

# 通信媒体切替時の TCP の性能劣化に対する改善手法の提案とその効果

塚本 和也<sup>1</sup> Kazuya Tsukamoto      福田 豊<sup>1</sup> Yutaka Fukuda      堀 良彰<sup>2</sup> Yoshiaki Hori      尾家 祐二<sup>1</sup> Yuji Oie

九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科<sup>1</sup>  
Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology.  
九州芸術工科大学 芸術工学部<sup>2</sup>  
Department of Art and Information Design, Kyushu Institute of Design.

## 1. はじめに

近年インターネットは飛躍的な発展を遂げ、その接続方法、利用方法は多様化してきた。最近では特に「いつでも」「どこでも」インターネットに接続したいという利用者の要求に伴い、移動端末による無線を介したインターネット接続に注目が集まっている。

無線を介したインターネット接続方法の一つとして携帯電話が挙げられる。将来移動端末の all IP 化が実現すると、携帯電話を通じた、屋外での広範囲なインターネット接続サービスを提供する事が可能となる。

それ以外の無線を介したインターネット接続方法としては無線 LAN が挙げられる。この無線 LAN のサービスの提供範囲は携帯電話サービスに比べて狭いが、比較的高速なデータ通信を可能とする。無線 LAN によって屋外の特定の場所での高速なネットワーク接続サービスが提供可能となる。

以上のような状況を踏まえると将来の移動端末は複数の通信媒体を備えており、通信条件に応じて動的に最適な通信媒体を選択すると考えられる。このような環境では、通信媒体の切替による IP アドレスや、帯域の変化等を考慮した通信方式の提供が必要となる。

一方、現在のインターネット通信は IP アドレスを用いて通信相手を識別し、TCP を用いて通信を行うことで End-to-End 間で信頼性ある通信を実現している。TCP はフローを (始点アドレス, 始点ポート番号, 終点アドレス, 終点ポート番号) の 4 つのパラメータによって識別している。このため通信媒体の切替により IP アドレスが変化すると、切替後のフローは異なるフローとして認識されてしまう。その結果 TCP コネクションは切断され通信は途切れる。

これらの問題を解決するために、MIT の Alex 氏は通信媒体の切替に伴う IP アドレスの変化を考慮した TCP コネクション継続機構 [1] を提案している。しかしこの機構では通信媒体の切替に伴う急激な帯域変化を考慮した TCP フロー制御は行っていない。そこで本稿では通信媒体の切替に伴う急激な帯域変化を考慮した TCP フロー制御方式を提案し、シミュレーションによりその提案手法の有効性を示す。

## 2. 帯域変更を考慮した TCP フロー制御方法

Alex 氏らの提案 [1] では従来の TCP に加えて、通信を行う双方の端末が TCP コネクションを継続する事が可能かどうかをコネクション確立時に確認する Permit オプション、通信媒体の切替に伴う IP アドレスの変化を通信相手端末に知らせる Migrate オプションを付加している。本稿ではこの機構を用いた TCP 通信を以降 MIT と定義する。

Alex 氏らの提案 [1] では既存の TCP フロー制御を使用しているため、通信媒体の切替を考慮していない。このためコネクション再接続後、(1) データ通信が開始されるまでタイムアウト待ち時間が発生、(2) 効率的な通信が行えない等の問題点が生じる。本稿ではこれらの問題点を改善するために以下の 2 つの手法を提案する。

### • Fast Expire:

Alex 氏らの提案機構 [1] により TCP コネクション継続後、すぐにスロースタートによってデータ通信を再開する事で (1) の問題点を解決する。この提案手法の動作を取り入れたものを本稿では以降 Fast Expire と定義する。

### • Bandwidth Aware:

Alex 氏らの提案機構 [1] により TCP コネクション継続後、Fast Expire の動作に加えてデータ通信再開時に帯域推定手法 [2] を用いる事で切替られた通信媒体に適した *ssthresh* 値を決定する。これにより帯域の変化を考慮した効率的な通信が可能となり、(2) の問題点を解決する。本稿ではこの提案手法を取り入れたものを以降 Bandwidth Aware と定義する。

## 3. シミュレーションモデル

本稿では図 1 に示すような AR (Access Router) を介して固定端末である Source と移動端末である Destination が通信しているモデルを用いてシミュレーション実験を行う。シミュレータとしては TCP の性能評価に広く用いられている NS Version 2 に前章で述べた提案手法を追加したものを用いる。

全体のシミュレーションは 60 秒間行い、シミュレーション開始から 10 秒の時点で通信媒体の切替を開始する。通信媒体の切替にかかる時間を 0.5 秒とし、TCP フロー数は 1 本、TCP パケットサイズは 1000 バイトとした。TCP のアルゴリズムは Newreno を使用した。AR から移動端末までの wireless link としては、無線 LAN (802.11b) と IMT-2000 を想定した。本稿では通信媒体切替時の過渡特性を評価するために、TCP の *cwnd* 特性とスループット特性に着目し評価を行った。

## 4. シミュレーション結果

AR から移動端末間の通信媒体切替時の *cwnd* 特性とスループット特性に着目した性能評価を行った。本節ではそのシミュレーション結果を示し、考察する。

### 4.1. 無線 LAN から IMT-2000 への切替

本節では、AR から移動端末間の通信媒体を無線 LAN から IMT-2000 へと切替した場合について調査する。この通信媒体の切替により AR から移動端末間の帯域は 11Mb/s から 384Kb/s へ、遅延は 15msec から 70msec

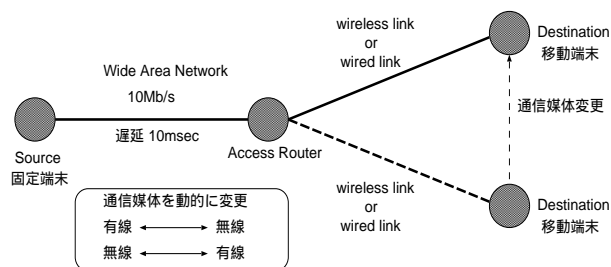


図 1 シミュレーションモデル

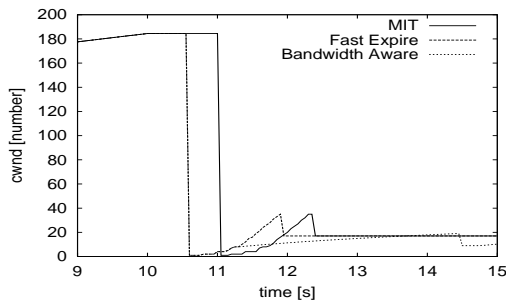


図 2 cwnd 特性 (11Mb/s 384Kb/s)

表 1 スループット特性 (11Mb/s 384Kb/s)

帯域切替パターン 11 Mb/s 384 K Mb/s	スループット Mb/s(%)
MIT	0.05035(13.1)
Fast Expire	0.12207(31.7)
Bandwidth Aware	0.29144(75.9)

へと変更するものとした。

図 2 は、通信媒体切替直後の *cwnd* 特性を示した図である。図 2 から MIT の場合は通信媒体の切替完了直後 (10.5 秒) からタイムアウト時間を待ち (11 秒付近まで)、その後 *cwnd* が変化していないことがわかる。これは通信媒体の切替に伴い、AR で廃棄されたパケットを、送信側が Newreno のファストリカバリアルゴリズムによって再送しているためである。

Fast Expire を用いた通信では、通信媒体の切替完了直後からスロースタートによって通信を再開している様子が *cwnd* の指数的な増加から確認できる。しかしその後 *cwnd* は変化していない。広帯域な通信媒体から狭帯域な通信媒体へと切替える場合、帯域に最適な *ssthresh* は小さくなるが、通信再開後の送信側は通信媒体切替以前の *ssthresh* までスロースタートによって指数的に *cwnd* を増加させ、パケットを送信しようとするため、通信再開直後にパケットロスが生じる。*cwnd* が変化しないのは、このロスパケットを送信側が Newreno のファストリカバリアルゴリズムによって再送しているためである。

Bandwidth Aware を用いた通信は、通信媒体の切替完了直後すぐにスロースタートによって転送を開始し、加えて切替後の通信媒体の帯域推定を行い、通信媒体切替後も帯域に最適な *ssthresh* を決定しているため、パケットロスが生じず、効率的な通信を行っている様子がわかる。

続いて通信媒体切替時のスループットの過渡特性を評価するために 10 秒から 15 秒の 5 秒間の平均スループットの値を表 1 に示す。( ) 内はリンク帯域で正規化した値である。

表 1 を見ると、Bandwidth Aware のスループットは MIT に比べ約 6 倍、Fast Expire に比べ約 2 倍と良好なスループットを示すことを確認した。

#### 4.2. IMT-2000 から有線 LAN への切替

本節では、AR から移動端末間の通信媒体を IMT-2000 から有線 LAN へと切替えた場合について調査する。この通信媒体の切替により AR から移動端末間の帯域は 384Kb/s から 100Mb/s へ、遅延は 70msec から 5msec へと変更するものとした。

図 3 は、通信媒体切替直後の *cwnd* 特性を示した図である。図 3 から MIT の場合は、通信媒体の切替完了直後 (10.5 秒) から、タイムアウト時間 (11 秒付近まで) を待って通信を開始している様子がわかる。

Fast Expire を用いた通信は、通信媒体切替直後から通信を開始していることがわかる。しかし

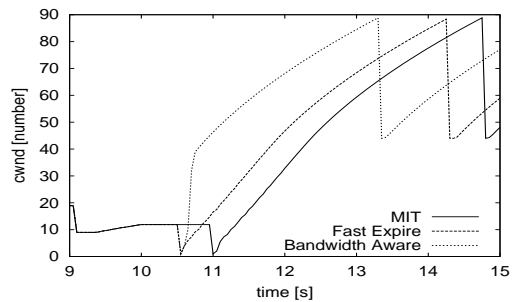


図 3 cwnd 特性 (384Kb/s 100Mb/s)

表 2 スループット特性 (384Kb/s 100Mb/s)

帯域切替パターン 384 Kb/s 100 Mb/s	スループット Mb/s(%)
MIT	7.05566(70.5)
Fast expire	7.54852(75.5)
Bandwidth adaptation	8.21838(82.2)

Bandwidth Aware と比較すると、通信開始後の *cwnd* の増加が鈍い事がわかる。これは前節とは逆に、狭帯域な通信媒体から広帯域な通信媒体へと切替える場合、帯域に最適な *ssthresh* は大きくなるが、通信再開後の送信側は通信媒体切替以前の小さな *ssthresh* までしかスロースタートによって増加しないため、通信再開直後に輻輳回避モードによる転送を開始しているためである。

Bandwidth Aware を用いた通信は、通信媒体の切替終了後すぐにスロースタートによって転送を開始し、加えて切替後の通信媒体の帯域推定を行っている。このため通信媒体切替後も帯域に最適な *ssthresh* を決定しているため、指数的に *cwnd* が増加し、効率的な通信を行っている様子が分かる。

続いて通信媒体切替時のスループットの過渡特性を評価するために 10 秒から 15 秒の 5 秒間の平均スループットの値を表 2 に示す。( ) 内はリンク帯域で正規化した値である。

表 2 を見ると、Bandwidth Aware のスループットは MIT に比べ約 1.2 倍、Fast Expire に比べて約 1.1 倍と良好なスループットを示すことを確認した。

#### 5. まとめ

将来の移動端末は複数の通信媒体を持ち、状況に応じて最適な通信媒体に動的に切替える機構を有すると考えられる。

そこで本稿では、IP アドレスの切替時に TCP コネクションを継続可能な機構 [1] に加えて、急激な帯域の変更を考慮した TCP フロー制御方式として新たに Fast Expire, Bandwidth Aware を提案した。また二つの提案手法について様々な帯域の通信媒体を切替えてシミュレーションを行い評価した結果、Bandwidth Aware を用いることで、通信媒体切替後において最も効率的な通信が可能となることを確認した。

本稿の前提は移動端末と固定端末の通信に限定されている。両方の端末が移動端末である際に、通信を継続するための機構の開発とその性能評価が今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] Alex C. Snoeren and Hari Balakrishnan, "An End-to-End Approach to Host Mobility", *ACM/IEEE MobiCom'00*, no. 6, pp. 155-166, Boston, Aug., 2000.
- [2] Janey C. Hoe, "Improving the Start-up Behavior of a Congestion Control Scheme for TCP", *Proc. ACM SIGCOMM'96*, pp 270-280, Aug., 1996.