6F-8

マルチホーミング環境での帯域集約における SACKオプションを改良したスループット向上の実現*

田中 大吾† 廣瀬 史明‡ 重野 寛‡
慶應義塾大学理工学部† 慶應大学大学院理工学研究科‡

1 はじめに

ワイヤレスアクセス技術の種類が多様化する中で、モバイルホストにおいてはインターフェースを複数搭載するマルチホーミング環境が普及しつつある。マルチホーミング環境の利用方法の１つとして帯域集約が挙げられるが，複数のリンクの帯域幅，遅延，ジッタやパス数の変動による性能の低下が問題となっている [1, 2, 3].

本稿では帯域集約環境で生じる順序違いによってSACK使用時に起こる本来不要な Fast Retransmit に着目し，SACK オプションを改良することでこの Fast Retransmit を削減し，平均スループットを向上させる．シミュレーションによる評価により本提案の有効性を確認する．

2 帯域集約

データ送信時に送受信ホスト間に通信経路が複数存在するとき，送信パケットを各経路に振り分けることで帯域資源を有効に利用することを帯域集約，またその際扱う個々の通信経路をパスと呼ぶ．帯域集約を実現する方法は様々に検討されており，目的や組み込むレイヤによってそれぞれ異なる性質を持っている．その中でもトランスポート層での帯域集約は下層や通信環境の変動に柔軟でコネクション維持が可能である [1]．しかし，その実現にはいくつかの課題がある．

複数のパスが使用可能な場合，帯域幅，遅延，エラー率に対して何を基準にどのようにパケットを分配するかが重要である．パスの数については，どこかのパスが切断されてしまった場合，その中を流れていたパケットは廃棄されてしまい，その分の再送が発生する．また，パスの違いによるパケットの到着順序違いや，それに伴う受信側でのバッファサイズの増大も予想される．

本研究では，トランスポート層で帯域集約を構築するために SCTP(Stream Control Transmission Protocol)[4] 環境を用いた．SCTP は複数パスをデータ送信用，再送用に分けて効果的な送受信を行うプロトコルである．また，このプロトコルは SACK(Selective ACK)[5] を標準使用している．

3 SACK オプション付きでの帯域集約

SACK は，TCP ヘッダを拡張することで送信側に具体的にどのパケットが到達しているかを通知する仕組みである．最大 4 ブロックのフィールドに対し，連続して届いたシーケンス番号の両端の値を格納する．

帯域集約を行った場合，順序が換わって送信側が後に送ったパケットが受信側に先に届いてしまうことがある．これを受けて受信側は見かけ上パケットロスと判断し，SACK オプションが付加されている場合誤ったパケットロスの情報を記入して SACK を返す．その後誤ってロスと判断されたパケットは受信されるが，送信側ではこれらのパケットに対し Fast Retransmit が行われる．これにより輻輳ウィンドウは必要以上に減少し，スループットは著しく低下する．また受信側でパケットが大量に重複して届いてしまう．

4 改良型 SACK の提案

上記の問題点に対して，受信側で SACK ブロックを構築する際２つのルール R1，R2 を加えた改良型 SACK を提案する．以下では，送信側でシーケンス番号は昇順に送られているとし，受信側における累積 ACK の最大値を「累積 ACK ポイント」，順序が換わって先に届いてしまったパケットを「先行パケット」と呼ぶ．

R1. SACK ブロックは１つまでとする．

R2. 累積 ACK ポイントと先行パケットのシーケンス番号の差がある整数 n 以上の場合は累積 ACK ポイントのみ返し，SACK フィールドを使用しない．

上記のルールにしたがって SACK パケットを生成することで，R1 により通常の SACK における誤ったパケットロス通知を無くし，R2 によって大幅な順序違いが生じた際の無駄なパケットロス通知を無くす．

*Bandwidth Aggregation for Multi-homing with Enhanced SACK
†Daigo Tanaka
†Faculty of Science and Technology, Keio University
‡Fumiaki Hirose, Hiroshi Shigeno
‡Graduate School of Science and Technology, Keio University

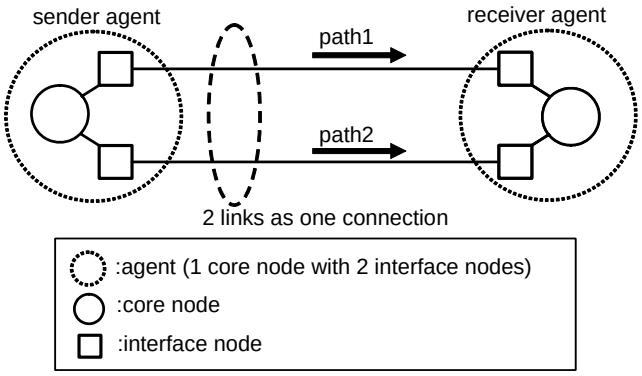


図 1: シミュレーションモデル

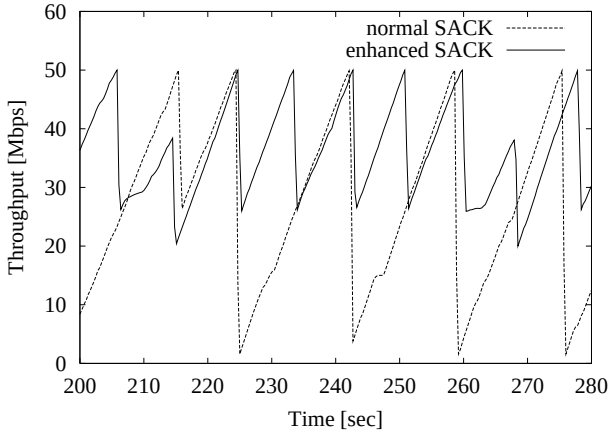


図 2: 改良型 SACK 実装後のスループットの推移

5 シミュレーションによる評価

5.1 SCTP モジュールによる帯域集約

提案方式の有効性を確認するために，Network Simulator Ver.2 を用いたコンピュータシミュレーションを行った．図 1 にシュミレーションモデルを示す．このモデルでは 2 つのコアノード（sender，receiver）それぞれについて 2 つのインタフェースノードを生成し，インタフェース同士をリンクで結ぶことでコアノード間に 2 本のパスを形成している．送信側のコアノードが 1 コネクションにおいて送信パケットを 2 つのインターフェースノードに振り分けて送ることで簡単な帯域集約モデルを構築している．パスごとの帯域幅，遅延などのパラメータは全て同じ値に設定した．

5.2 改良型 SACK を用いた場合のスループットの推移

図 2 に提案方式のスループットの推移を示す．このシュミレーションでは，パスの帯域幅 50Mbps での 1 つのパスにおけるスループットを改良前後について表示している．改良型 SACK を用いた場合，輻輳時のスループットの低下を改良前より抑えられていることがわかる．これは，受信側からの SACK による誤ったパケットロス通知を削減して，輻輳ウィンドウが無駄に小さくなるのを防いだからである．

表 1: 改良前後での性能比較

	帯域使用率 [%]	Fast Retrasmit 数
改良なし	54	319
改良あり	67	12

5.3 実装前後での性能比較

表 1 は，改良前後においてスループット安定時の 100 秒間の帯域使用率，Fast Retransmit の数を比較したものである．表 1 が示すように，提案方式は実装前に比べスループットの向上，Fast Retransmit 数の減少を実現している．

6 まとめ

本稿では，SCTP 環境を用いて帯域集約を行った結果，順序違いによって受信側が誤ったパケットロス通知を行いスループットが低下してしまうという問題に対し，SACK を改良することでスループットの向上を図る提案を行った．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，改良前に対してスループットの向上，Fast Retransmit 数の減少を確認した．

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 Bndwidths on Multi-homed Mobile Hosts, ”ACM/IEEE MOBICOM’02, Atlanta, GA USA, Sep.23-28,2002.

[4] R. Stewart et al, “ Stream Control Transmission Protocol, ”RFC 2960, Oct. 2000.

[5] M. Mathis et al,“ TCP Selective Acknowledgment Options, ”RFC 2018, Oct. 1996.