

無線ネットワークにおける帯域集約を目的とした TCP に関する考察*

小口 潔[†] 田中 大吾[‡] 重野 寛[†]

慶應義塾大学理工学部[†] 慶應義塾大学大学院理工学研究科[‡]

1 はじめに

無線アクセス技術の種類が多様化する中で、モバイルホストに複数の通信インターフェースを搭載するマルチホーム環境が普及しつつある。その利用方法の一つとして帯域集約が挙げられ、これをトランスポート層で実現することを目的とした複数コネクション対応の TCP がいくつか提案されている。しかし、実現するには無線環境特有の帯域、遅延、ロス率をはじめとするパラメータの変動を考慮する必要があり、それらに対する詳細な評価が必要とされる。

本稿では、無線マルチホーム環境を想定した上で、帯域集約機能を有する TCP のシミュレーションモデルを実装することを目的とする。

2 背景

2.1 マルチホーム環境

現在、無線アクセス技術の開発と普及が急速に進展しており、無線アクセス技術が混在している。このような状況の中で、端末が複数の有線/無線インターフェースを搭載し、複数のネットワークに接続することが可能となってきた。この環境を一般にマルチホーム (multi-home) 環境と呼ぶ。現時点では、複数の通信インターフェースを搭載していたとしても、その時点で有効なインターフェースを選択して利用するのが一般的である。

2.2 帯域集約

前述のマルチホーム環境において、複数の通信経路に送信パケットを振り分けて並行的に伝送し、各経路の帯域を集めることで帯域資源を有効に活用することを帯域集約と呼ぶ。帯域集約では、複数の経路を束ねることで転送速度の飛躍的な上昇が期待できる。さらに、集約の方法を戦略的に行うことで、ハンドオフ時に移動前のリ

ンクから移動後のリンクにスムーズに、あるいは徐々に帯域を移動させたり、帯域の安定しない経路を別の経路の帯域で補完して通信を安定化することができる。

帯域集約を実現する方法は様々に検討されており、データリンク層、ネットワーク層、トランスポート層、アプリケーション層の各層で研究されている。特にトランスポート層における研究では、TCP をベースとして複数のコネクションを利用した帯域集約の研究が行われていて、下層や通信環境の変動に柔軟に対応したコネクション維持が可能である [1, 2, 3]。しかしその実現には、帯域幅や遅延、エラー率やパケットロス率の異なる通信経路に対してどのようにパケットを分配するか、という問題がある。この問題に対してはいろいろなアプローチがとられていて、SCTP(Stream Control Transmission Protocol)[1] では、事前にプライマリパスと呼ばれる主経路が選択されており、通信は主にその経路でのみ行われる。また、pTCP[3] では、それぞれのコネクションがそれぞれの輻輳ウィンドウに応じた仮想的なパケットを生成し、IP 層に送る前にデータを挿入するという方法をとっている。

3 実装

ネットワークシミュレータ Qualnet[4] に、マルチホーム環境を想定した帯域集約機能を持つ TCP のシミュレーションモデルを実装した。図 1 に実装モデルを示す。通常

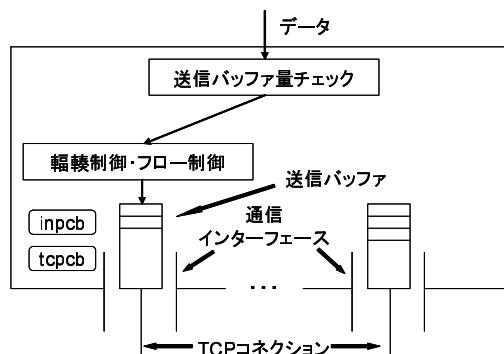


図 1: 実装モデル

*A Simulation of a variation of TCP with Bandwidth Aggregation

[†]Kiyoshi Oguchi

[†]Faculty of Science and Technology, Keio University

[‡]Daigo Tanaka, Hiroshi Shigeno

[‡]Graduate School of Science and Technology, Keio University

の帯域集約機能を持たない TCP では、ある指定された通信インターフェースしか使用できないが、実装方式では、アプリケーションからオープン要求が来た際に使用可能な通信インターフェースを割り出し、それぞれの通信インターフェースで TCP コネクションをオープンする。TCP コネクションはそれぞれ `inpcb` 構造体、`tcpcb` 構造体を保持し、コネクションごとに別々に輻輳制御、フロー制御を行う。TCP コネクションの制御は集約的に行われていないため、コネクション間で異なる輻輳制御方式を行うことも可能である。パケット分配の方法としては、アプリケーションからデータが送られてきた際に TCP コネクションの送信バッファをチェックし、送信バッファ中のパケット量が一番少ない経路にパケットを分配する。これによって、よりアイドルな経路にパケットを多く分配することができ、経路間の帯域幅の違いに対応している。

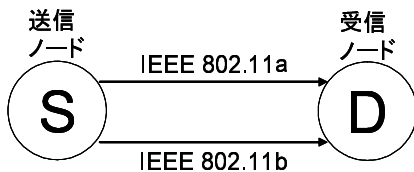


図 2: シミュレーションモデル

表 1: シミュレーション条件

シミュレーション時間 [s]	100
ノード間距離 [m]	100
アプリケーションモデル	FTP
TCP 輻輳制御方式	TCP Reno
送信バッファサイズ [Byte]	16384

4 シミュレーションによる評価

4.1 実験環境

図 2 にシミュレーションモデルを、表 1 に実験条件を示す。本シミュレーションでは実装方式のスループットを計測した。また、802.11a のみを使用したとき、802.11b のみを使用したときのスループットも測定した。

4.2 評価

図 3 に 802.11a/b 単独のスループットと実装方式のスループットの推移を示す。また、表 2 に平均スループットを示す。このシミュレーションでは、802.11a/b それぞれのスループットと、その 2 つを帯域集約したスループットの推移について表示している。図 3、表 2 より、帯域集約を行った場合、802.11a/b 単独のスループットよりも高いスループットを得られていることがわかる。しかし、802.11a/b のスループットの合計よりも低い値に

表 2: 平均スループット

	802.11a	802.11b	実装方式
スループット [Kbps]	2864.98	853.68	2953.25

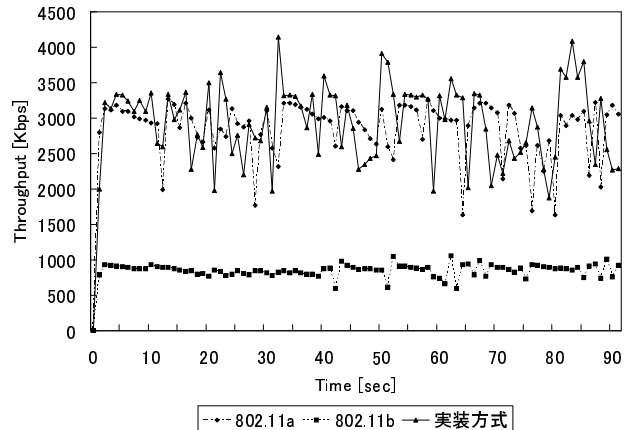


図 3: 802.11a/b と実装方式のスループットの推移

なっているのは、エラーしたパケットがヘッドオブラインブロッキングを引き起こしているものと考えられる。

5 まとめ

本稿では、複数の通信インターフェースを持つ、マルチホーム環境の端末に対し、使用可能な通信インターフェースを利用して帯域集約を行えるプロトコルを実装した。そしてコンピュータシミュレーションを用いて評価を行った結果、帯域集約が行われていることを確認した。

参考文献

- [1] J. Shi et al, "Performance Evaluation of SCTP as a Transport Layer Solution for Wireless Multi-access Networks," WCNC 2004/IEEE Communications Society, pp.453-458,2004.
- [2] L. Magalhaes et al, "Transport Level Mechanisms for Bandwidth Aggregation on Mobile Hosts," Proceedings of IEEE ICNP'01, pp.165-171, Nov.2001.
- [3] H.-Y. Hsieh et al, "A Transport Layer Approach for Achieving Aggregate Bandwidths on Multi-homed Mobile Hosts," ACM/IEEE MOBICOM'02, Atlanta, GA USA, Sep.23-28,2002.
- [4] Qualnet User's Manual, <http://www.scalable-networks.com/>.