

TCP 通信のためのフレーム再送回数を用いた WLAN ハンドオーバー制御機構の提案と評価

井島 亮一[†] 塚本 和也[†] 榎原 茂^{††} 尾家 祐二^{†††}

^{†††}九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科 〒 820-8502 福岡県飯塚市大字川津 680-4
^{††}奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5
E-mail: [†]{r-ijima,kazuya}@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{††}shigeru@is.naist.jp, ^{†††}oie@cse.kyutech.ac.jp

あらまし ユビキタスネットワークでは、モバイル端末 (MN) は TCP 通信中に異なる管理ドメインの WLAN 間をハンドオーバーする機会が増加する。ハンドオーバー時の通信品質の劣化を防ぐためには、(1) 無線リンク品質劣化の適切な検知、(2) ハンドオーバー処理時間の削減、(3) 良好な通信品質を見込める WLAN の選択、が重要となる。そこで、本論文では (1)、(2)、(3) これら 3 つの要求を満たしたハンドオーバーを実現するために、フレーム再送回数を用いたハンドオーバー制御機構を提案し、シミュレーションにより本提案方式の有効性を評価する。

キーワード WLAN ハンドオーバー, TCP, フレーム再送回数, クロスレイヤ, マルチホーム

Handover Management based on the Number of Frame Retransmissions for TCP over WLANs

Ryouichi IJIMA[†], Kazuya TSUKAMOTO[†], Shigeru KASHIHARA^{††}, and Yuji OIE^{†††}

^{†††} Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology
Kawazu 680-4, Iizuka, Fukuoka, 820-8502 Japan

^{††} Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology
Takayama 8916-5, Ikoma, Nara, 630-0192 Japan

E-mail: [†]{r-ijima,kazuya}@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{††}shigeru@is.naist.jp, ^{†††}oie@cse.kyutech.ac.jp

Abstract In ubiquitous networks based on the Wireless Local Area Networks (WLANs), mobile nodes (MNs) will traverse many different WLANs during TCP communication. Thus, in order to avoid the performance degradation during the handover, it is necessary to be satisfied the following three requirements, (1) Appropriate detection of the degradation in the wireless link communication quality, (2) Reduction of handover processing periods, (3) Selection of the WLAN with good condition. In this paper, to maintain the TCP goodput performance during handover, we propose a handover management mechanism, which satisfies these requirements, based on the number of frame retransmissions. Through simulation experiments, we demonstrate that the proposed scheme can maintain the TCP performance during the handover.

Key words Wireless LAN Handover, TCP, Frame Retransmission, Cross-Layer, Multi-Home

1. はじめに

IEEE802.11 [1] 規格に基づく無線 LAN (WLAN) は、広帯域なインターネットへの接続環境を安価に提供できるため急速に普及している。現在、WLAN は公衆 WLAN サービスとして空港やロビー等に展開されているが、今後は複数のアクセスポイント (AP) による面展開が予想され、既に国内外において面展開がいくつか行われている [2], [3]。従って、将来的にユーザは WLAN によるユビキタスネットワークを通じていつでも

インターネットに接続可能となる。

ユビキタスネットワークにおいて MN の移動透過性を実現するためには、MN が異なる WLAN 間をシームレス (通信品質を劣化させず) に移動することが重要となる。しかし、1 つの WLAN のサービスエリアは小さいため、移動中の MN は複数の WLAN 間をハンドオーバーする機会が増加する。この際、従来の通信では、通信の切断や品質劣化が発生するため、このような問題を解決したハンドオーバー制御機構が必要となる。

まず第一にハンドオーバー時の問題としては、IP アドレスの

変更が挙げられる。異なるドメインの WLAN 間を移動する場合、MN の IP アドレスは変更されるため通信は切断される。この問題を解決する既存のハンドオーバー技術として、Mobile IP (MIP) [4] や mobile Stream Control Transmission Protocol (mSCTP) [5]、等が提案されており、これらの手法によって MN は異なる管理ドメイン間を移動する際に通信を継続することが可能となる。

通信の継続に加え、ハンドオーバー時の通信品質の劣化を防ぐためには (1) 無線リンク品質劣化の適切な検知、(2) ハンドオーバー処理時間の削減、(3) 良好な通信品質を見込める WLAN の選択、が必要となるが、上記の既存研究ではこれらを総合的に実現する手法は提案されていない。これらを考慮したものとしては塚本らの研究 [6] があるが、(1) は考慮されていない。そこで先行研究 [7] では、(1) を実現するためのハンドオーバー決定指標に着目し、既存手法で広く用いられているパケットロス指標とした場合にハンドオーバー時の TCP 通信性能が大幅に劣化することを示した。その後、WLAN の MAC 層 (Layer 2) で取得可能なデータフレーム再送回数 (以後、フレーム再送回数と呼ぶ) がハンドオーバー時の TCP 通信の性能劣化を防ぐ指標として利用できることを示した。

そこで本論文では WLAN 間のハンドオーバー時の通信品質を維持するために (1) に着目した文献 [7] と (2)、(3) に着目した文献 [6] を組み合わせた統合的ハンドオーバー制御機構を提案する。まずハンドオーバー時の問題点を挙げ、ハンドオーバー決定指標としてのフレーム再送回数の有効性について説明する。その後ハンドオーバー制御機構を提案し、シミュレーションによって本提案機構の有効性を調べる。最後に本論文をまとめる。

2. WLAN ハンドオーバー時の問題点

MN が異なる管理ドメインの WLAN 間をハンドオーバーする際には以下の問題を克服しなければならない。

- コネクションの切断
- 無線環境及びハンドオーバー処理による通信品質の劣化

現在のインターネットで最も普及しているアプリケーションである FTP, SMTP, HTTP では、トランスポートプロトコル (Layer 4) として TCP を利用している。この TCP は、IP アドレスによって相手を識別することで End-to-End での通信の信頼性を確保している。そのため、送・受信端末が異なるドメイン間を移動して端末の IP アドレスが変更された場合、TCP 通信は切断される。この IP アドレスの変更に対処する既存のハンドオーバー制御機構として、MIP が提案されている。

MIP を使用することで MN の通信自体は継続可能になるが、そのために必要なハンドオーバー処理により通信品質は劣化する。以下に MIP を使用した際のハンドオーバー処理を簡単に示す。

- (1) Router Advertisement (RA) パケットのロスによってハンドオーバー処理の開始時期を検知
- (2) 次の接続先 AP を探すためのチャネルスキャン
- (3) 新たな AP とのアソシエーション確立
- (4) 新しい IP アドレスの取得
- (5) Home Agent (HA) と通信相手 (CN) に対する

バインディングアップデート

MIP では、MN は AP から定期的 (3 秒に 1 回 [8]) に送信される RA パケットのロスにより自身の移動を検知し、ハンドオーバー処理を開始する。しかし、この RA パケットの大きな送信間隔により、ハンドオーバー決定時には既に通信性能が大きく劣化している可能性がある。次に、RA パケットによる移動検知後のハンドオーバー処理は、リンクレイヤハンドオーバー処理 (2) (3) と MIP ハンドオーバー処理 (4) (5) に分けられる。まず、リンクレイヤハンドオーバー処理に 50~400 ms 掛かり [9]、MIP ハンドオーバー処理には新しい IP アドレスの取得 (300 ms [10]) とバインディングアップデート (片道遅延) がかかるため、ハンドオーバー処理に 1 秒近く掛かることになる。この間 MN はパケットの送受信ができないため、ハンドオーバー時の通信品質は劣化してしまう。

また MIP では、ハンドオーバー決定及び処理時間を改善するために FMIPv6 [11] や HMIPv6 [12] が提案されている。しかし、これらの方式はネットワーク中に特別な機器を設置・管理する必要があるため、事業者が異なる管理ドメインのネットワークへの適用が難しい。

そこで、本研究では文献 [6] と同様に End-to-End モビリティ制御機構を考え、無線リンク品質を適切に検知したハンドオーバー決定のために MAC 層のフレーム再送回数 [7] を用い、ハンドオーバー処理時間の削減のために文献 [13] と同様に MN に複数の WLAN インタフェースを搭載する。これらを組み合わせ、ハンドオーバー時の TCP 性能の劣化を防ぐハンドオーバー制御機構を提案する。

3. ハンドオーバー決定指標：フレーム再送回数

先行研究 [7] では、WLAN 環境において MN と AP 間の距離変化が TCP グッドプットとフレーム再送回数に与える影響を調査し、ハンドオーバー決定指標としてフレームの再送回数が利用可能であることを示した。本節ではこのフレーム再送回数の有効性について簡単に説明する。

3.1 フレームの再送とパケットロス

WLAN では電波強度の劣化、もしくは他の MN によって送信されたフレームとの衝突によってフレームエラーが発生する。MN は送信したデータフレームに対する ACK フレームを受信し、次のフレームを送信するが、ACK フレームを受信できない場合はデータフレームの再送を行う。RTS (Request to Send)/CTS (Clear to Send) を用いる場合は、MN は同じデータフレームを初回送信を含めて 4 回送信 (初回送信 + 再送 3 回) することができる。しかし、MN が規定内の再送回数でデータフレームを正しく送信できなかったとき、そのデータフレームはパケットロスとして廃棄される。以上の考察からデータフレームの再送はパケットロスよりも前に必ず発生することが分かる。つまり、データフレームの再送回数により、無線リンクの劣化による通信品質の劣化を的確に検知できると考えられる。

3.2 TCP グッドプットとフレーム再送回数の関係

フレーム再送回数がハンドオーバー決定指標として有効であることを示すために、Network Simulator 2 (ver.2.27) [15] を用いて

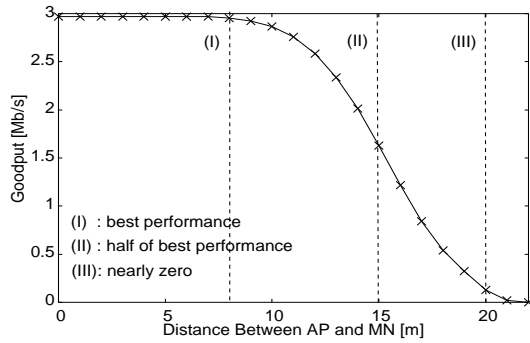


図 1 MN と AP 間の距離におけるグッドプット特性

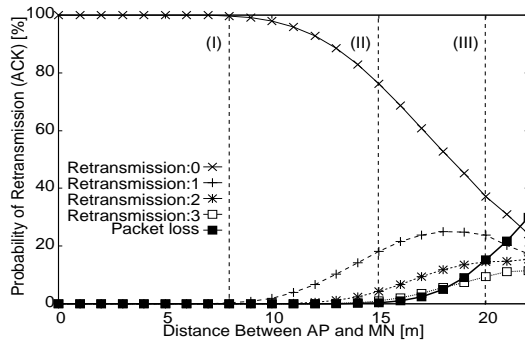


図 2 MN と AP 間の距離におけるフレーム再送回数の割合

シミュレーションを行った。シミュレーションでは IEEE802.11b インタフェースを搭載した 1 台の MN が、AP 経由で有線側の相手端末 (Correspondent Node: CN) と TCP 通信を行う。TCP のアルゴリズムには NewReno を用い、パケットサイズは 1500 Bytes とする。WLAN は RTS/CTS を使用し、通信速度は 11 Mb/s の固定とする (フォールバックは行わない)。そこで MN が AP から遠ざかる際の TCP グッドプットとフレーム再送回数の割合の変化を調査した。

図 1, 2 に、移動時の MN のグッドプット特性、及びフレーム再送回数の発生割合の変動を示す。3.1 で述べたように RTS/CTS を使用した場合、フレームがパケットロスとして処理されるまでに、同じフレームを 4 回送信することができる。図 2 の “Retransmission: 0” は再送を行わずに正しく送信できたパケットの割合、“Packet Loss” は 4 回のフレームを送信しても正しく送信できず、廃棄されたパケットの割合を示す。図 1, 2 からフレームの再送は 8 m 付近で発生し、それとほぼ同時に TCP のグッドプットの低下が始まっていることが分かる (I)。またパケットロスが発生し始める 15 m 付近ではグッドプットが既に半減し (II)、20 m 付近でグッドプットはほぼ 0 となり、MN は CN との通信が困難な状態となる (III)。従って、フレーム再送回数の発生によってハンドオーバーの開始時期を決定することで、TCP グッドプットが大きく低下する前にハンドオーバーを行うことができ、ハンドオーバー決定指標としての有効性があると考えられる。

4. 提案ハンドオーバー機構

本研究ではハンドオーバー時の通信品質の劣化を防ぐことを目

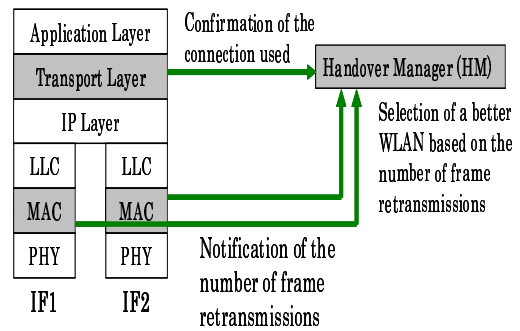


図 3 ハンドオーバー制御機構

的として (1) 無線リンク品質劣化の適切な検知、(2) ハンドオーバー処理時間の削減、(3) 良好な通信品質を見込める WLAN の選択、を考慮したハンドオーバー制御機構を提案する。提案機構では MN に複数の WLAN インタフェースを搭載し、現在通信中の無線リンクの品質が劣化する前に、他の WLAN とも接続を確立しておくことでハンドオーバー処理時間を削減する。そしてハンドオーバー開始時期 (無線リンクの品質劣化) の検知にはフレーム再送回数を用いる。また品質劣化時にはマルチパス通信を行うことで、利用可能な WLAN の通信状況を考慮した上で通信品質の良い WLAN を選択する。以下の節でそれぞれの機構について詳細に説明する。

4.1 ハンドオーバー処理時間の削減

2. で述べたように、MN が異なる管理ドメインの WLAN 間を移動する場合、ハンドオーバー処理時間が発生する。これはリンクレイヤハンドオーバー処理時間に加え、新しい IP アドレスの取得、及び相手端末への通知が必要なためである。本研究では、MN に複数の WLAN インタフェースを搭載 (マルチホーミング化) することで、このハンドオーバー処理時間を削減する。MN は 1 つの WLAN インタフェースで通信中に別の AP を発見した場合、もう一つの WLAN インタフェースを使用してその AP と予め接続し、IP アドレスを取得後、その IP アドレスを相手端末に通知しておく。その結果、ハンドオーバー処理時間を削減できる。また本研究では End-to-End モビリティ制御技術を対象としているため、MIP のように特別な機器をインターネット上に配置する必要がなく、現在のインターネット環境への導入が容易と考えられる。

4.2 ハンドオーバー開始時期の検知

3. で述べたように、本研究ではハンドオーバー決定指標としてフレーム再送回数を用いる、しかし、現在の階層アーキテクチャでは異なるレイヤ間において情報を受け渡すことができない。そこで、本研究ではクロスレイヤアプローチ [14] を用い、レイヤ間の情報共有を可能にする。図 3 に本研究で提案するハンドオーバー制御機構の概略図を示す。図 3 に示すように、MAC 層からフレーム再送回数をトランスポート層のハンドオーバーマネージャに通知することで、トランスポート層において無線リンク状態の変化を適切に検知することが可能となる。

本研究では提案機構をエンドノードである MN と CN の双方に適用し、MN は送信したパケットのフレーム再送回数を基

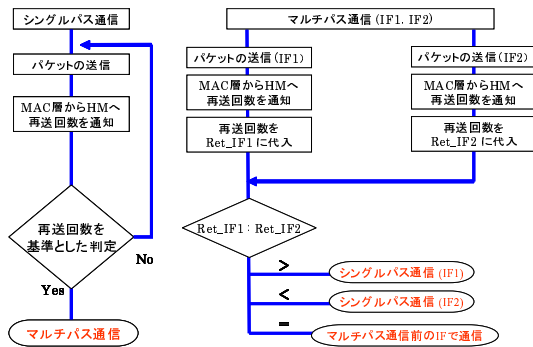


図 4 ハンドオーバー時の制御

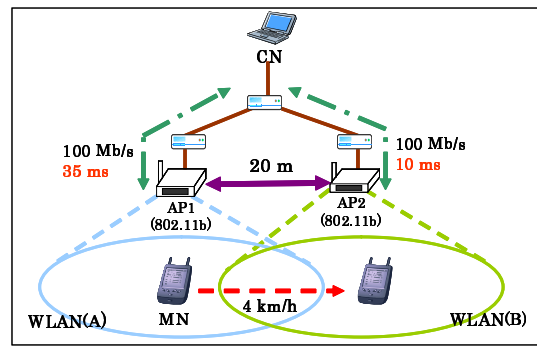


図 5 シミュレーションモデル

にハンドオーバー開始時期 (無線リンクの品質劣化) を検知する。MN は通信品質の劣化を検知すると CN へ通知し、マルチバス通信を開始する。その後、MN は利用可能な WLAN の中から通信品質のよい WLAN を選択し、ハンドオーバーを行う。

4.3 WLAN の選択

次に良好な WLAN の選択手法について図 4 を用いて説明する。4.1, 4.2 で説明したように、MN はフレーム再送回数を用いて無線リンクの通信品質の劣化を検知し、ハンドオーバーを開始する。MN は複数の WLAN を使用可能な状態において、通信中の IF1 のフレーム再送回数が予め決定した再送回数閾値よりも大きくなった場合、CN へ無線リンクの通信品質が劣化したことを通知する。通知を受信後、CN は MN に対してマルチバス通信を開始する。そして、MN は利用可能な複数の WLAN から良好な通信品質を選択し、シングルバスに戻す。具体的には、マルチバス通信時の各無線リンクの通信品質の判断基準として、マルチバス通信開始後の 1 パケットのフレーム再送回数を用いる。これらの値は、図 3 のハンドオーバーマネージャ(HM)の Ret_IF1/Ret_IF2 (IF1/IF2 のフレーム再送回数) に記録される。そして、HM がこれらと比較することで、値の小さいインタフェースの無線リンクが通信品質が良いと判断し、シングルバス通信に戻す。本提案機構ではマルチバス通信後に複数の WLAN の通信品質を確認した上で、ハンドオーバーを行うかどうか決定するため、通信品質を確認した移動が可能となる。また、マルチバス通信後の 1 フレームによって品質を判定するため、ネットワークへの負荷も最少限に抑えることが可能となる。

5. シミュレーション評価

5.1 シミュレーションモデル

4. で述べた提案機構の有効性を示すためにシミュレーション実験を行う。図 5 に示すように 2 つの WLAN インタフェースを搭載した MN が異なるドメインの WLAN 間を移動する環境を想定し、最初は WLAN(A) を介して CN と TCP 通信を行っているとして仮定する。そして通信開始後 35 秒の時点で MN は 2 つの AP 間 (20 m) を WLAN(A) から WLAN(B) へ歩く速度 (4 km/h = 1.12 m/s) で移動する。このとき提案機構を用いることで TCP 通信性能を劣化させることなくハンドオーバーを行えるかを評価する。また、図 4 で示したマルチバス通信へ切替えるための再送回数閾値を 1~ 4 で変更し、閾値に対する提案

機構の性能を調査する。

5.2 シミュレーション結果

5.2.1 再送回数閾値と TCP 通信性能

MN が移動を開始 (35 秒) 後、AP2 に到着 (53 秒) して通信が安定するまでのグッドプットの変動を調査する。図 6・9 にフレームの再送回数閾値を 1~ 4 まで変化させた結果を示す。図中の HO-Start はフレーム再送回数によって無線リンクの劣化を検知してマルチバス通信を開始した時刻を、HO-Finish は WLAN の選択アルゴリズムによって最適なインタフェースが選択されてハンドオーバーが完了した時刻を示す。また図中の IF1 と IF2 はそれぞれの処理が起きたインタフェースを示している。例えば HO-Start が IF1 にプロットされている場合、IF1 での通信中に無線リンクの品質が劣化した事を示し、一方、HO-Finish が IF2 にある場合、最適なインタフェースとして IF2 が選ばれたことを示す。矢印はハンドオーバー処理によってインタフェースがどちらに切り替わったかを示している。また、MN は移動開始時に IF1 を使用しているものとする。

図 6 において、再送回数閾値が 1 のときは 40 秒前半 (AP1 との距離が約 8 m) でハンドオーバーを開始している。この場合、図 1 においてグッドプットが約 10 m から急激に低下していることから分かるように、TCP 通信性能が大きく劣化する前にハンドオーバー処理を開始している。その後、WLAN 選択において、一旦は WLAN(B) を選択しているが、WLAN(B) の通信品質もまだ良好ではないので状態が安定するまで数回ハンドオーバーを繰り返す、この間のグッドプットが低下しているのが分かる。その後 WLAN(B) の通信品質が安定する 45 秒付近 (AP1 との距離が約 11 m) で WLAN(B) を選択し、選択後は TCP 通信性能が劣化することなく通信できている。

一方、図 9 の再送回数閾値が 4 の場合、50 秒以降 (AP1 との距離が約 17 m) でハンドオーバーを開始するため、既にグッドプットは大きく低下していることが分かる。その後 WLAN(B) を選択し、それ以降は WLAN(B) の通信品質が良好なためハンドオーバーは行わず、グッドプットが上昇している。

以上の結果より、再送回数閾値が低いときは無線リンクの劣化を早くから検知してハンドオーバーを開始するが、切替え先の通信品質が悪いためにハンドオーバーを行う回数が増加し、それに伴いグッドプットが低下してしまう。一方、再送回数閾値が高いとハンドオーバーを行う回数は少なく、回数によるグッド

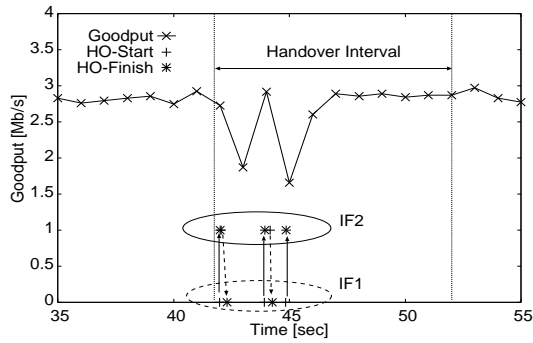


図 6 再送回数閾値 1 回に対するグッドプットの変動

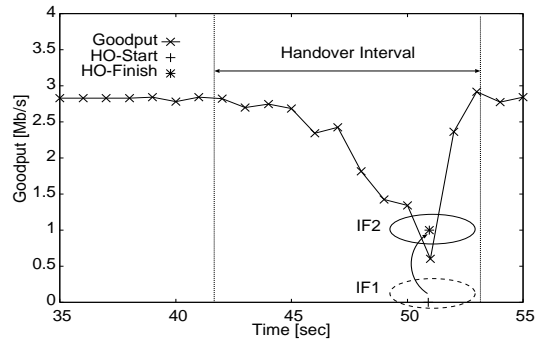


図 9 再送回数閾値 4 回に対するグッドプットの変動

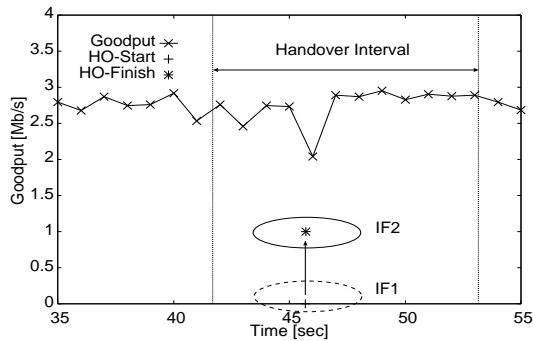


図 7 再送回数閾値 2 回に対するグッドプットの変動

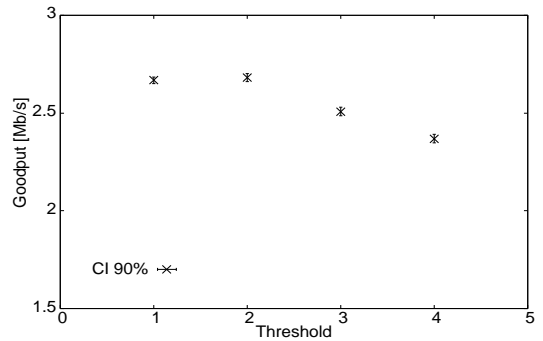


図 10 再送回数閾値に対する平均グッドプット

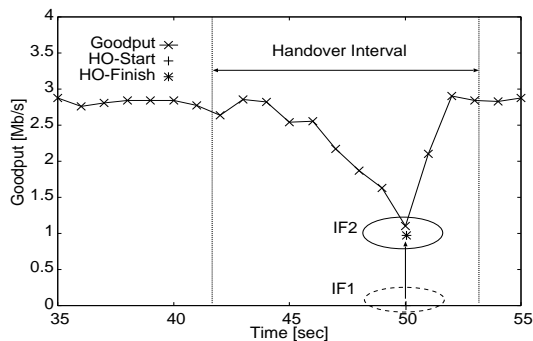


図 8 再送回数閾値 3 回に対するグッドプットの変動

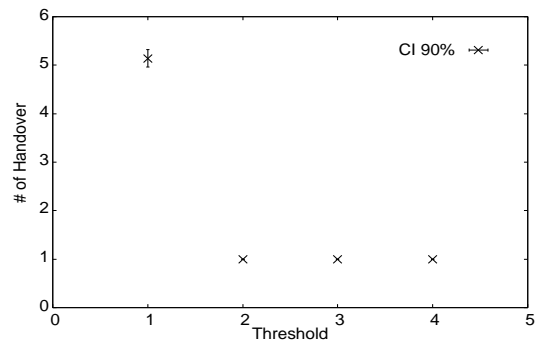


図 11 再送回数閾値に対するハンドオーバー回数

グッドプット低下の影響は少ないが、接続中の無線リンクの品質が大きく劣化してからハンドオーバを開始するため、ハンドオーバ決定前のグッドプットの低下を防ぐことができない。以上の結果から再送回数閾値の設定値がグッドプットに大きく影響を与えるため、最適な閾値の設定が重要となることが分かる。

これに対し、図 7 において再送回数閾値が 2 の場合、グッドプットが大きく低下する前の 46 秒付近 (AP1 との距離が約 12m) でハンドオーバを開始し、その結果 WLAN(B) を選択し、それ以降安定して通信を継続している。そのためグッドプットが上昇している。これは無線リンクの劣化を適切に検知し、なおかつハンドオーバー回数を最少限に抑え、最適な WLAN への切替えを達成しているためである。以上の結果より、再送回数閾値の適切な設定が必要であることが分かった。

次に再送回数閾値の設定値の違いがグッドプット、ハンドオーバー回数に与える影響を調査するためシミュレーションを行い、各値の 90% 信頼区間 (Confidence Interval: CI) を算出した。

図 10 のグッドプットは図 6- 9 のハンドオーバ期間 (フレーム再送回数が発生し始める 42 秒から MN が移動を終了する 53 秒) 中のグッドプットの平均値の信頼区間を算出した結果である。この図において、再送回数閾値 1 回のグッドプットは、再送回数閾値 2 回と同様に高いグッドプットを達成している。また再送回数閾値が 3 回以上の場合は無線リンクの劣化の検知が遅く、グッドプットが低下している。一方、図 11 の再送回数閾値 1 回の場合にはハンドオーバが幾度も起きており、再送回数閾値 2 回以上はハンドオーバー回数がほぼ一回のみで完了していることが分かる。再送回数閾値 1 回の場合には頻りにハンドオーバが発生することでグッドプットが低下すると考えられるが、図の結果ではハンドオーバー回数は 5 回と少なく、グッドプットはあまり低下していない。そこで次にハンドオーバー回数がグッドプットに与える影響に着目する。

5.2.2 AP 間の距離とハンドオーバー回数の関係

5.2.1 までの結果は AP 間の距離を 20 m 固定とした。こ

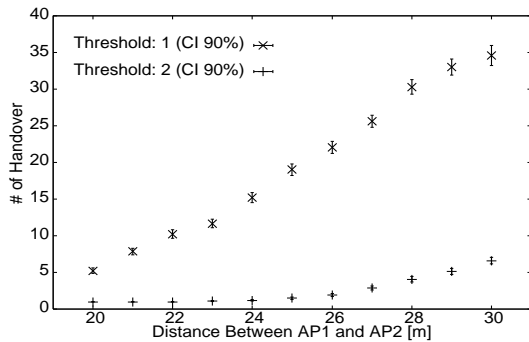


図 12 AP 間の距離に対するハンドオーバー回数の変化

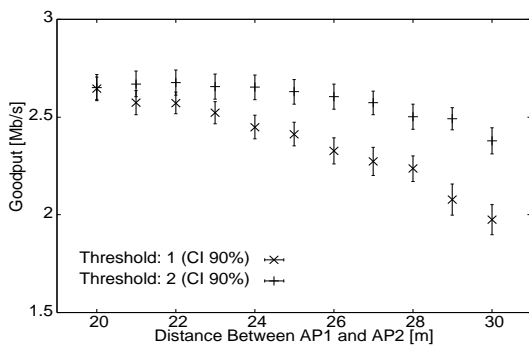


図 13 AP 間の距離に対するグッドプットの変化

の距離では WLAN(A) の無線リンクが劣化し始める頃には WLAN(B) の通信品質が比較的良くなるため、ハンドオーバー回数もそれほど多くなかった。しかし、AP 間の距離が広がった場合、ハンドオーバー回数も増加し、グッドプットにも悪影響を及ぼすと考えられる。そこで本節では再送回数閾値を 5.2.1 で高いグッドプット性能を示した 1, 2 回と設定した上で、AP 間の距離を 20~ 30 m まで変化させ、MN のハンドオーバー回数及びグッドプットの関係について調べる。ここで MN は AP1 から AP2 の位置まで移動することとする。シミュレーション結果を図 12, 13 に示す。

図から再送回数閾値 1 回の場合は AP 間の距離が離れるに連れて急激にハンドオーバー回数が増加し、グッドプットも急激に低下している。これに対し、再送回数閾値 2 回の場合、30m まで距離が離れてもハンドオーバー回数はさほど増加せず、グッドプットの減少幅が小さいことが分かる。以上の結果から、再送回数閾値 2 回の場合はハンドオーバー回数を少なく抑えることができ、かつ TCP の通信性能が大きく劣化する前にハンドオーバーを完了できることが分かった。

6. おわりに

本論文ではハンドオーバー時の通信品質の劣化を防ぐために (1) 無線リンク品質劣化の適切な検知, (2) ハンドオーバー処理時間の削減, (3) 通信品質が良好な WLAN の選択, に着目したハンドオーバー制御機構を提案し、シミュレーション実験によって評価を行った。提案機構では MN に複数の WLAN インタフェースを搭載することでハンドオーバー処理時間の削減を行い、またフレーム再送回数によって通信中の無線リンクの品質劣化

検知及び通信品質の良い WLAN の選択を行う方式を提案した。

シミュレーション実験により、再送回数閾値が低いときはハンドオーバー回数が、再送回数閾値が高いときは無線リンクの劣化の検知時間が増加し、ともにグッドプットが低下する原因となった。その中でも再送回数閾値が 2 回の場合は無線リンクの劣化を適切に検知し、またハンドオーバー回数を最少限に抑えることができ、グッドプットの低下を最少限に防げることが分かった。

今後の課題としては、ユビキタスネットワークでは複数の MN が存在し、かつ移動することが考えられるため、複数台の端末が同時にハンドオーバーする機会が多くなると考えられる。そのため、今後は 1 台のみの移動の評価ではなく、複数台の MN が移動した際の評価を行い、本提案機構の有効性を調査する必要があると考える。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会による科学研究費補助金 (課題番号 17-6551, 15200005) 及び総務省の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] IEEE 802.11, 1999 Edition, Available at <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>
- [2] livedoor Wireless, <http://wireless.livedoor.com/>
- [3] Wireless Philadelphia, <http://www.phila.gov/wireless/index.html/>
- [4] C. Perkins(Ed.), "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC3344, Aug. 2002.
- [5] S. J. Koh, et al., "Mobile SCTP for Transport Layer Mobility," *draft-reigel-sjkoh-sctp-mobility-04.txt*, Internet draft (work in progress), IETF, Jun. 2004.
- [6] K. Tsukamoto, et al., "Mobility Management of Transport Protocol Supporting Multiple Connections," *Proc of ACM MobiWac2004*, pp. 83-87, Oct. 2004.
- [7] K. Tsukamoto, et al., "Impact of Layer 2 Behavior on TCP Performance in WLAN," *Proc. of IEEE VTC fall*, Sep. 2005.
- [8] D. Johnson, et al., "Mobility Support in IPv6," IETF RFC3775, Jun. 2004.
- [9] A. Mishra, et al., "An Empirical Analysis of the IEEE802.11 MAC Layer Handoff Process," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.33, Issue 2, Apr. 2003.
- [10] A. Dutta, et al., "Application Layer Mobility Management Scheme for Wireless Internet," *Proc. of IEEE 3G Wireless 2001*, San Francisco, 2001
- [11] P. McCann, et al., "Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks" IETF RFC4260, Nov. 2005.
- [12] H. Soliman, et al., "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)," IETF RFC4140, Aug. 2005.
- [13] S. Kashihara, Y. Oie, "Handover Management based upon the Number of Retries for VoIP in WLANs," *IEEE VTC2005 spring*, May. 2005.
- [14] S. Shakkottai et al., "Cross-Layer Design for Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 10, pp. 74-80, Oct. 2003.
- [15] The Network Simulator 2 ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>