

モバイルインターネットにおけるTCPトラフィック間の 親和性を考慮した帯域制御法

松下 陽介 松田 崇弘 山本 幹

大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

E-mail: {yosuke,matsuda,yamamoto}@post.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし モバイルネットワークでは、ハンドオーバーによりフローの経路が動的に変動されるため、ネットワーク内部でのトラフィック量の空間的な分布が急激に変動する。これは、ハンドオーバーフローとハンドオーバー先のフロー（非ハンドオーバーフロー）との帯域の競合が発生することを意味し、これにより伝送特性が著しく劣化する可能性がある。本稿では Graceful Degradation という考えに注目し、Graceful Degradation を TCP トラフィックに対し実現するためのトラフィック制御を提案している。Graceful Degradation は、ハンドオーバー時にトラフィック制御を行うことによりハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの両者を大きく劣化させることなく帯域を共用させるための技術である。提案方式は、ネットワーク内部でのトラフィック制御により実現されており、階層的なモバイルネットワークのネットワーク構造に適した効率的な方式である。

Bandwidth Control for Graceful Degradation of TCP Traffic in Hierarchical Mobile Internet

Yosuke Matsushita, Takahiro Matsuda, and Miki Yamamoto

Graduate School of Engineering, Osaka University

2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: {yosuke,matsuda,yamamoto}@post.comm.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract In mobile networks, a handover results in significant degradation of transmission performance due to contention of available bandwidth between handover flows and other flows. In this article, we focus on *graceful degradation*, which gracefully degrades throughputs of both flows with a bandwidth control to avoid bursty packet losses due to the contention. We propose a network supported bandwidth control for graceful degradation of TCP flows, which is suited to a hierarchical network architecture in the mobile Internet.

1 はじめに

モバイルインターネットにおける最大の特徴は、端末の移動により端末の接続しているアクセスポイントが変更される（ハンドオーバー）事である。ハンドオーバーは、ネットワーク内での経路の動的な変更に伴い遅延や、パケット廃棄等が発生させる。したがって、これまでハンドオーバーの発生をユーザに隠蔽するための研究として様々なハンドオーバー制御技術が検討されてきた[1]-[7]。

ハンドオーバーによりフローの経路が大きく変更された場合、トラフィック量の空間的な分布の急激な変化が発生する。ここで、無線帯域を時分割多重などの分割固定割当による共有ではなく無線 LAN のような自律分散的割当を行っている状況において、比較的帯域に余裕があ

るリンクを利用していたフローが、多くのフローが共有する事で帯域に余裕がないリンクに経路変更された場合を考える。この場合、ハンドオーバーフロー及び非ハンドオーバーフロー両者に帯域競合が発生し、輻輳が発生する可能性がある。

例えばセルラ網に代表される回線交換網では、帯域に余裕がない場合はハンドオーバーにより経路変更されたフローそのものをブロックすることにより帯域の競合を回避することが可能であるが、無線 LAN などのフロー間で帯域が共有されるアクセス網を用いたモバイルネットワークでは上記のハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの帯域競合問題は両者の性能に重要な影響を及ぼす。特に、上記のハンドオーバー時の性能劣

化をできるだけ抑えてハンドオーバをユーザに隠蔽する技術が適用された場合には、ハンドオーバフローはそのハンドオーバによる性能劣化を補償する方向の制御が施される事になり、非ハンドオーバフローへの影響は甚大なものとなる。

Graceful Degradation とは、ハンドオーバにより新しく無線リンクに参入してきたハンドオーバフローが既にその無線リンクを使用していたフローのスループットの特性を過度に劣化させる事なく、両者が公平に帯域を共有する状態へなだらかに移行する事を目指す技術である。

本稿では、ハンドオーバフローと非ハンドオーバフローがともに TCP トラヒックである場合の Graceful Degradation について検討している。モバイルネットワークにおいて TCP を用いた場合、ハンドオーバ時に発生するパケットロスにより輻輳制御が動作し、スループットが著しく劣化する。モバイルネットワークでの TCP に対しては、この問題を解決するための研究が多く行われてきたが、Graceful Degradation に関する検討は行われていない。過去の研究と Graceful Degradation の違いは、過去の研究ではハンドオーバトラヒックのみの性能改善を目的としていたのに対し、Graceful Degradation はハンドオーバフローと非ハンドオーバフローの双方の性能改善を目的としている点である。

本稿では、Graceful Degradation をネットワーク内部でのトラヒック制御を用いることにより実現している。モバイルインターネットでは、高速なハンドオーバを実現するためネットワークの階層化が検討されており [8]-[10]、このネットワーク構造を用いると、ネットワーク内部でのトラヒック制御を効率的に実現することができる。さらに、TCP のハンドオーバ時のパケットロスに対する改善方式として著者らが既に提案している帯域制御方式 [3] と組み合わせることにより、ハンドオーバによる劣化を改善し、かつ Graceful Degradation を実現するトラヒック制御を構築することが可能となる。

2 Graceful Degradation

2.1 ハンドオーバの影響

一般にセルラーネットワークや無線 LAN などの無線通信システムでは、無線端末は基地局を介した無線チャネルを用いて通信を行う。1つの基地局が端末と無線チャネルを確立できるエリアは基地局並びに端末の送受信電力により決定される。端末がある基地局と無線チャネルを確立していた状況において、そのエリアから

移動する場合には、無線チャネルの確立が可能な別の基地局に接続を変更する必要がある。この接続基地局変更の動作をハンドオーバという。

ハンドオーバには様々なネットワーク階層が関連する。無線チャネルの切替えは、物理層ならびにデータリンク層が関連する。ネットワーク層で IP を用いた場合には、IP プロトコルは固定ホストを対象としたアドレッシングが基本となっているためにネットワーク層でのハンドオーバ対応技術として、Mobile IP[11] が必要となる。これは、ネットワーク層でのハンドオーバ技術に位置付けられる。トランスポート層に TCP を用いた場合には、移動前のエリアに滞留するパケットが廃棄される事により生ずるバースト的なパケットロスが原因となり、TCP のスループットが大きく減少する事が報告されている。この性能劣化を補償する技術として、様々な方式が提案されている [1]-[7]。

ここで、ハンドオーバによる影響を、ハンドオーバフローと非ハンドオーバフローの双方の観点から検討してみる。ハンドオーバフローについては、ハンドオーバの発生がある程度予測できるため、予防的処置が可能である。例えば、基地局からの受信電力などからハンドオーバを予見し、なんらかの対策を講じることが検討されている。TCP トラヒックを対象とした研究では、ハンドオーバによるバースト的なパケットロス発生を抑制するために、ハンドオーバの発生を予見すると移動前のエリアと移動先のエリアの双方に同一セグメントのある期間転送するバイキャスト [4][5] という方法が提案されている。この方法を用いた場合、ハンドオーバによるバースト的なパケットロスの発生が回避でき、ユーザにハンドオーバの発生を隠蔽できる。

次に、非ハンドオーバフローの観点から、他のフローのハンドオーバの影響を検討してみる。非ハンドオーバフローについては、他のフローのハンドオーバの発生は全く予測できない。このため、ハンドオーバに対する予防的処置が行えず、ハンドオーバフローの加入により甚大な影響を被る可能性がある。例えば、TCP を用いた通信において、ハンドオーバフローがバイキャストによる予防処置を施しハンドオーバによる性能劣化を補償している場合、その補償により大量のトラヒックが一気に流入する可能性があり、非ハンドオーバフローに対して大幅な性能劣化を引き起こす可能性がある。

移動体電話などの回線交換ネットワークや RSVP など、QoS 制御により基地局などが帯域を管理できる場合には、ハンドオーバにより規定の性能を満足できない状態に陥る事が事前にわかるため、ハンドオーバ時の影響を基地局において抑制する事が可能である。ところ

が、無線 LAN などの自律分散制御による帯域共有を実現するネットワークにおいては、ハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの競合問題は重要な技術課題となる。

2.2 Graceful Degradation の概念

前節で述べたように、ハンドオーバーに対しては、その影響をユーザに隠蔽する方向での研究が多くなされてきた。筆者らの知る所では、非ハンドオーバーフローがハンドオーバーフローにより被る影響を考慮した研究は皆無である。

ハンドオーバーフローが参入した後ある期間が立てば、ハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローが公平に無線リンク帯域を共有している状況に落ち着く事が望まれる。非ハンドオーバーフローについては、この定常状態における性能は、ハンドオーバー発生以前の性能より劣化するのは明らかである。例えば、 n 本のフローが公平に帯域を配分している状況では $1/n$ の帯域を確保できるのに対し、ハンドオーバーにより $(n+1)$ 本のフローが存在する状況に移行した場合には公平な帯域配分量は $1/(n+1)$ に減少する。このことから、ハンドオーバーは非ハンドオーバーフローに対し、性能劣化という影響を必然的に及ぼす事がわかる。

この 2 つの定常状態の間、すなわちハンドオーバー以前の公平帯域配分状態と、ハンドオーバー後の公平帯域状態の間をなだらかに移行させる技術が、Graceful Degradation である。

2.3 TCP における Graceful Degradation

TCP においては、同一条件下の複数のフローが帯域を共有する場合、公平な資源配分が実現できる事が知られている。すなわち、ハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローが TCP をトランスポート層に用いている場合には、ある一定期間経過後にはハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローは公平に帯域を共有する事が期待できる。

ここで、公平配分状態に移行する前の過渡的状態、すなわちハンドオーバーにより新しくフローが加入した時点から定常的な公平配分状態に至るまでの段階を検討してみる。ハンドオーバーによるパケットロスを軽減するための処置としてパイキャストなどを用いた場合には、ハンドオーバー前に利用していた帯域分のフローが大量に流れ込むためハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの双方にパケットのバーストロスが発生する。TCP の輻輳制御では、バーストロスが発生すると、再

送タイムアウトのメカニズムによりスロースタートアルゴリズムが動作する。この場合には、ハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの双方のスループットが著しく劣化し共有リンクの利用率が激減する。

したがって TCP における Graceful Degradation を実現するには、ハンドオーバーフローのパケットを再送タイムアウトが発生しない程度に徐々に流入する必要がある。その結果 TCP の輻輳制御における帯域の自動調節機能によりスループットが極端に劣化する事なくハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの帯域が公平となる状態へのなだらかな移行が可能となる。

3 ネットワーク支援技術によるトラヒック制御技術

3.1 ネットワーク支援技術

本稿では、ネットワーク内部でのトラヒック制御による Graceful Degradation の実現方法を提案している。インターネットでは、基本的にトラヒック制御などの高機能な処理はエンドノードで行うことを前提としている。ところが、QoS 制御に代表されるより高度なサービスを提供するために、アクティブネットワーク技術などのネットワーク支援技術によるネットワーク内部での制御技術が検討され、その有効性が確認されている [14][15]。ネットワーク支援技術を用いるには、本来エンドノードで行うべき制御をネットワーク内部で行うことの必然性、有効性が重要である。本節では、モバイルネットワークがネットワーク支援技術に適したネットワーク構造を持っていることを示す。

3.2 モバイルインターネットのネットワーク構造

Mobile IP では、ホームエージェントに端末が現在インターネット上に接続している位置を表す Care-of Address(CoA) とノード識別子である Home Address を登録する事によって移動性を確保する。無線端末はハンドオーバーが発生するたびに CoA の登録を行わなくてはならないため、無線端末の接続位置とホームエージェントの距離によっては、高速ハンドオーバーには対応できない。また、ハンドオーバーの度に制御パケットがインターネット上に流れる事になり、余分なトラヒックが増加する。そこで、近年では広範囲の IP レベルでの移動性を Mobile IP で実現し、特定エリア内の狭い範囲での移動性を他のマイクロモビリティプロトコルで実現する事が検討されている [8]-[10]。マイクロモビリ

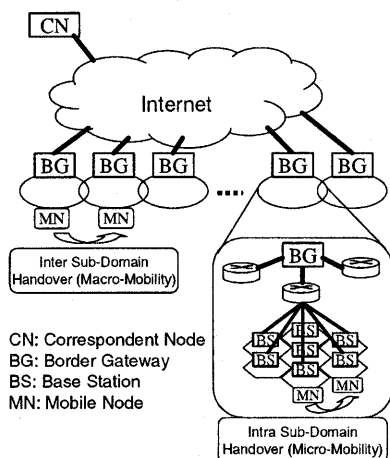


図 1: 階層化モバイルインターネットの構造

ティプロトコルでは、図 1 に示すように、ネットワーク全体はコアネットワークと複数の基地局を含むサブドメインに分割された階層構造をもつ。サブドメイン内での基地局間の移動については境界ルータ (Border Gateway) でハンドオーバー処理を行う。

3.3 モバイルインターネットにおけるトラヒック制御

階層化されたモバイルネットワークでは、サブドメイン内でのハンドオーバーに伴う経路変更は、境界ルータにおいて行われる。これは、サブドメイン内に流入するすべてのトラヒックはこの境界ルータに集約されることを示している (図 2)。したがって、この境界ルータにネットワーク支援技術の機能を実装することにより、サブドメイン内のすべてのユーザに対し、ネットワーク支援技術によるサービスを効率的に提供することができる。つまり、階層化モバイルネットワークは、ネットワーク資源技術に適したネットワーク構成であるということが出来る。そこで、提案方式では、境界ルータに帯域制御機能を付加する事により、サブネット内のトラヒック制御を行う。

4 TCP トラヒック間の親和性を考慮したトラヒック制御技術

本節では提案方式について詳しく解説する。本稿ではハンドオーバーの発生はサブドメイン内に限定し、また

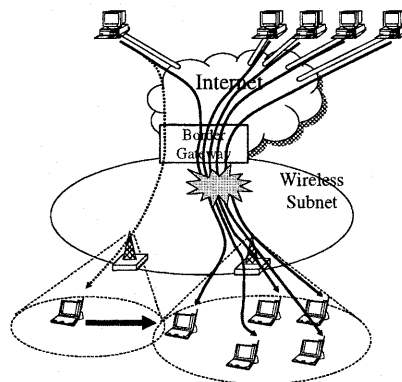


図 2: モバイルインターネットにおけるトラヒック制御

ハンドオーバーによるパケットロス発生は何らかの手段により回避されているものと仮定する。提案方式では、ハンドオーバーフローを一度に新しい経路に流入させず、境界ルータにキャッシュし、少しずつ流入させるパケットを増加させ Graceful Degradation を実現する方式である。流入させるパケット数は境界ルータでハンドオーバーフローに対し設定されたウィンドウサイズ wnd で制限し、これを少しずつ増加させる事により流入させるパケット数を増加させる。

提案方式の動作は以下の通りである。

- (1) ハンドオーバー終了後ハンドオーバーフローに対し提案方式の動作終了を示すタイマー (タイムアウト発生時間 τ) を設定する。
- (2) $wnd = 1$ として境界ルータにキャッシュされたパケットを送出する。
- (3) ハンドオーバーフローの受信ノードから送信された ACK により、境界ルータから送出されたパケットが受信ノードに届いていると判断されれば $wnd = wnd + 1$ とする。
- (4) ACK のシーケンス番号が順序通りに返ってこなかった場合、パケットロスが発生したと判断し、(2) に戻る。
- (5) ACK が時間 δ を過ぎても返ってこなければパケットロスが発生したと判断し、(2) に戻る。 δ は境界ルータと受信ノード間の RTT を用いて TCP の再送タイマと同様の原理 [16] により計算される値である。

(6) 時間 τ が経過すると、キャッシュが解放され、通常の TCP 伝送に戻る。

上記の (2)(3) より明らかなように提案方式は TCP のスロースタートアルゴリズムと類似している。しかし、ハンドオーバー自体の packets はキャッシュ内に存在しており、ハンドオーバーと非ハンドオーバーの帯域競合によるパストロスの結果発生するスロースタートとは根本的に異なる。この場合には、ハンドオーバーと非ハンドオーバー双方のスループットが劣化するだけでなく、パストロスを検知するため TCP の送信ノードは再送タイマが動作するまでの間待たねばならない。

5 シミュレーション結果

5.1 シミュレーションモデル

提案方式の評価のためのシミュレーションモデルを図 3 に示す。有線ネットワーク上の固定ノードより無線端末にデータを転送する場合を想定する。受信ノードである無線端末は全部で 6 ノードが存在する。そのうち 5 ノード (FN) は非ハンドオーバーとして同一リンクを共有しており、移動は行わないものとする。1 ノード (MN) はハンドオーバーとしてその共有リンクと単独で使っているリンクを交互に移動するものとする。すなわち、図 3 における状態 (a) と状態 (b) を繰り返す。ハンドオーバーの発生間隔は平均 T の指数分布により決定する。データリンク層ではハンドオーバーによる瞬断は発生しないと仮定し、ネットワーク層での経路切替えに要する時間を $t=60\text{msec}$ とする。また、TCP としては TCP-Reno を用いるものとする。その他のパラメータは以下の通りである。ただし、 B は通常の IP ルータの出力バッファのサイズであり、 B_c はハンドオーバー用のキャッシュバッファのサイズである。図 4 に示すように、提案方式が動作している間、ハンドオーバーの packets はトラヒック制御のため、一度キャッシュに蓄えられ、キャッシュよりこのバッファに入力されることになる。

- パケット長 1024bytes
- ルータ内バッファサイズ (送信用) $B = 50[\text{packets}]$
- ルータ内バッファサイズ (キャッシュ用) $B_c = \infty$

5.2 評価指標

提案方式を適用する無線システムとしては 2 節で述べたように無線 LAN などのようにフローに回線が固定

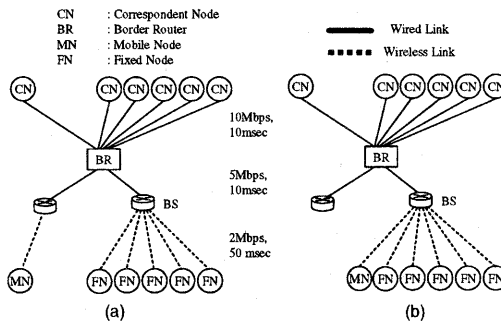


図 3: シミュレーションモデル

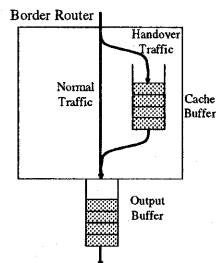


図 4: 境界ルータバッファ

的に割り当てられないシステムがふさわしい。しかし、本節では簡単のため無線リンク上での帯域の競合は発生せず、各フローに固定的に帯域が割り当てられ、境界ルータ-基地局間のリンクでのみ競合が発生するものとする。ハンドオーバーの平均スループットを γ_M とし、非ハンドオーバーの平均スループットを γ_F とする。本来、平均スループットは図 3(a), (b) の両方の状態の平均から求めるべきであるが、提案方式による帯域の競合の改善度合をはかるために図 3(b) の状態での平均スループットを用いる。非ハンドオーバーは 5 つ存在するが、全て同条件でシミュレーションされるためスループット特性に関してフローの区別はしない。また、図 3(b) の状態に 6 つの受信ノードが常に固定されていると仮定した場合 (MN は移動しない) の平均スループットを $\bar{\gamma}$ とする。提案方式の効果をスループット比 $\gamma_M/\bar{\gamma}$, $\gamma_F/\bar{\gamma}$ を用いて評価する。スループット比が 1 に近いほど、ハンドオーバーと非ハンドオーバーが公平に帯域を共有している事を示しており、Graceful Degradation が実現されている。

提案方式は、4 節で説明したようにハンドオーバーによるロスは何らかの方法で回避されているという前提の

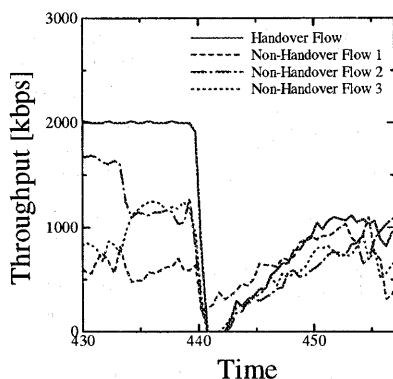


図 5: パイキャストを用いた場合のスループット

もとで構築されている。本稿では、提案方式に対しては、このパケットロスに文献 [3] で提案された方式を用いて回避する。この方式はハンドオーバー時に境界ルータにおいてハンドオーバーフローに割り当てる帯域を抑える事によりパストロスを回避する方式である。ハンドオーバーによるパストロスの回避方式としてこの方式を用いるのは、境界ルータにおける制御であり、ハンドオーバーフローをキャッシュするため、パストロスを回避しても帯域競合が発生するわけではないためである。

また、提案方式と比較する方式として、パイキャストを用いる。パイキャストでは、ハンドオーバーによるパケットロスは発生しない。したがって、提案方式とパイキャストを比較することは、ハンドオーバーによるパケットロスの影響を考えず Graceful Degradation のみの効果を評価する事を示している。

5.3 シミュレーション結果

5.3.1 各方式のスループット

図 5 はパイキャストを用いた場合のスループットの時間推移である。図より、パイキャストでは、ハンドオーバーフローと非ハンドオーバーフローの帯域の競合が発生するためパスト的なパケット廃棄が発生し、双方のフロー共に再送タイムアウトが発生し、スロースタートにより通信が再開されている。

図 6 は提案方式を用いた場合のスループットの時間推移である。提案方式を用いた場合、帯域を制御しているため、非ハンドオーバーフローのパケット ACK のシーケンス番号が先に送ったはずのパケットを示していれば、パケットロスが発生したと判断し、(2)に戻る。トがパー

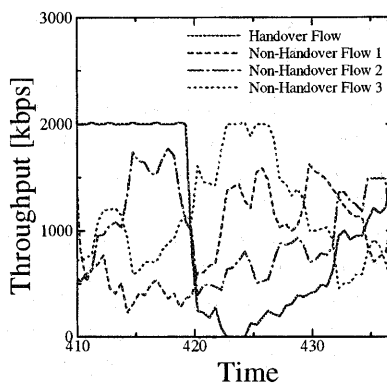


図 6: 提案方式を用いた場合のスループット

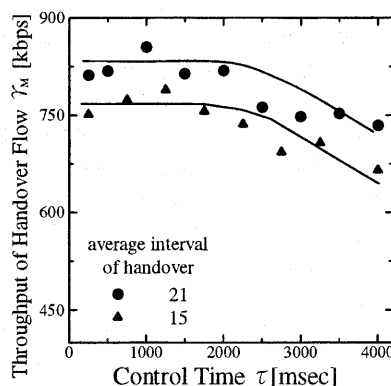


図 7: τ に対するハンドオーバーフローのスループット特性

スト的に廃棄されていない。また、ハンドオーバーフローはスロースタートアルゴリズムにより徐々にスループットを増加させていることがわかる。

5.3.2 タイマの設定時間 τ に対するスループット特性

次に、タイマーの設定時間 τ に対する特性を評価する。図 7 は τ に対する γ_M である。 γ_M は $\tau = 2.5[\text{sec}]$ 前後まではあまり変化しないが、それ以上になると徐々に劣化しはじめる。提案方式の動作 (4)(5) で説明したように、提案方式動作中に境界ルータ-受信ノード間でパケットロスが発生すると、 $wnd = 1$ にリセットされる。したがって、キャッシュ内のパケットが少なくなり非ハンドオーバーフローと帯域を共用できる状態である

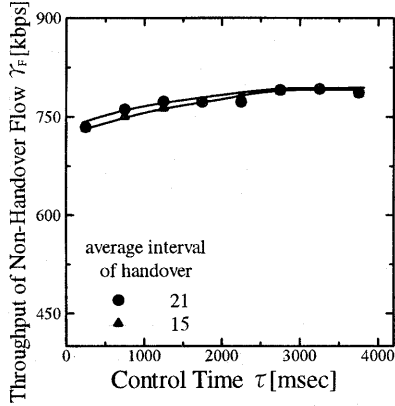


図 8: τ に対する非ハンドオーバーフローのスループット特性

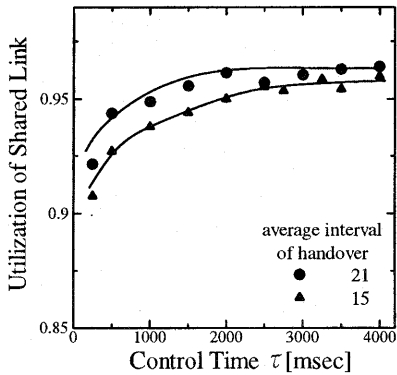


図 9: τ に対する共有リンク利用率

にもかかわらず提案方式により帯域が抑えられている可能性があり、この場合には τ が長くなるに従いスループットが低くなる。図 8 は τ に対する γ_F を示している。 τ が小さい場合には、ハンドオーバーフローのキャッシュ内のパケットが多く残っているため、提案方式の動作終了後に帯域の競合が発生する可能性があり、スループットは低い。が、 τ が大きくなるにつれてスループット特性は改善していることがわかる。以上の結果より τ を大きくするとハンドオーバーフローの特性が劣化し、小さくすると非ハンドオーバーフローの特性が劣化することがわかる。図 9 は τ に対する共有リンクの利用率を示したものである。図より $\tau = 2.5[\text{sec}]$ 以上になると利用率が 1 に近い値を保っている事がわかる。以下では共有

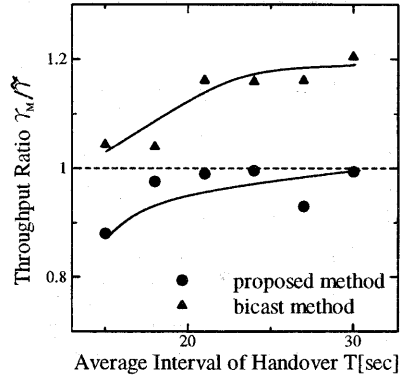


図 10: 平均ハンドオーバー発生間隔 T に対するハンドオーバーフローのスループット特性

リンクの利用率高く保ち移動ノードのスループットを劣化させないという立場から $\tau = 2.5[\text{sec}]$ に設定したシミュレーション結果を示す。

5.3.3 他方式との性能比較

図 10, 11 はそれぞれハンドオーバーの平均発生間隔 T に対する $\gamma_M/\bar{\gamma}$, $\gamma_F/\bar{\gamma}$ を示している。図よりバイキャストでは、 $\gamma_M/\bar{\gamma}$ が 1 を大きく上回っている事がわかる。これはハンドオーバーフローが余分な帯域を占有している事を示している。バイキャストでは、ハンドオーバー時の経路切替途中に双方向にデータを送信する。つまりハンドオーバー途中で帯域の競合が発生している事になる。しかし、競合が発生したとしても非ハンドオーバーフローのパケットは廃棄されるのに対し、ハンドオーバーフローの受信ノードは移動前の基地局からパケットを受けとる事ができる。したがって、非ハンドオーバーフローのスループットの劣化により空いた帯域分だけ、ハンドオーバーフローは帯域を占有する事になる。一方、提案方式は $\gamma_M/\bar{\gamma}$, $\gamma_F/\bar{\gamma}$ ともにほぼ 1 に近い値を示しており、Graceful Degradation が達成されている事がわかる。図 12 は共有リンクの利用率を示したものである。図より提案方式はバイキャストより高い利用率を実現しており、このことから提案方式が Graceful Degradation を実現する上で有効である事がわかる。

6 まとめ

本稿では階層化モバイルインターネットにおける境界ルータにおいて帯域制御を行なう事により、TCP トラヒックに対する Graceful Degradation を実現するた

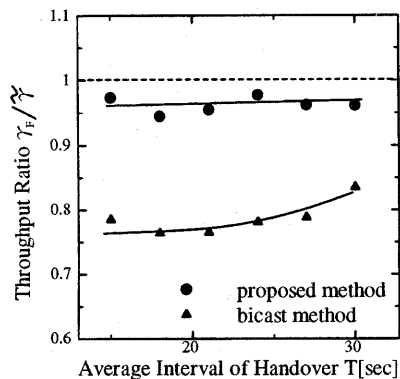


図 11: 平均ハンドオーバー発生間隔 T に対する非ハンドオーバーフローのスループット特性

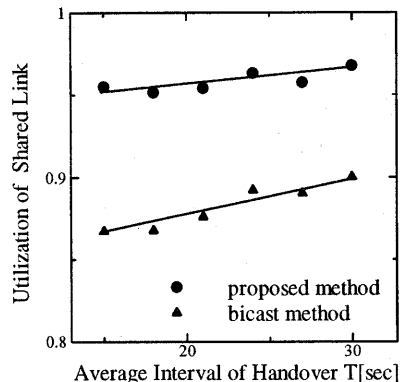


図 12: 平均ハンドオーバー発生間隔 T に対する共有リンクのリンク利用率

めの方法を提案した。計算機シミュレーションにより、提案方式を用いる事でハンドオーバーフローが非ハンドオーバーフローに与える悪影響を回避できる事を示した。本稿で検討した Graceful Degradation は従来のモバイルネットワークにおける TCP の研究にはない新しい概念である。この考えは、特にユーザの密度、アクセス網などの点でヘテロジニアスな環境にある時に最も絶大な効果を発揮するものと予想される。

参考文献

- [1] T. Goff, J. Morosaki, and D. S. Phatak, "Freeze-TCP: A True End-to-End TCP Enhancement Mechanism for Mobile Environments," Proc. of IEEE INFOCOM 2000, pp. 1537-1545, 2000
- [2] K. Brown and S. Singh, "M-TCP: TCP for Mobile Cellular Networks," ACM Computer Communication Review, vol. 27, No.5, pp.19-43, Oct. 1997.
- [3] 松下, 佐藤, 松田, 山本 "無線 TCP のハンドオーバーに対応したネットワーク帯域制御法" 電子情報通信学会技術報告 NS2002-26, 2002 年 5 月.
- [4] P. R. Calhoun, T. Hiller, J. Kempf, P.J.MaCann, C. Pairla, S. Thalanaly, and A. Singh, "Foreign Agent Assisted Hand-off," Internet draft, draft-calhoun-mobileip-proactive-fa03, work in progress, Nov. 2000.
- [5] A. E. Yegin, C. E. Perkins, G. Domety, K.El-Malki, and M. Khalil, "Fast Handovers for Mobile IPv6," Internet draft, draft-ietf-mobileip-fast-mip6-04, work in progress, Mar. 2002.
- [6] G. Krishnamurthi, R. C. Chalmers, and C. E. Perkins, "Buffer Management for Smooth Handovers in Mobile IPv6," Internet draft, draft krishnamurthi-mobileip-buffer6-00, work in progress, Jul. 2000.
- [7] A.O'Neill, S.Corson, and G.Tsirtsis, "Generalized IP Handoff," Internet draft, draft-oneil-craps-handoff-00, work in progress, Aug.2002.
- [8] H. Soliman, C. Castelluccia, K.El-Malki, and L. Bellier, "Hierarchical MIPv6 mobility management (HMIPv6) Internet draft," draft-ietf-mobileip-hmip6-06, work in progress, Jul. 2002.
- [9] R. Ramjee, T. La Porta, S. thuel, K. Varadhan, and S. Y. Wang, wireless networks, "HAWAII: a domain-based approach for supporting mobility in wide-area wireless network" Proc of ICNP '99 pp. 283-292, 1999.
- [10] A.G.Valko, "Cellular IP - A New Approach to Internet Host Mobility," ACM Computer Communication Review, pp. 50-65, Jan.1999.
- [11] D. B. Hohnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," Internet draft, draft-ietf-mobileip6-18, work in progress, Jun. 2002.
- [12] Seisho Yasukawa et al, "Scalable Mobility and QoS Support Mechanism for IPv6-base Real-time Wireless Internet Traffic", in Proc of GLOBECOM '01. IEEE, 2001.
- [13] Yu Cheng, Weihua Zhuang, "DiffServ Resource Allocation for Fast Handoff in Wireless Mobile Internet," IEEE Communications Magazine, May. 2002.
- [14] 山本 幹, "アクティブネットワークの技術動向", 電子情報通信学会論文誌, vol.J-84-B, no.8, pp.1401-1412, 2001 年 8 月.
- [15] 山口 誠, 橋本 隆, 山本 幹, 池田博昌, "Active Network 技術を適用した信頼性マルチキャストプロトコルの性能評価", 電子情報通信学会論文誌「ネットワークの変革とソフトウェア」論文小特集, vol.J-84-B, no.3, pp.334-343, 2001 年 3 月.
- [16] W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols, Addison Westley, 1994.