

# モバイル環境のためのハンドオフ検出型 TCP の提案

グエン・タン・チュン<sup>†</sup>, 中村 直毅<sup>†</sup>, 小出 和秀<sup>†</sup>, 北形 元<sup>†</sup>  
菅沼 拓夫<sup>†</sup>, 白鳥 則郎<sup>†</sup>

あらまし 現在の TCP(Transport Control Protocol) は固定ネットワークを想定して設計されたので, モビリティ性をサポートしない. その結果, モバイル環境において端末は他のネットワークへ移動し, 通信媒体を切り替えると, ハンドオフが生じ, TCP コネクションが切断されてしまう. また, ハンドオフ後に, スロースタートアルゴリズムにより効果的な TCP 通信再開を実現できない. そこで, 本研究では, モバイル環境において, ハンドオフ時のタイムアウトにより TCP コネクションが切断されるという問題を解決するため, 無線信号の強度 (Signal Strength) を用いて, 端末のハンドオフを検出し, TCP コネクションの状態を維持する手法を提案する.

キーワード TCP, ハンドオフ, 信号強度, モバイル環境

## A model of handoff detectable TCP for mobile environment

Nguyen Thanh Trung<sup>†</sup>, Naoki Nakamura<sup>†</sup>, Kazuhide Koide<sup>†</sup>, Gen Kitagata<sup>†</sup>  
Takuo Suganuma<sup>†</sup>, Norio Shiratori<sup>†</sup>

**Abstract** TCP(Transport Control Protocol) is designed for fixed network, so it can't support mobility. As the result, in mobile environment, when a mobile node moves from its network to another network, a handoff will take place and cause TCP disconnection. Furthermore, TCP recovery will be slow because of slow-start algorithm. In this paper, by using signal strength, we propose a model of handoff detectable TCP for mobile environment, that will solve the above problem.

**Keywords** TCP, handoff, signal strength, mobile environment.

### 1 はじめに

近年, インターネットが急速に発達し, 従来の固定端末によるインターネットへの接続に加えて, 「いつでも」, 「どこでも」, 「誰でも」インターネットに簡単に接続したいという要求が高まってきた. この要求に従い, 無線ネットワーク接続技術が注目され, 現在新しい技術の研究・開発が急速に進んでいる.

現在のインターネット通信は End-to-End 間で信頼性がある通信を実現するために, 主に TCP を用いて通信を行っている. しかし, TCP は有線ネットワークを想定して設計され, ネットワークのモビリティ性をサポートしない. つまり端末は自分の移動の検出やコネクションの継続性などの機能を持っていない. その結果, 無線通信で, 端末の移動によりハンドオフが起こった時, 端末の IP アドレスが変化し, TCP コネクションが切断されており, 通信が切

断されてしまう.

固定ネットワークでは, パケット損失の主な原因は輻輳である. しかし無線ネットワークでのパケット損失の原因は輻輳よりも移動端末のハンドオフにより生じる事が考えられる. そのため, 無線ネットワーク通信で, たとえ一つパケットが損失されても, TCP はそれを輻輳と考え, ウィンドウサイズを半減し, 輻輳御が行われる. その輻輳制御と TCP のスロースタートメカニズムにより, 受信側がネットワーク切断から早く回復するにもかかわらず, 送信側では通信レートの回復が遅くなってしまい, スループットが低下してしまう場合がある.

以上の問題点から, 無線通信のハンドオフに効果的な TCP 通信を実現するためには, 「TCP コネクションの継続」と「効果的な通信再開」という二つ課題を解決しなければならない. 前者を解決する機構としては, IP 層でモビリティを管理する Mobile IP[1] や Migrate TCP[2] などが既に提案されたが, これらの提案は後者の問題点を解決できていない.

<sup>†</sup>東北大学電気通信研究所/情報科学研究科 Research Institute of Electrical Communication/ Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

また、後者の問題を解決するために、TCP advertised window control function や TCP-MD&R がある。しかし、この問題を完全に解決できるわけではない。

そこで、本研究では、モバイル環境に適した TCP を実現するために、ハンドオフ検出型 TCP を提案する。具体的には、無線信号の強度 (Signal Strength) を用いて、送信側は移動端末のハンドオフを検出して、TCP コネクションを維持する手法を提案する。

以降、2章では関連研究について述べ、本研究で提案するハンドオフ検出型の TCP について3章で説明する。次に、本研究で利用したシミュレーションモデルやシミュレーション結果を4章で示す。最後に、5章で本稿をまとめる。

## 2 関連研究

無線通信では、端末の移動や通信環境の変化などの様々な要因によって頻繁に通信が切断される。その問題を解決するため、多数の提案が行われたが、TCP パフォーマンスに関する提案として、特に以下の二つが上げられる。

一つは TCP advertised window control function である [3]。この提案では、受信移動端末は Access Router からの信号強度を計測し、ハンドオフを検出する。また、固定端末側には TCP 持続状態を利用し、コネクションを保存する。しかし、無線信号強度のみで、移動端末のハンドオフを検出するのは非常に難しい。信号強度の threshold を正確に選択できなければ、通信のパフォーマンスが低下してしまう。

もう一つは TCP-MD&R [4] があり、受信端末がタイマを使って、ハンドオフを判断する。TCP レイヤーでタイマを設置し、次のパケットが届くまでの時間をカウントダウンする。タイムアウトになると、ハンドオフと判断する。その後、受信端末は rwnd(received window) がゼロの ACK を送信端末に通知し、送信端末は TCP 持続状態に入り、TCP コネクションを保存する。この提案は正確にハンドオフを検出できない場合がある。全てのパケットロスの原因はハンドオフであると仮定している。また、たとえ受信端末がハンドオフを正確に検出できても、送信側に ACK を送れない可能性が高い。

本研究では、移動端末のハンドオフを検出するために、信号強度や TCP の再送タイムアウトの性質を利用する。このことによって、正確なハンドオフを検出でき、以上の欠点を解決できると考えられる。

## 3 本研究の提案手法

本研究では効率的な TCP 通信再開を実現するために、無線信号の強度を用いて、端末のハンドオフを検出し、TCP コネクションの状態を維持する手法を提案する。具体的には以下に示すようになる。

1. 移動端末 (Mobile Node-MN) は Access Routers から受け取る信号の強度を計測し、その信号強度の状態を通信相手端末 (Corresponding Node-CN) に通知する。CN は再送タイムアウト (Retransmission Timeout) になった時に、信号強度の状態を参照することにより、MN のハンドオフを判断する。
2. CN はハンドオフを判断した後に、通信再開するまで、TCP コネクション状態を保存する。

以降、本研究で新たに提案した手法について説明する。

### 3.1 ハンドオフ検出手法

本研究は CN で MN のハンドオフを判断する手法を提案する。まず、MN は Access Router から受け取る信号の強度の情報を取り扱うことにする。そして、MN は信号強度の値を節 3.3 で説明する threshold 値 (*Thresh*) と比較し、信号強度の状態を二つに分け、相手先の CN に定期的に信号強度の状態を知らせる。CN 側では、再送タイムアウトになった時、信号強度の状態をチェックする。CN は以下の二つ条件を用いて、MN のハンドオフを判断する。

1. 再送タイムアウト (RTO) になった
2. 無線信号強度が *Thresh* より小さい状態

もし上記の二つ条件を満たしたら、CN は「MN 側にハンドオフが起こった」と判断し、TCP コネクション状態の保存を行う。

### 3.2 TCP コネクション状態の保存

CN は MN のハンドオフを判断してから、TCP の cwnd(congestion window) をゼロにリセットし、TCP 持続状態になることである。この状態で、CN はデータ送信を停止し、再送タイマも停止することになる。一方、MN は通信媒体を切り替え、新しい BS を探し、登録を行ってから、CN に ack を送信する。この ack は通信再開のメッセージを意味する。CN では、その

ack を受け取って, cwnd の値を TCP 持続状態になる直前の cwnd にセットし, 通信を再開する.

本提案により, 再送タイムアウトや信号強度という二つの条件を使い, ハンドオフを検出するので, 正確なハンドオフを検出できると言える. それだけではなく, CN はハンドオフを自動的に検出できるので, ハンドオフにおけるパケットロスを減少できる. また, CN 側に cwnd をゼロにセットすることにより, 輻輳制御が行われなく, 通信を再開したときに, CN は高い再送レートでパケットを送信できるので, 「効率的な通信再開」の問題を解決でき, TCP のパフォーマンスを増加できると考えられる.

### 3.3 無線信号強度の Threshold

本節は節 3.1 で利用する信号強度の threshold の決め方を説明する.

無線環境では, 電波を利用して通信を行う. 電波は発信局から離れば離れるほど強度が弱くなる性質を持っている. 本研究のシミュレーションに利用する Two-Ray Ground Reflection モデルでは, MN と Access Router の距離  $d$  に応じ, 受け取る信号の強度は次の公式で計算される [5].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (1)$$

ただし,  $P_t, G_t, G_r, h_t, h_r$  と  $L$  はそれぞれ Access Router の電力, Access Router のアンテナのゲイン, MN のアンテナのゲイン, Access Router のアンテナの高さ, MN のアンテナの高さとシステムロスである.

本提案手法で, threshold の役割はハンドオフを判定する. つまりハンドオフは必ず信号強度が threshold より小さい領域で起こる. MN は Access Router のエリアの境界まで通信できると仮定する.  $P_r$  は Access Router のエリアの境界で受け取れる信号の強度とし, 信号強度の threshold を  $Thresh$  とすると,  $Thresh$  は以下のような条件を満たす必要がある.

1. MN が Access Router のエリアの境界に着くとき,  $Thresh$  の情報は CN に届かなければならない.
2.  $Thresh \approx P_r$

MN の速度を  $v$  とし, Access Router のエリアの半径を  $r$  とすると, 上記の二つ条件を満たす  $Thresh$  は式 (1) より, 次の式で表される.

$$Thresh = \frac{r^4}{(r - \frac{1}{2}vRTT)^4} \times P_r \quad (2)$$

(2) の式で示すように,  $Thresh$  は MN の移動速度や RTT(Round Trip Time) に依存することである. また, 本研究のシミュレーションでは  $Thresh$  を式 (2) の右辺値より少し大きい値を設定することにする.

一方, 上記は MN が受信端末で, CN は送信端末としたが, MN は送信端末になっても, 本提案手法が有効である. そのとき, 式 (2) で,  $\frac{1}{2}RTT$  の代わりに  $RTT$  にすると, 信号強度の  $Thresh$  を計算できる.

## 4 シミュレーション

### 4.1 シミュレーションモデル

本研究の提案手法の効果を評価するため, TCP の性能評価に広く用いられる Network Simulator ns-2[6] を利用し, シミュレーション実験を行う. 無線環境として, Mobile IPv4 を利用する.

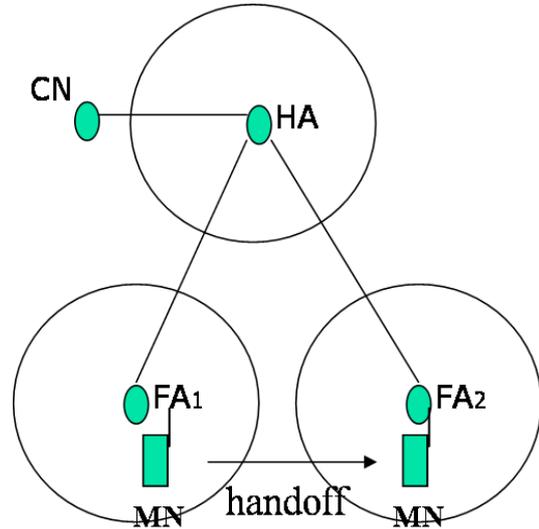


図1. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは図1で示す. CN と MN の間に, 一つの TCP コネクションを確立する. データの転送には, FTP(File Transfer Protocol) を利用する. CN で発生したトラフィックは, まず Home Agent(HA) に到着する. その後, トラフィックは Foreign Agents(FA1, FA2) 通して MN に伝送される.

Home Network と Foreign Networks では, 半径 250 メートルの WaveLan が使われ, リンクレイヤのプロトコルは IEEE 802.11b である.

### 4.2 信号強度の $Thresh$ の決定

3.3 節で説明したように, 信号強度の threshold の値は MN の移動速度や RTT (Round Trip Time) に依

存する。しかし、MN のリンクレイヤはそれらの情報を取得できないという問題がある。

本シミュレーションでは、実用を考慮して、MN の移動速度や RTT の値を推定する。具体的には、MN の速度を 1m/s から 30 m/s とし、RTT の値を 5ms から 120ms までの範囲であると仮定する。また、MN の信号強度を測定した結果、 $P_r = 3.692977e - 10(W)$  となる。その結果、 $Thresh$  は (2) の式により、 $3.693125e - 10(W)$  から  $3.801277e - 10(W)$  までの範囲にあることが計算できる。また、最悪の場合を考え、本シミュレーションでは、 $Thresh$  を  $4.0e - 10(W)$  にした。

### 4.3 シミュレーション結果

本研究は handover 直後の TCP のウィンドウサイズ回復とスループット特性に関して評価を行う。本章ではシミュレーション結果を示し、考察する。

#### 4.3.1 TCP スループット

図 2 で Mobile IP での TCP スループットの比較を示す。このスループットは 0.5 秒毎に計算され、時間に対してプロットされる。

MN は FA1 から FA2 に向けて、移動する。216 秒になると、MN は FA1 の Foreign Network のエリアから出て、ハンドオフが生じた。

Mobile IP で、MN が FA2 の Foreign Network のエリアに入り、FA2 の Advertise Message を受け取って、FA2 に登録してから、HA に Binding Update を送る。それに対して、MH は HA からの Biding Ack を 247 秒に受け取った。次に、248 秒に、CN は MN からの Ack を受け取った。その時点から、TCP コネクションを再確立し、スロースタートのメカニズムで TCP 通信を再開する。

本提案手法では、MN は FA1 のエリアから出ると、パケットが損失され、217 秒に、RTO になった。その時点で、CN にある MN の SS のエネルギーは  $3.708116e - 10(W)$  で、threshold 値より小さいので、MN 側で、ハンドオフが起きたと判断し、cwnd をゼロにリセットする。そのことにより、無駄なパケット再送を防止できる。

次に、MN は MN が FA2 の Foreign Network のエリアに入り、FA2 の無線信号を発見したら、すぐ FA2 に対して Registration Request を送り、登録手続きをする。そして、MN は HA に Binding Update を行い、234 秒に HA からの Binding Ack を受け取った。このとき、MN は CN に対して Ack を送り、234 秒に CN

はその Ack を受け取った。その後、CN は cwnd をハンドオフ直前の cwnd の値をセットし、次のパケットを MN に送り始めた。

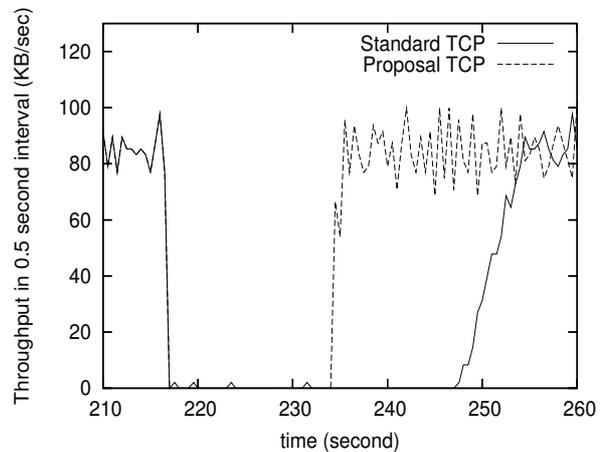


図 2 . TCP スループット

その結果、図 2 のように提案手法は標準の TCP より通信再開時の TCP 通信が早く回復することが観察できる。つまり、ハンドオフ後の効果的な通信再開が実現できることを確認した。

#### 4.3.2 TCP ウィンドウサイズの回復

図 3 に、CN 側の cwnd の時間に対する変化を示す。

MN の移動によるハンドオフは 216 秒に起り、217 秒に RTO になった。Mobile IP では、CN 側の cwnd が 1 まで下がり、シーケンス番号 (sequence number) が最大のパケットを再送する。しかし、そのパケットが MN に届かないため、CN は MN からの Ack を受け取るまで、cwnd を 1 にし、パケットの再送を続ける。そして、248 秒に MN からの Ack を受け取って、cwnd をスロースタートアルゴリズムにより増加する。本提案手法により、前節で説明したように、RTO になり、CN はハンドオフを判断し、cwnd をゼロにリセットする。一方、MN 側で、登録や Binding が終了してから、CN に Ack を送る。CN は Ack を受け取ってから、cwnd をハンドオフ直前の cwnd 値に戻し、通信を再開するので、標準 TCP に比べて、ウィンドウサイズがはるかに高速に回復することがわかる。

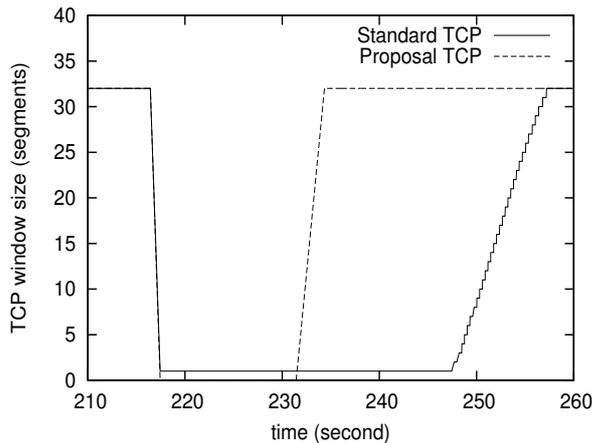


図3 . TCP ウィンドウサイズ

#### 4.3.3 Handover の遅延

シミュレーションの結果, Mobile IP と標準 TCP の場合, MN が FA1 の Foreign Network を出てから, 通信再開までの時間 (handover の遅延時間) は 32 秒である. それに対して, 本提案手法の場合, handover の遅延時間は 18 秒である. つまり本提案手法は Mobile IP に比べて, handover の遅延が短くなる事が分かる.

Mobile IP では, MN は FA2 の Foreign Network エリアに入り, FA2 からの Advertise Message を受け取ってから, Registration Request を送り始める. また, MN は HA に Binding Update を行い, CN からの再送パケットを受け取ってから, Ack を CN に送信する.

しかし, 本提案手法では MN が FA 2 のエリアに入り, Advertise Message を待たずに, すぐ Registration Request を FA2 に送る. それだけではなく, MN は HA との Binding Update が終わってから, MN は CN に対して, Ack を送信し, 「ハンドオフが終わった」ということを通知するので, 通信が Mobile IP に比べて早く再開できる.

また, 前節で説明したように, TCP では RTO になると, cwnd を 1 にし, パケットを再送し, 確認応答 (Ack) を待つ. パケットを再送しても Ack が返されない場合には, 再度再送することになる. ただし, Ack を待つ時間を 2 倍, 4 倍, 8 倍と指数関数的に増加させる. その結果, たとえ MN 側に早く登録手続きができて, CN 側では, Ack を待つ状態になるとすぐには通信再開できなくなる. 本提案手法では, MN が登録手続きをしてから, CN にすぐ Ack を送信するので handover の遅延時間が短くなる.

## 5 まとめ

インターネットの普及に従い, 従来の固定ネットワークのみならず, 無線ネットワークの注目が高まっている. しかし, 現在モバイル環境での通信は (1) 端末が他のネットワークに移動すると, ハンドオフを生じ, TCP コネクションが切断される, (2) ハンドオフ後に, 効果的に TCP 通信を再開できない, という問題がある.

そこで, 本研究では (1) の問題を解決する既存の機構を利用し, (2) の問題を解決することを目的にした. 無線信号強度 (Signal Strength) を用いて, 移動端末のハンドオフを検出し, TCP コネクションの状態を維持する手法を提案した. そして, 提案手法の有効性をシミュレーションにより評価した. シミュレーションの結果, ハンドオフ後に, TCP の cwnd をハンドオフ直前の cwnd にセットするので, TCP コネクションが早く回復され, TCP スループットが大きく改善されることが明らかになった. また, ハンドオフ時に MN は積極的に新しい Access Router を探し, 登録する事で, handover の遅延時間が短くなる事も確かめられた.

## 参考文献

- [1] C. Perkins, "IP mobility support for IPv4," RFC 3344, Aug. 2002.
- [2] A.C. Snoeren and H. Balakrishnan, "An end-to-end approach to host mobility," ACM/IEEE MobiCom, Aug. 2000.
- [3] Y. Onoe, Y. Atsumi, O. Takahashi, F. Sato, and T. Mizuno, "An efficient TCP/IP control scheme for next-generation mobile communication networks," The 7th International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC), 2B-3-1, Oct. 2000.
- [4] Jae-Woo KWON, Hee-Dong PARK, and You-Ze CHO, "An efficient TCP mechanism for Mobile IP handoffs," IEICE Trans. Communi., vol. E-85-B, no. 4, Apr. 2002.
- [5] T.S. Rappaport, Wireless Communications, principles and practice, Prentice Hall, 1996.
- [6] VINT Project, Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>