

WLAN ハンドオーバーにおける新たな決定指標の調査

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) は異なる管理ドメインの無線 LAN(WLAN) 間のハンドオーバーを行う機会が増加するため、異なる WLAN 間の移動時にコネクションを維持すること、そしてハンドオーバー実行時に MN 自身の通信品質と WLAN 全体の通信品質の悪化を防ぐことが重要となる。既存手法ではハンドオーバーの決定にネットワーク層 (L3) 以上の上位層で取得可能なパケットロスの発生、RTT を用いているが、ハンドオーバー決定指標としての妥当性について詳細な検討が行われていない上、MN の移動が MN 自身と WLAN 全体の通信性能に与える影響に関しても調査されていない。そこで本論文では既存のハンドオーバー手法を用いた場合、MN 自身と WLAN 全体の TCP 通信性能にどのような影響を与えるかを明らかにする。その後、クロスレイヤアプローチを用いてデータリンク層 (L2) から取得可能な情報に焦点をあて、TCP の通信性能の変化と比較する。その結果、L2 の情報を利用してハンドオーバーを行うことでハンドオーバー時の通信性能の悪化を避けられることを示す。

キーワード 無線 LAN, ハンドオーバー, 決定指標, フレーム再送回数, クロスレイヤ

Investigation of Novel Decision Criteria for Efficient Handover in 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 Ubiquitous networks enabling access by mobile nodes (MNs) at anytime and at any location will consist of several different WLANs, so that it is likely that the MN will traverse several WLANs during communication. In such a case, how to avoid performance degradation during the handover becomes a critical issue. Majority of existing studies deal with handover decisions based on the upper layer information such as packet loss, but none of them extensively examine the criteria for a handover decision, and investigate how it can affect the performance degradation just before the handover is decided to be executed. In this paper, we first extensively investigate the TCP performance under the criteria for handover decision employed by existing studies. Then, we deal with the Layer 2 behavior, and employ that a cross-layer approach, which enables a MN to perceive the deterioration of wireless link quickly and exactly, is necessary to avoid the performance degradation during a handover. Finally, we identify how the movement of the MN affects the overall TCP performance of its WLAN and its own TCP performance. Through simulations, we show that degradation during a handover can effectively be avoided by exploiting Layer 2 information.

Key words Wireless LANs, handover, criteria, frame retry, cross-layer

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ことから急速に普及している。現在、空港や駅構内、喫茶店などの公共スペースに様々な通信事業者による WLAN のホットスポット

サービスが展開されている。今後、異なる通信事業者によるホットスポットが急速に普及し、互いにオーバーラップしていくことで利用者がいつでもインターネットに接続可能なユビキタスネットワークが実現されると予測できる。すなわち、WLAN は今後のユビキタスネットワークの基礎を形成すると考えられる。

このようなユビキタスネットワークでは、WLAN インタフェースを搭載したモバイル端末 (MN) は WLAN のアクセスポイント (AP) を介していつでもインターネットに接続することが可能となる。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、既存のアプリケーションに多く使われている TCP 通信を MN が複数の WLAN 間の移動中に継続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半径数 10m と小さいため、移動中の MN は複数の WLAN 間を頻繁にハンドオーバーしなければならない。そのため頻繁なハンドオーバーに対する移動透過性を実現し、かつ通信中のアプリケーションの性能悪化を防ぐためには、(1) 異なる WLAN 間の移動時にコネクションを維持するためのハンドオーバー管理技術の確立、更に (2) ハンドオーバー実行時の MN の TCP 通信性能と WLAN 全体の TCP 通信性能の悪化を防ぐ手法の確立が重要となる。

異なる管理ドメインで構成された WLAN 間を MN が移動する場合、MN の IP アドレスが変更されるため通信が切断されてしまう。既存のハンドオーバー技術としては、Mobile IP (MIP) [2] や mobile Stream Control Transmission Protocol (mSCTP) [3]、塚本ら [4] の研究が提案されている。これらの手法は MN の移動透過性を実現し、MN は IP アドレスの変更に伴う通信の切断が発生することなく異なる管理ドメイン間を移動することが可能となる。

これらの既存手法では、MN が接続しているネットワークの通信性能の悪化を検知し、ハンドオーバーを決定するための指標としてネットワーク層 (Layer3:L3) 以上の上位層で取得可能な情報であるパケットロス [5] を使用している。しかし、TCP の輻輳制御はパケットロスの発生に伴い送信量を大きく下げたため、これらの既存手法ではハンドオーバーを実行する前に既に通信性能が大きく低下している可能性があるが、ハンドオーバーの決定指標としてパケットロスが妥当であるかの詳細な検討はこれまでに行われていない。

これに対してハンドオーバーをいち早く実行することでハンドオーバー時の通信性能の悪化を防ぐ MIP や mSCTP を改良した方式が提案されている。これらの手法ではハンドオーバーの決定指標としてジッタ [6] や Smoothed Round Trip Time (SRTT) [7]、電波強度 [8] を用い、それらの値の変化から MN の移動を検知する。しかし、これらの指標はインターネット上で発生する輻輳や WLAN の通信品質の悪化などにより時々刻々と変化するため、ハンドオーバーを実行するための閾値を適切に設定することが困難である。

一方、櫻原らの研究 [9] では VoIP 通信中に WLAN 間を移動する環境を想定し、ハンドオーバー中のパケットロスの発生を抑えるために、新たなハンドオーバー決定指標として MAC 層

(Layer2:L2) のデータフレームの再送回数を使用しているが、L2 で取得可能な他の情報に関する検討は行われていない。また、櫻原らの研究ではリアルタイム通信で使用される UDP 通信のみを想定しており、TCP 通信については検討していない。それに加え、このような WLAN 間のハンドオーバー時には、MN の通信性能の悪化だけでなく、MN のハンドオーバーが WLAN 全体の通信性能に与える影響についても調査する必要があるが、これまでの既存手法では行われていない。

そこで本論文では、ハンドオーバー決定指標が MN 及び WLAN 全体の TCP 通信性能に与える影響について調査し、ハンドオーバーに有効な新たな決定指標を提案する。まず既存手法のハンドオーバー決定指標が TCP の通信性能に与える影響について調査を行う。そして、L2 で取得可能な情報に着目し、それらが新たなハンドオーバー決定指標として有効であるかについて調査を行う。最後に TCP の通信性能とそれらのハンドオーバー決定指標の関係を詳細に調査することで、最適なハンドオーバー決定指標を提案する。

2. 既存手法のハンドオーバー決定指標

前節で述べたように、ハンドオーバー時に通信を継続するための手法がこれまで数多く提案されている。その一例として MIP では、MN は AP から定期的 (デフォルトでは 1 秒に 1 回) に送信される Router Advertisement Packets のロスにより自身の移動を検知する。つまり MIP では、MN のハンドオーバーの決定が Router Advertisement Packets の発生間隔に影響されるため、移動を検知するまでに通信性能が大幅に悪化している可能性がある。

これ以外にも MIP のハンドオーバー時の通信性能の悪化を抑えるために FMIP [10] や HMIP [11] が提案されているが、これらはハンドオーバー実行中及び実行後の通信性能を改善することを目的としており、ハンドオーバー実行以前の通信性能を改善する際に重要となるハンドオーバーの決定指標については検討していない。

また mSCTP では通信中に MN の IP アドレスを動的に追加、削除する機能を追加することで MN の移動透過性を実現しているが、ハンドオーバー決定指標については明記していない [3]。

この問題を解決するために、通信性能の状態変化をいち早く検知する方法として、Cunnigham [6] や Kelly [7] は、上位層の情報であるジッタや Smoothed Round Trip Time (SRTT) の変化をハンドオーバー実行の決定指標に用いる手法を提案している。しかし、これらの指標はインターネット上で発生する輻輳や WLAN の通信品質の悪化などにより時々刻々と変化するため、ハンドオーバー実行に適切な閾値を決定するのが困難である。そのため Layer1 (L1) から直接取得可能な電波強度 [8] をハンドオーバー決定指標として使用する手法が提案されているが、この電波強度は変動が激しいためハンドオーバー実行の際にピンポン効果などの悪影響を及ぼす問題が発生する可能性がある。

そこで [9] では WLAN 上でリアルタイム通信を行う VoIP アプリケーションを使用する環境を想定し、ハンドオーバーの決

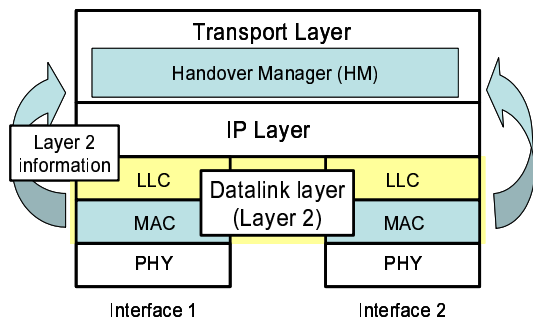


図 1 クロスレイヤーアーキテクチャ

定指標として L2 から取得可能なデータフレーム再送回数を用いた手法が提案されている．この手法において MN はパケットロスが発生する前にデータフレームの再送回数から WLAN の通信品質の悪化を検知し，ハンドオーバを実行することで良好な品質を達成している．しかしデータフレームの再送回数についてしか検討しておらず，L2 で取得可能な他の情報については広く調査していない．また，VoIP の UDP 通信のみを対象としているため，大半の既存のアプリケーションで使用されている TCP 通信については検討していない．

本論文ではハンドオーバ決定指標としてパケットロス，RTT を用いた場合，そのハンドオーバの決定が TCP の通信性能にどのような影響を与えるかについて調査する．その後 L2 の情報に着目し，その特性と TCP の通信性能の変化との関係について検討する．以上の検討を踏まえ，ハンドオーバ時の通信品質の悪化を防ぐのに最適なハンドオーバ決定指標を検討する．

3. L2 から取得可能な情報

これまでの既存手法ではハンドオーバの決定は主に L3 以上で取得可能な情報を基に行われてきたが，無線リンクの状態を適切に検知して切替えるためには前節で述べたように L2 で取得可能な情報を用いるべきである．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ーアプローチ [12] を取り入れることで，レイヤ間の情報の受渡しを可能にする．図 1 に本研究で用いるクロスレイヤーアーキテクチャの概略図を示す．この図に示すように，無線リンクの状態を MAC 層からトランスポート層のハンドオーバ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の状態を的確に検知することが可能となる．このアプローチをエンドノードである MN に適用することを考え，MN の L2 から取得可能な情報に着目する．以下ではこのクロスレイヤーアーキテクチャを用いることで取得可能な L2 の情報についてそれぞれ説明する．

3.1 インタフェースバッファのキュー長

WLAN インタフェースはパケットの送受信のためのバッファを持ち，また IEEE802.11 規格により MAC 層では，送信側は送信したデータフレームに対する ACK フレームを受信することで無線区間の伝送が成功したことを確認する (stop-and-wait 方式)．従って，無線リンクの通信品質の悪化によりデータフレームあるいは ACK フレームが損失した場合，ネットワーク

層 (L3) から渡される後続のパケットは送信することができず，送信中のデータフレームの送信が成功するまでインタフェースのバッファで待機することになる．その結果，インタフェースバッファのキュー長が増加するため，MN はインタフェースバッファのキュー長の増加を検出することで，無線リンクの通信品質の悪化を検知できると考えられる．

3.2 WLAN 内における伝送時間

MAC 層において，データフレームの送信時間と ACK フレームの受信時間を取得することで，データフレームが正しく送信されるまでにかかった時間 (伝送時間) を取得できる．この伝送時間は，WLAN 内で発生したデータフレームの再送にかかった時間も含まれるため，無線リンクの悪化時には増加することになる．また，Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS) を使用した場合は RTS/CTS フレームの交換時間も伝送時間に含まれる．以上のことより，WLAN 内の伝送時間は無線リンクの通信品質の悪化により増加するので，MN はこの伝送時間の増加から無線リンクの通信品質の悪化を検知できると考えられる．

3.3 データフレームの再送回数

WLAN ではデータフレーム，もしくは ACK フレームがロスしたときは，送信側は予め決められた再送回数に達するまで同じデータフレームを再送する．データフレームの再送は (1) 電波強度の劣化，(2) 他の MN によって送信されたデータフレームとの衝突により発生する．しかし，RTS/CTS を使用した場合，RTS/CTS フレームの交換によりデータフレームの衝突は発生しない．大きなサイズのフレームは小さなフレームよりも衝突の確率が高いため，TCP 通信のように大きなサイズの packets を送信する場合は一般的に RTS/CTS が使用される．本論文ではデータフレームの衝突の影響，及び隠れ端末問題 [13] による通信性能の悪化を避けるために RTS/CTS を使用する．つまり，RTS/CTS を使用した環境でのデータフレームの再送は電波強度の劣化によってのみ発生することになる．

RTS/CTS を使用した場合，送信側は ACK フレームを受信するまで同じデータフレームを初回送信を含めて 4 回再送する (初回送信 + 再送 3 回)．送信側が再送回数の制限内に ACK フレームを受信できない場合，データフレームはパケットロスとして扱われ破棄される．従って，データフレームの再送はパケットロスの発生前に必ず発生するため，データフレームの再送回数によって無線リンクの通信品質の悪化をいち早く検知できると考えられる．

4. シミュレーションモデル

MN の移動が通信品質に与える影響を調査するため，図 2 に示すようなモデルを想定し，Network Simulator 2 (ver.2.27) [14] を用いてシミュレーションを行う．シミュレーションでは IEEE802.11b インタフェースを搭載した 5 台の MN が，インターネット上にある 1 台の相手端末 (CN) と TCP 通信を行う．TCP のアルゴリズムには NewReno を使い，パケットサイズは 1500Byte とする．また本研究では 1500Byte と大きなパケットサイズを扱うため RTS/CTS を使用する．IEEE802.11b

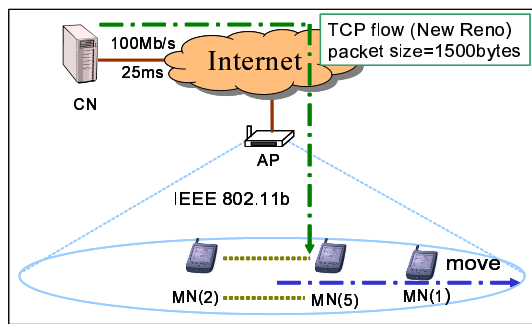


図 2 シミュレーションモデル

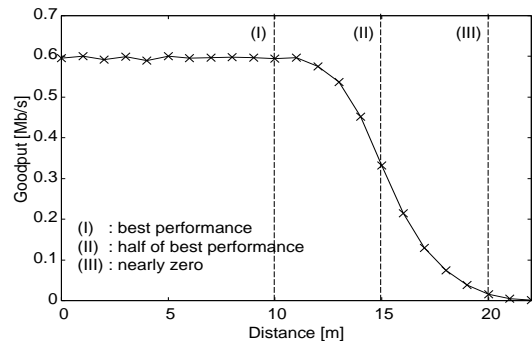


図 3 移動した MN(1) のグッドプット特性

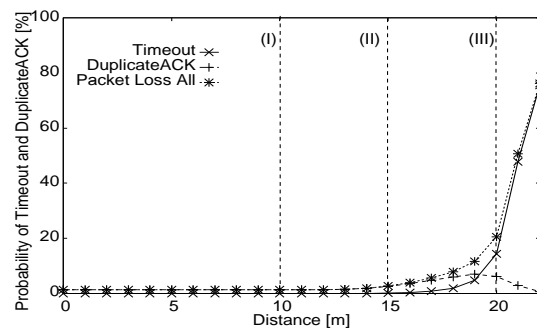


図 4 移動した MN(1) のパケットロスの割合

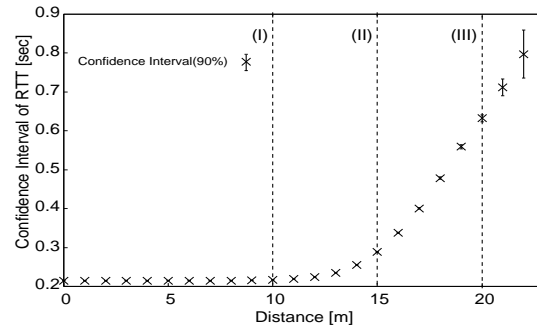


図 5 移動した MN(1) の RTT 特性

の通信速度に関しては 11Mb/s でのみ通信を行い、フォールバックは行わないものと仮定する。

本研究では (1) 1 台の MN が AP から離れる場合、(2) 3 台の MN が同時に AP から離れる場合の 2 つのケースについて特性を調査する。本シミュレーションにおいて、移動しない MN は AP の近くに配置し、電波強度の劣化によるデータフレームの再送は発生しない。

これら 2 つのケースのシミュレーションで、移動する MN と AP との距離を 0m から 22m まで 1m ずつ離し、各地点における通信品質の特性の変化を「移動する MN への影響」と「WLAN 全体への影響」という 2 つの観点で評価する。

これらのシミュレーションを通して、最初に TCP のグッドプット性能と L4 で取得可能な情報 (パケットロス, RTT) の関係を詳細に調査し、MN の移動時に既存のハンドオーバー手法で使用されるハンドオーバー決定指標がどれほど TCP の通信性能に影響を与えるか明らかにする。次に L2 で取得可能な情報と TCP のグッドプット性能との関係について詳細に調査し、L2 の情報をハンドオーバー決定指標として用いた場合、TCP のグッドプット性能にどのような影響を与えるか調査する。これらの結果からハンドオーバー時の通信性能の悪化を防ぐことが可能なハンドオーバー決定指標に関して検討する。更にそのハンドオーバー決定指標が複数の MN の移動時にも有効か否かについても評価する。

5. シミュレーション結果

5.1 1 台の MN の移動 (L4 情報)

ここでは 5 台の MN の内 1 台の MN(1) が AP から離れる環境を想定し、L4 で取得可能なパケットロス, RTT と MN(1)

の TCP のグッドプット性能との関係について詳細に調査する。

5.1.1 グッドプット

MN(1) が AP から離れていく際の TCP のグッドプットの変化を図 3 に示す。縦軸はグッドプット、横軸は AP と MN(1) との距離を示す。この図から TCP のグッドプットは 10m 付近から低下し始め (I)、15m 付近ではグッドプットが 0.3Mbps (最大グッドプットの 50%) まで低下している (II)。そして 20m 付近ではグッドプットがほぼ 0 となり、MN(1) は CN との通信が困難な状態となっている (III)。

5.1.2 パケットロス

図 4 は MN(1) の移動時において TCP の重複 ACK、タイムアウトによる 2 種類のパケットロスが各々どれだけ発生しているかを示した図である。この図から、重複 ACK は MN(1) が AP の近くに位置しているときから低ながらも一定割合で発生していることが分かる。これは TCP の輻輳制御では一般的な現象であり、MN(1) は重複 ACK によるパケットロスをハンドオーバー決定指標に用いるべきではない。一方タイムアウトは 15m 以降で発生し始め、その後急激に増加している。図 3、4 を比較すると、タイムアウトが発生し始める 15m 付近ではグッドプットが既に 0.3Mbps (最大グッドプットの 50%) まで低下していることが分かる。この結果より、パケットロスをハンドオーバーの決定指標に用いる既存手法では、ハンドオーバー実行時において TCP の通信性能を維持できず、性能が悪化することが分かる。

5.1.3 RTT

図 5 は RTT の変化を 90%信頼区間で表したものである。この図から、RTT はグッドプットが低下し始める 10m 付近から緩やかに上昇し、パケットロスが発生してグッドプットが大き

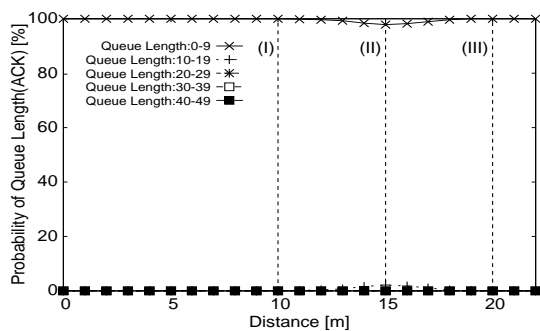


図 6 移動した MN(1) のバッファのキュー長の割合

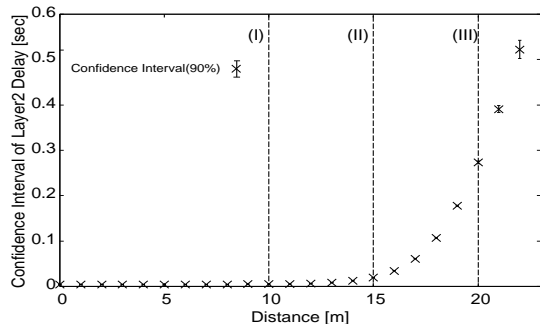


図 7 移動した MN(1) の WLAN 内の伝送時間特性

く低下している 15m 以降で急激に増加している。RTT の増加は無線環境だけではなく、インターネット上の輻輳によっても増加する。従って、輻輳による RTT の変化を無線環境の悪化と判断する可能性がある。つまり、MN(1) の移動を正しく検知することが難しく、ピンポン効果を生じさせ、ハンドオーバー時に通信性能が急激に悪化してしまう。このため RTT の変化を決定指標とする既存のハンドオーバー手法 [7] もハンドオーバー実行時の TCP の通信性能を維持することができないことが分かる。

5.2 1 台の MN の移動 (L2 情報)

次に 3 節で説明した L2 で取得可能な情報と、MN(1) の TCP のグッドプット性能との関係についてそれぞれ調査する。

5.2.1 インタフェースバッファのキュー長

図 6 は MN(1) が AP から離れていく際のバッファのキュー長の割合の変化を示したものである。この図からキュー長 (10-19) はパケットロスが発生する直前の 14m 付近でわずかに増加していることが分かる。これは CN から MN へデータを送信する TCP 通信の場合、AP で輻輳が発生すると MN は AP から受信するパケットの数が減少するため、MN が返す ACK パケットの数も減少してキュー長が短くなるためである。キュー長の変化はかなり小さなものであり、キュー長によって無線リンクの悪化を正確に検知することは難しい。これに加えて図 3 よりキュー長に変化が現れ始める 14m 付近では既にグッドプットが低下しているため、キュー長を利用して通信性能の悪化を防ぐことは困難と考えられる。

5.2.2 WLAN 内の伝送時間

図 7 は WLAN 内のフレーム伝送時間の変化を 90%信頼区間で示したものである。この伝送時間はパケットロスが発生し始

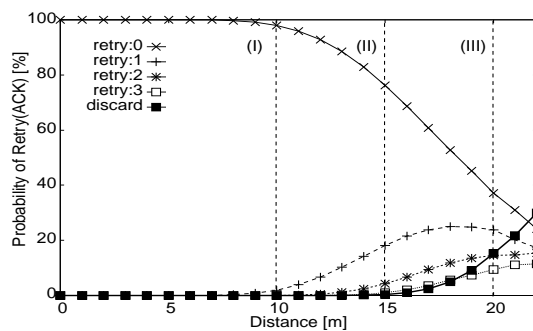


図 8 移動した MN(1) の再送回数の割合

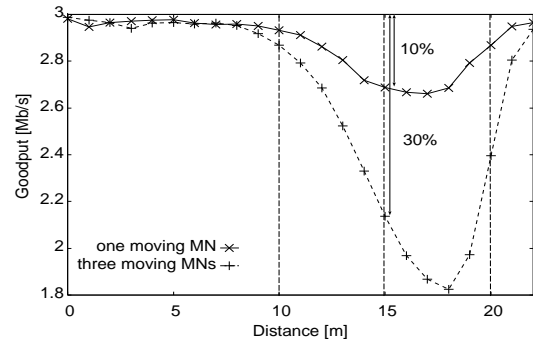


図 9 WLAN 上の総グッドプット特性

める 15m 付近まで増加せず、15m を過ぎた後急激に増加している。これは図 5 の RTT の場合と類似した特性である。この結果から、伝送時間をハンドオーバーの決定指標として用いた場合、TCP のグッドプットは最大値の半分まで低下することが分かる。また WLAN 内の伝送時間は RTT と異なり、インターネット上の輻輳等の影響は受けないが、WLAN 上の通信品質の悪化等による影響を受けてデータフレームの再送回数が増加し、急激に変化する可能性がある。従って、WLAN 内の伝送時間はハンドオーバーの決定指標として適していないことが分かる。

5.2.3 データフレームの再送回数

図 8 はデータフレームの再送回数の割合を示している。3 節で述べたように RTS/CTS を使用した場合、データフレームがパケットロスとして処理されるまでに、データフレームの再送は 4 回行われる。図 3, 8 の比較からデータフレームの再送は 8m 付近で発生し、その直後に TCP のグッドプットの低下が始まっていることが分かる。この結果は TCP のグッドプットの低下がデータフレームの再送発生後に起きるということを示している。従って、MN がハンドオーバーの決定指標としてデータフレームの再送回数を用いることにより、TCP のグッドプットが低下する前にハンドオーバーを行うことが可能である。つまり、データフレームの再送回数は最適なハンドオーバー決定指標になり得ると考えられる。

5.3 複数の MN の移動

ユビキタス環境では多くの MN が WLAN 間を移動すると考えられ、複数の MN が同時にハンドオーバーを行うことが頻繁に発生すると考えられる。このような環境では MN のハンドオーバーが WLAN 全体の通信性能の悪化を招くことは望ましくない。ここでは TCP 通信中の MN の移動が、総グッドプット

(WLAN 内に存在する全ての MN のグッドプットの和) に与える影響に関して調査する。

5 台の MN の内 1 台, または 3 台が移動したときの WLAN 内の総グッドプットの変化を図 9 に示す。図 9 より, 1 台の MN が AP から離れる場合, 総グッドプットはパケットロスが発生し始める 15m 付近で 2.7Mb/s まで低下する (10%の低下)。更に 3 台の MN が AP から離れる場合, 総グッドプットは 2.1Mb/s まで低下する (30%の低下)。両方のケースにおいて MN がハンドオーバを行えない場合, 総グッドプットは MN が 17m 付近に移動するまで低下し続ける。このように総グッドプットが低下する原因は, 移動中の MN において電波強度の劣化により再送回数が増加し, 複数の MN で共有される無線リンクを流れるデータフレームにおいて再送データフレームの割合が増加するためである。従って, MN 及び WLAN 全体の総グッドプットの低下を防ぐためには, 無線リンクの通信品質の悪化を適切に検知することが重要である。

また図 9 から 3 台の MN が同時に移動する際, 総グッドプットは 9m 付近から低下し始め, 1 台の MN が移動する場合 (10m 付近) よりもわずかに早く低下を開始することが分かる。この場合においても, データフレームの再送回数が総グッドプットの低下よりも早く発生し始めているため, 複数の MN が同時に移動する場合においてもハンドオーバの決定指標としてデータフレームの再送回数を用いることで, MN のグッドプット及び WLAN 内の総グッドプットを低下させる前にハンドオーバを行える可能性があることが分かる。

6. おわりに

本論文では既存のハンドオーバ手法で使用される決定指標 (パケットロス, RTT) が MN のハンドオーバ時の TCP のグッドプット性能及び WLAN 全体の TCP のグッドプット性能にどのような影響を与えるかを調査した。その後 L2 から取得可能な情報 (インタフェースバッファのキュー長, WLAN 内の伝送時間, データフレームの再送回数) に着目し, それらの情報と TCP のグッドプット性能との関係をシミュレーション実験によって調査した。

シミュレーション結果より, パケットロスが発生するときには既に TCP のグッドプットが半減しており, パケットロスを用いたハンドオーバ手法は MN のハンドオーバ時の TCP グッドプット性能と WLAN 全体の TCP のグッドプット性能を大きく低下させることが分かった。また RTT はインターネット上の輻輳や WLAN 上の影響を受けて変化する上, その変化が始まるのはグッドプットが大きく低下した後となるため, ハンドオーバの決定指標として適さないことが分かった。つまり, 上位層で取得可能なパケットロス, RTT をハンドオーバの決定指標とする既存手法では TCP 通信中にハンドオーバを行った場合, MN と WLAN 全体の TCP の通信性能を大きく低下させることが分かった。

また, L2 から取得可能な情報と TCP のグッドプット性能との関係を調査した結果, インタフェースバッファのキュー長, WLAN 内の伝送時間は無線リンクの状態を適切に検出するこ

とが困難であると分かった。一方, MN と WLAN 全体の TCP のグッドプットは共にデータフレーム再送の発生直後に低下が始まっており, データフレームの再送回数がハンドオーバ時の MN と WLAN 全体双方の TCP の通信性能悪化を防ぐ指標として適していることを示した。

本論文ではクロスレイヤアプローチを取り入れたハンドオーバ管理アーキテクチャを想定し, データフレームの再送回数がハンドオーバ時の通信性能の悪化を防ぐのに適した指標であることを示したが, 具体的な閾値を検討するには至っていない。今後はデータフレームの再送回数をハンドオーバ決定指標としたハンドオーバ管理手法を提案し, 評価する。

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 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] C. Perkins (Ed.), "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC3344, August 2002.
- [3] S. J. Kah, et al, "Mobile SCTP for Transport Layer Mobility," *draft-reigel-sjkoh-sctp-mobility-04.txt*, Internet draft (work in progress), Internet Engineering Task Force (IETF), June, 2004.
- [4] K. Tsukamoto, et al., "Mobility Management of Transport Protocol Supporting Multiple Connections," *Proc of ACM MobiWac2004*, pp. 83-87, October, 2004.
- [5] N. A. Fikouras, et al., "Performance analysis of Mobile IP handoffs," *Proc. of APMC '99*, pp. 770-773, 1999.
- [6] G. Cunningham, P. Perry, L. Murphy, "Soft, Vertical Handover of Streamed Video," *5th IEEE International on 3G Mobile Communication Technologies (3G 2004)*, London, England, October. 18-20, 2004.
- [7] A. Kelly, et al., "Delay-Centric Handover in SCTP over WLAN," *Transactions on Automatic Control and Computer Science*, Vol. 49 (63), May 2004.
- [8] M. Chang, et al., "Transport Layer Mobility Support Utilizing Link Signal Strength Information," *IEICE Trans. on Communication*, Vol. E87-B, No. 9, pp. 2548-2556, September 2004.
- [9] S. Kashiara, Y. Oie, "Handover Management based upon the Number of Retries for VoIP in WLANs," *IEEE 61st Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC2005)*, May 2005.
- [10] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," IETF Internet Draft, *draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-08.txt*, October 2003.
- [11] H. Soliman, et al., "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)," IETF Internet Draft, *draft-ietf-mipshop-hmipv6-02.txt*, June 2004.
- [12] S. Shakkottai et al., "Cross-Layer Design for Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 10, pp. 74-80, October 2003.
- [13] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part II - the hidden terminal problem in carrier sensing multiple access and busy tone solution," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-23, no. 12, 1975.
- [14] The Network Simulator 2 ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>