題を回避するために、i-mode用のゲートウェイ装置であるCPCG (Charging and Protocol Conversion Gateway) において、F-RTO (Forward-Retransmission Time Out recovery) [4]を実装している。F-RTOはスプリアタイムアウトを検出し、意図しない輻輳制御の実行を防ぐアルゴリズムである。

F-RTO以外にも、スプリアタイムアウトを検出するアルゴリズムとして、いくつかの提案がなされているが[5][6]、F-RTOは他の方式と異なり、TCPオプションを使用しないため、ネットワークに余分なトラフィックを流すことなく、スプリアタイムアウトを検出できる。そのため、F-RTOは無線リソースの限られた移動通信ネットワークに最も適した方式といえる。

無線環境を擬似するW-CDMAエミュレータを用いて、スプリアタイムアウト発生時のF-RTOを評価した結果を図2に示す。グラフは、2 Mbyteのファイルダウンロードにおいて、TCPのスロースタート中にスプリアタイムアウトを1回発生させたときの平均スループットを表す。F-RTOを適用した場合、384kbit/s、3.6Mbit/sおよび14Mbit/sの無線ベアラ速度について、それぞれ6%、57%および92%、スループットが向上した。この結果により、F-RTOは、高速移動通信ネットワークにおいて、より高い効果を示すことが明らかとなった[7]。

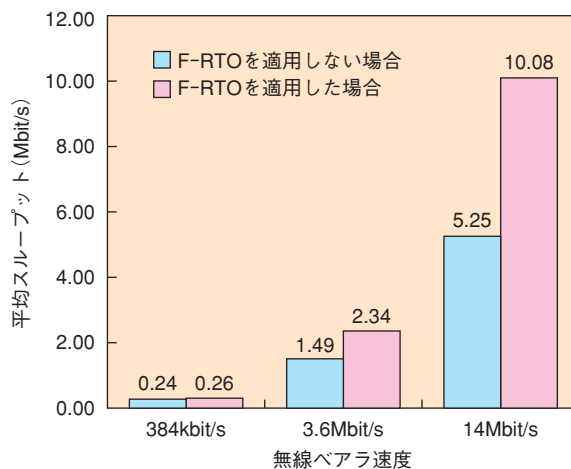


図2 スプリアタイムアウト発生時のF-RTOの評価結果

\*5 RED:輻輳を回避するためにルータにたまったパケットを確率的に破棄、またはエンドノードに輻輳を通知するアルゴリズム。

## 2.3 無線ベアラ速度の非対称性

移動通信ネットワークでは、HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) <sup>\*6</sup>のようにいずれか一方の無線ベアラのみが高速化された場合に、無線ベアラ速度が非対称となる。無線ベアラ速度の非対称性は、ACK (ACKnowledgement) 方向の通信速度がデータ方向の通信速度に比べて極端に低い場合、ACK方向の通信速度がボトルネックとなりTCPのスループットが制限され問題となる。ドコモでは、HSDPAによる下り方向の高速化に伴い、上り方向の最大無線ベアラ速度を384kbit/sまで引き上げ、この問題を回避している。これにより、TCPにおいて、理論上、28.8Mbit/sのスループットまで対応可能となった。

このように上り方向の無線ベアラ速度を増加させる以外にも、本問題への対策として、ヘッダ圧縮、ACKフィルタリング、ACK輻輳制御などの方法が考案されている[8]。これらの方法は、ACKのトラフィック量そのものを抑制するため、無線リソースの有効利用の点で効果がある。無線ベアラ速度の高速化に伴い、ACKトラフィックが増加することを考慮すると、これらの技術は今後ますます必要性が高まるものと考えられる。

## 3. あとがき

高速移動通信ネットワークにおけるW-TCPの課題と対策、およびドコモのW-TCPの開発の現状について解説した。今後、本稿で述べた対策技術について検討を進め、高

速移動通信ネットワークにおけるサービス品質の向上につなげたい。

### 文献

- [1] H. Inamura, G. Montenegro, R. Ludwig, A. Gurtov and F. Khafizov: "TCP over Second (2.5G) and Third (3G) Generation Wireless Networks," RFC 3481, Feb. 2003.
- [2] 森広 芳文, 加藤 康博, 石川 義裕: "W-CDMAシステムにおけるTCP送信ウィンドウ制御の検討," 総合大会, B-5-118, 2003年3月.
- [3] K. Yamamoto, H. Suzuki, N. Ishikawa, M. Miyake and H. Inamura: "A TCP Flow Control Scheme for 3G Mobile Communication Networks," Proc. ICCCN' 06, pp. 229-236, Virginia, Oct. 2006.
- [4] P. Sarolahti and M. Kojo: "Forward RTO-Recovery (F-RTO) :An Algorithm for Detecting Spurious Retransmission Timeouts with TCP and the Stream Control Transmission Protocol (SCTP)," RFC 4138, Aug. 2005.
- [5] R. Ludwig and M. Meyer: "The Eifel Detection Algorithm for TCP," RFC 3522, Apr. 2003.
- [6] E. Blanton and M. Allman: "Using TCP Duplicate Selective Acknowledgement (DSACKs) and Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Duplicate Transmission Sequence Numbers (TSNs) to Detect Spurious Retransmissions," RFC 3708, Feb. 2004.
- [7] 関口 克己, 外村 彩, 山本 和徳, 鈴木 偉元, 石川 憲洋, 高橋 修: "3Gモバイルパケットネットワークにおけるスプリアスタイムアウト検出アルゴリズムの適用と評価," 情処研報, 2006-MBL-36, 2006年2月.
- [8] H. Balakrishna: "How Network Asymmetry Affects TCP," IEEE Commun. Mag., Vol. 39, No.4, pp. 60-67, Apr. 2001.

\* 6 HSDPA : W-CDMA方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式。3GPP規格上の下り伝送速度は、最大約14Mbit/sである。移動端末の電波受信状況に応じて、変調方式と符号化率を最適化する。