

マルチモーダル通信環境における最適な通信媒体選択機構の提案

塚本 和也[†] 堀 良彰^{††} 尾家 祐二^{†††}

九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科^{† ††}

〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

Phone:(0948)-29-7687, Fax:(0948)-29-7651

九州大学 大学院システム情報科学研究所^{††}

〒 812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

Phone, Fax:(092)-642-4052

E-mail: [†]kazuya@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{††}hori@csce.kyushu-u.ac.jp, ^{†††}oie@cse.kyutech.ac.jp

あらまし 多様な無線インターネット技術の普及に伴い、移動端末が同時に複数の無線ネットワークと接続可能な(マルチモーダル)環境が実現されつつある。この環境を最大限有効利用するためには最適な通信媒体をシームレスに切り替え、通信を継続する必要がある。しかし従来研究では、一つのTCPコネクションを通信媒体の切り替えに応じて変更し通信を継続するため、通信の切断や頻繁なハンドオフ(ピンポン効果)には追従できないといった問題が発生する。そこで本研究では、切り替え時において複数のコネクションを用いて並列転送を行うことで、最適な通信媒体を選択しつつ、シームレスハンドオフを実現する手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を評価する。キーワード シームレスハンドオフ, 並列転送, 最適な通信媒体選択, ピンポン効果

Network selection scheme for multimodal mobile hosts

Kazuya TSUKAMOTO[†], Yoshiaki HORI^{††}, and Yuji OIE^{†††}

^{† ††}Dept. of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology

Kawazu 680-4, Iizuka, 820-8502 Japan

Phone:(0948)-29-7687, Fax:(0948)-29-7651

^{††}Dept. of Computer Science and Communication Engineering, Kyushu University.

6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581 Japan

Phone, Fax:(092)-642-4052

E-mail: [†]kazuya@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{††}hori@csce.kyushu-u.ac.jp, ^{†††}oie@cse.kyutech.ac.jp

Abstract Network selection scheme designed specially to handle seamless handoff between the appropriate datalink interfaces is presented. The future mobile environment is expected to multimodal connectivity to the Internet and dynamic switching of the connection mode depending on many factors such as network conditions. Although the existing technologies address the connection shutdown problem by modifying one TCP connection at the handoff, the problems of disconnection and performance degradation due to the ping-pong effect still remain. In this paper, considering an optimized datalink interface when the multiple datalink interfaces are available, a new scheme to address these issues is proposed. Through simulations, the proposed scheme is demonstrated to provide marked improvements in performance over existing technologies.

Key words seamless hand-off, parallel transmission, optimized network selection, ping-pong effect

1. はじめに

近年、インターネットの接続及び利用方法は多様化し、最近では「いつでも」、「どこでも」インターネットに接続したいという要求に伴い、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技術としては、第三代移

動体通信システム(IMT-2000)準拠の通信方式である Universal Mobile Telecommunication System(UMTS)とIEEE 802.11bに代表される無線LAN(WLAN)の二つの技術が広く普及している。UMTSは広いサービス範囲を提供するが、課金が従量制な上に通信速度が2Mb/sまでに限定される。一方、WLANはサービス範囲は狭いが、課金は定額制で高速インターネット接続を提供する。以上よりUMTSとWLANは相互補完的な

技術であるといえ、これらのサービスを統合し、WLANの利用可能範囲ではWLANを、それ以外ではUMTSを利用することで「いつでも」、「どこでも」、かつ低料金で高速インターネット接続を提供可能となる。このサービスの統合には移動端末がそれぞれのインターフェースを保持する事に加え、ユーザの嗜好、伝送能力等の様々な状況を考慮した上で最適な通信媒体を自動的に選択することが必要となる。

Mobile IP [1] や Migrate TCP [2] といった従来の mobility 手法では、ハンドオフ時の TCP 通信の継続を達成している。元来 TCP は固定の end-to-end コネクション間のデータの送受信制御のために設計され、エンドポイント識別子などのコネクション情報は Transmission Control Block(TCB) といわれる管理テーブルに格納される。しかしこの TCB はコネクション毎に一つしか保持できないため、従来手法ではハンドオフに伴い IP アドレスが変化した際には TCB を上書きして通信を継続していた。このように一つの通信媒体を選択し、TCB を上書きすることで通信を継続する手法を一般に垂直ハンドオフと呼ぶ [4]。これら従来の垂直ハンドオフ手法はハンドオフ時の帯域変化を考慮していないため [3] ではこの帯域変化に対応可能なフロー制御方式として Bandwidth Aware 方式を提案し、ハンドオフ後の効率的な通信再開を達成している。しかし、この手法でもハンドオフ時の TCB の上書きが必要なため、パケットロスが発生し、頻繁なハンドオフの発生時 (ピンポン効果) には性能が急激に劣化するといった問題 [5] [6] が残る。この問題はハンドオフ時において複数の TCB を同時に保持し、TCB の上書きが発生しないようにすることで解決できると考えられる。

複数の TCB を同時に保持可能なトランスポートプロトコルとしては、parallel TCP(pTCP) [7] 及び Radial Reception Control Protocol(R2CP) [8] 等が提案され、各トランスポートコネクション (TCP 及び RCP) を複数同時に利用するための拡張を行っている。しかし pTCP はインターフェース数は固定で、mobility は考慮されていない。一方、R2CP はハンドオフに言及しているものの、その詳細な機構は定義されておらず、垂直ハンドオフとの比較も行っていない。そこで本研究では UMTS と WLAN のエリアがオーバーラップしている点に注目し、それらを同時に利用し、最適な通信媒体を選択した上で通信を切り替えることで、シームレスハンドオフを実現する機構を提案する。またシミュレーションによって垂直ハンドオフとの性能比較を行い、本提案手法の有効性を示す。

2. ハンドオフ時間

ハンドオフは基本的に (1)link-layer handoff, (2)movement detection, (3)registration の 3 つの処理に分類される [9]。本研究では、これら 3 つの処理に加え (4)Dynamic Host Configuration Protocol(DHCP) 取得処理, (5)Authentication, Authorization, Accounting(AAA) 処理, (6)Point-to-Point Protocol(PPP) 接続 (UMTS のみ) の処理を想定した。

(1) は Access Point(AP) から受信したビーコン情報を基に移動端末が AP とコネクションを確立するための処理を指す。この処理の大半はビーコンの取得によって占められ、ハードウェア機器によって 50ms ~ 400ms の処理時間が発生する [10]。

(2) は端末の移動検知に必要な処理を指す。Mobile IP では Home Agent(HA)/Foreign Agent(FA) から 1 秒毎に送信され

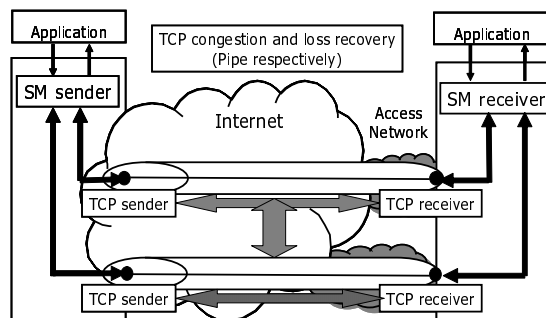


図1 pTCPのアーキテクチャ。

る advertisement を基に移動を推定するアルゴリズムが複数提案されており、0.5 ~ 3 秒の処理時間が必要となる [12]。しかし Mobile IP を使用しない場合、この advertisement による移動検知を行えないため、layer 2 のビーコンの受信状況により移動を検知する必要がある。以降、本研究では Mobile IP は想定しないものとし、ビーコンを x 秒間受信し続けた場合、新しいネットワークに接続可能と判断してハンドオフを決定する。逆に y 秒間ビーコンの受信が途絶えた場合は、ネットワークから切断されたと判断し、ハンドオフを決定する。また、(2) の処理が終了するまでに (1) の処理は終了するものとし、 x 及び y をハンドオフ決定時間と定義する。

ハンドオフの決定後は (4)DHCP により新たに IP アドレスを取得し (300ms [11]), (3) その変化を location サーバに registration する (片道遅延時間: 50ms)。その後、(5)end-to-end のセキュリティと QoS 要求を継続するために AAA 処理を行い (2RTT+3server access delay+認証処理時間: 350ms), UMTS と接続する際には更に (6)PPP 接続の処理が必要となる (600ms [6])。本研究では以上の (3) から (6) までの処理時間をハンドオフ処理時間と定義する。垂直ハンドオフ手法では、このハンドオフ処理時間中に TCB を上書きするため、この期間において通信が切断される。

以上より、ハンドオフ決定時間は x 及び y 秒、ハンドオフ処理時間は WLAN が 700ms, UMTS が 1300ms とする。

3. pTCP

pTCP は複数の通信媒体を用いた並列転送をトランスポートプロトコルで実現する拡張であり、管理プロトコルである Striped connection Manager (SM) は end-to-end パス毎に確立される TCP コネクションをまとめる wrapper としての役割を果たす。SM は図 1 に示すように自身の送/受信バッファ状態を監視して、複数の TCP への送信量を制御 (フロー制御) しつつアプリケーションデータを振り分けることでデータの順序制御を担う。この振り分けるデータ量は各パスの TCP の輻輳制御によって決定され、TCP が新たなデータを送信可能な場合は SM に送信データを要求することで並列転送を実現する。また各パスで発生するロスは他のパスとは独立して再送されるため、全体の通信がストップする head-of-line ブロッキングが起きにくい。このように pTCP では独立して動作する複数の TCP へのデータ送信を SM が一括管理して行うために、複数の TCB を保持する事が可能となっている。

しかし pTCP ではパス毎に独立してパケットを送信するため、あるパスでロスが発生した際、他のパスは SM がそのロスを検

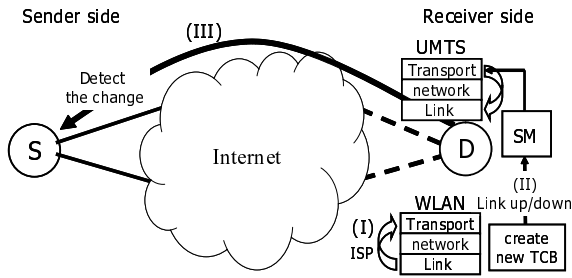


図 2 リンクの up, down 検知機構 .

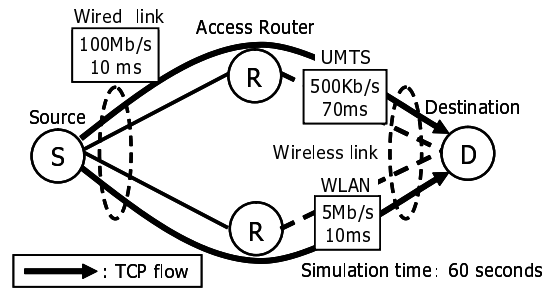


図 3 シミュレーションモデル .

知するまで送信を継続する．その結果，それらのパケットが受信されると out-of-order パケットとみなされ，受信バッファに格納される．つまり連続したパケットロスの発生が out-of-order パケット数の増大を招き，バッファオーバーフローを引き起こす可能性があるといえる．以上の理由から並列転送を行う場合には out-of-order パケット数の評価が必要となる．

4. 本研究の提案手法

本章では本研究で提案する最適な通信媒体選択機構を (1) リンクの up, down の通知機構，(2) 最適な通信媒体の選択機構，に分けて説明する．また本研究では UMTS のリンクは常に接続可能な状態であると仮定し，WLAN のリンクが up, down する状況を想定する．

4.1 リンクの up, down の通知機構

本節では図 2 を用いて WLAN リンクの up 及び down の通知機構を説明する．移動端末は 2 章で述べた movement detection 処理によりハンドオフを決定後，Inter Signaling Pipe(ISP) [13] を用いてその決定を TCP receiver に通知する (I)．TCP receiver では IP アドレスを新たに取得し，TCB を作成 (ハンドオフ処理) するが，取得した情報が既に保持している TCB と同じ (以前接続していたネットワーク) 場合は TCB を作成しない．TCB の作成完了後，TCP receiver は SM receiver へリンク状態の変化 (link-up もしくは link-down) を通知する (II)．SM receiver はその通知を基にリンク状態変化を示すフラグを立てた制御パケットを作成し，UMTS リンクを用いて送信することで送信側に変化を通知する (III)．SM sender は制御パケットを受信した TCP sender から通知を受け取ることで受信側の WLAN リンクの up, down 情報を知ることが可能となる．

前述したように，垂直ハンドオフ手法では TCB の作成時間を含むハンドオフ処理時間において通信が切断されるが，pTCP では複数の TCB を保持できる事に加え，常に UMTS の TCB を保持しているため，WLAN の TCB の作成時間においても UMTS によって通信を継続することができる．

4.2 最適な通信媒体の選択機構

4.2.1 リンク up

前節で述べた通知機構によって SM が新たなネットワークのリンク up を検知すると，これまでの通信を継続しつつ，新たに up したリンクに対してもデータの送信を開始する．本研究では，この複数リンクを用いたデータ送信のために 3 章で述べた pTCP を利用する．その後新たなパスの TCP sender では，通信開始後の 3 パケットを使用して帯域遅延積を算出する．この帯域遅延積の算出は新たなリンクの通信状況を迅速に把握することが目的であり，算出には [14] の手法を使用した．算出さ

れた帯域遅延積は TCP から SM に渡され，SM ではその値と現在通信に使用しているリンクの帯域遅延積の値を比較し，大きな帯域遅延積を持つリンクに通信を切り替える．これによって通常は低料金かつ広帯域な接続を提供可能な WLAN に通信を切り替え，通信環境や接続人数が多い場合などの要因によって WLAN の通信性能が低下している場合には切り替えずに UMTS の通信を継続するため，安定した通信を実現できる．

上記の比較により WLAN リンクに通信を切り替える場合，SM は UMTS リンク上の TCP 通信をストップさせる．その際 TCP sender は，送信したがまだ ACK を受け取っていないパケット (未確認パケット) を SM sender に通知する．SM は通信媒体切り替え後，まず未確認パケットを再送信し，その後新たなデータの送信を開始する．この際 UMTS リンクを用いた TCP はキープアライブ状態とし，TCB は一定期間保持する．

4.2.2 リンク down

SM sender はリンク up 時と同様に 4.1 節の通知機構により受信側の WLAN のリンク down を検知できる．この通知機構はビーコンを y 秒間受信できない時に動作し，通知にキープアライブとして保持していた UMTS を使用することで突然のリンク down 時にも確実に情報を通知できる．この通知を受け取った送信側では UMTS を用いて迅速に通信を再開する．一方，垂直ハンドオフ手法ではビーコン受信状況によりリンク down を判断した後，再度 UMTS のビーコン情報を取得し，2 章で述べたハンドオフ処理を行った上で通信を再確立する必要がある．この期間に受信したパケットはすべてロスされる．

down の通知を受けた SM は WLAN リンクを用いた TCP 通信をストップさせる．この際，WLAN の TCP sender は未確認パケットを SM に通知する．SM は通信切り替え後，まず未確認パケットを再送信し，その後新たなデータの送信を開始する．この際 down した WLAN の TCB を一定期間保持しておき，再度同じ WLAN に接続する場合にはその TCB を利用することでハンドオフ処理時間の削減が可能となる．

5. シミュレーションモデル

本研究では図 3 に示すように Source と Destination の間に UMTS と WLAN の二つのアクセスネットワークを含む end-to-end パスが存在す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 VINT プロジェクトの NS Version2 に pTCP の機能と本研究で提案する通信媒体選択機構を追加したものを用いる．

pTCP によりそれぞれのパスに割り振られたトラフィックは，まず広域ネットワークを通して Access Router(AR) に到着す

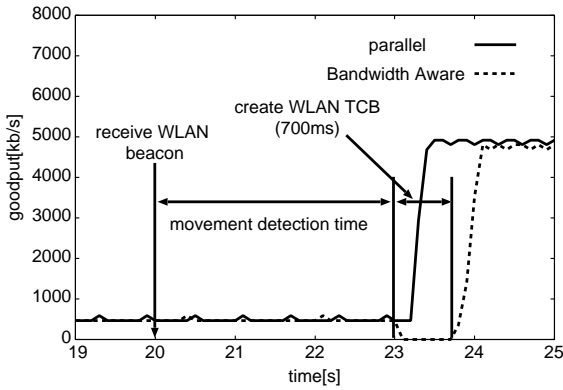


図4 リンク up 時のグットプット特性 ($x=3$) .

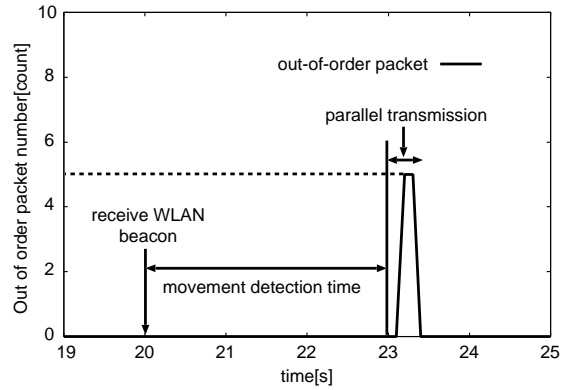


図5 リンク up 時の out-of-order パケット数特性 ($x=3$) .

る．その間のリンク帯域は 100Mb/s，伝送遅延時間は 10ms とした．その後トラフィックは異なる帯域と遅延を持つそれぞれの無線通信媒体を経由して移動端末に伝送される．この AR から移動端末までの無線通信媒体としては UMTS (帯域: 500 Kb/s，遅延: 70ms) と IEEE 802.11b WLAN (帯域: 5Mb/s，遅延: 10ms) を想定した．本研究ではシミュレーション時間は 60 秒間，TCP のアルゴリズムは NewReno を使用し，パケットサイズは 1500 バイトとした．また，TCP トラフィックは無限のデータを連続してファイル転送する greedy トラフィックとした．

本研究では UMTS は常に接続可能，WLAN は端末の移動や信号強度の変化によってある期間接続可能となる状況を想定し，その上でハンドオフを行った際の性能を提案手法と垂直ハンドオフ手法の 2 種類について比較した．垂直ハンドオフ手法としては Bandwidth Aware 方式 [3] を用いた．その上でハンドオフ決定時間 x 及び y を変化させた際のグットプット特性，out-of-order パケット数を評価対象とし，様々な状況を想定してシミュレーションを行い，提案手法の有効性を評価した．

6. シミュレーション結果

接続可能なリンク数が動的に変化した直後のグットプット特性，out-of-order パケット数に注目して評価を行った．本章ではその結果を示し，提案手法の有効性について考察する．

本節ではまず，(1) UMTS で通信を行っている端末が移動し，WLAN に接続可能となる (リンク up)，(2) WLAN で通信を行っていた端末が移動し，WLAN に接続できなくなる (リンク down) 場合を想定しハンドオフ決定時間 x 及び y をそれぞれ変化させた場合の性能を調査した．最後にこの結果を踏まえ，(3) ハンドオフが連続かつ複数回発生する (ピンポン効果) 場合の性能調査を行った．

6.1 リンク up 時の性能

本節では UMTS で通信を行っていた端末が移動し，通信開始後 20 秒の時点から WLAN のビーコンを受信可能となる状況を想定する．移動端末は 20 秒から x 秒間ビーコン情報を受信し続けるとハンドオフを決定し ($20+x$ 秒)，ハンドオフ処理 (TCB の作成) を開始する (WLAN は 700ms) .

図4はWLANのエリアに入った後5秒間のグットプット特性を示している． x は3秒と設定し，慎重にハンドオフを決定するようにした．図4からBandwidth Aware方式では20秒の時点からビーコンを受信しているにもかかわらず，慎重にハンドオフを判断するためUMTSによる通信を23秒(20+3

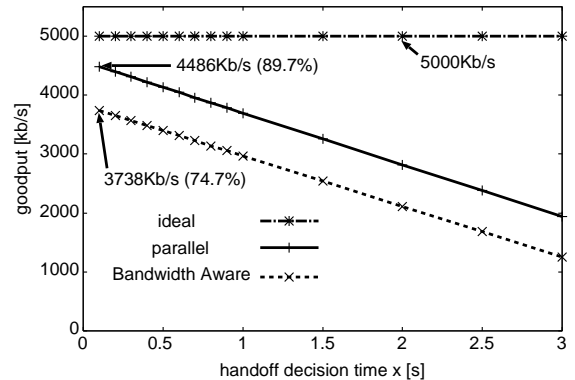


図6 ハンドオフ決定時間 x 変化時のグットプット特性 .

秒)まで継続している．その結果，その期間において広帯域なWLANを利用できない．その後ハンドオフ処理によって23.7秒(23+700ms)まで通信が切断されているが，その後は効率的に通信を再開している．

これに対し本提案手法もBandwidth Aware方式と同様に慎重にハンドオフを決定するため23秒までUMTSでの通信を継続し，WLANを利用できない．しかし本提案手法では複数のTCBを保持できるため，ハンドオフ決定後のハンドオフ処理中にもUMTSによって通信を継続でき，終了後もWLANにシームレスに通信を切り替えていることがわかる．また図5は並列転送によって発生するout-of-orderパケット数を示しているが，out-of-orderパケット数は最大でも並列転送開始直後の5パケットに過ぎず，受信バッファを圧迫する心配がないことがわかった．

続いて通信媒体切り替え時の過渡特性を評価するために，ハンドオフ決定時間 x を 0.1~3 秒まで変化させ，ビーコン受信開始後 5 秒間の平均グットプットを算出し，図6に示す．図中の ideal はビーコン受信直後から通信を WLAN へ切り替えた際の帯域を示す．

図6より全ての場合において提案手法の方がBandwidth Aware方式よりも良いグットプット特性を示しているが，その差は x の値の変化に関わらずほぼ一定 ($750\text{Kb/s}=15\%$) となっている．また両方式ともにハンドオフ決定時間 x が小さな値を取るほど良い性能を示し， x が 0.1 秒の場合には，Bandwidth Aware方式が理想値の約75%，提案手法では理想値の約90%と良好な性能を示す．以上の結果より，本提案手法を用いることでBandwidth Aware方式の性能を更に改善できるが，Band-

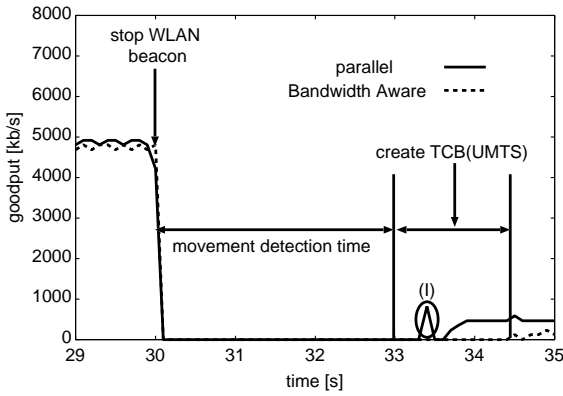


図 7 リンク down 時のグットプット特性 ($y=3$) .

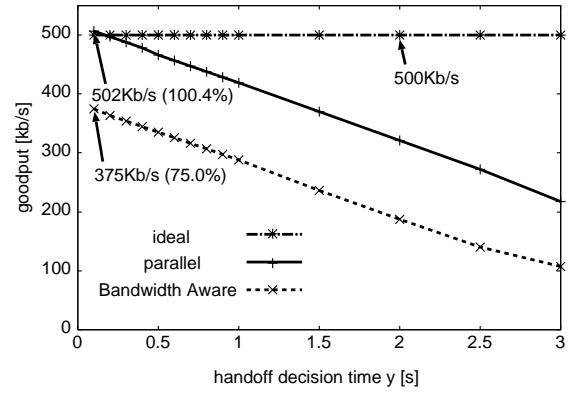


図 8 ハンドオフ決定時間 y 変化時のグットプット特性 .

width Aware 方式でも x の時間を小さく設定し、積極的にハンドオフを行うことで良好な性能を実現できることがわかった .

6.2 リンク down 時の性能

本節では WLAN で通信を行っていた端末が移動し、通信開始後 30 秒の時点で WLAN からのビーコンを受信できなくなる状況を想定する . その後、移動端末は y 秒間ビーコン情報を受信できないとハンドオフを決定し ($30+y$ 秒)、ハンドオフ処理を開始する (UMTS は 1300ms) .

図 7 は WLAN のエリアから出た直後 5 秒間のグットプット特性を示している . 本節では前節同様、 y を 3 秒と設定し、慎重にハンドオフを決定するようにした . 図 7 から Bandwidth Aware 方式では、30 秒からビーコンを受信できないにも関わらず 33 秒 ($30+3$) まで待ってハンドオフを決定し、34.3 秒 ($33+1300ms$) までハンドオフ処理が行われるため、その期間 (30 秒 ~ 34.3 秒) は通信が切断されてしまう . この結果より、Bandwidth Aware 方式では慎重にハンドオフを決定すると効率的に通信を再開できないといえる . これに対し本提案手法でも慎重にハンドオフを決定するため、33 秒までは通信が切断されるが、ハンドオフの決定後は保持していた UMTS の TCB を利用することでハンドオフ処理を行わずに迅速に通信を再開している . また再開直後は 4.2.2 節で述べた未確認パケットの再送を行っているためグットプットが上昇している (1) .

続いて通信媒体切り替え時の過渡特性を評価するために、ハンドオフ決定時間 y を 0.1 ~ 3 秒まで変化させ、ビーコン受信終了後 5 秒間の平均グットプットを算出し、図 8 に示す . 図中の ideal はビーコン受信終了直後から通信を UMTS へ切り替えた際の帯域を示す .

図 8 よりすべての場合で提案手法が Bandwidth Aware 方式よりも良い性能を示し、その差が 130Kb/s(25%) となっていることから、up 時よりも更に性能を改善できることがわかった . また up 時と同様にハンドオフ決定時間 y が小さな程、両方式ともに良好な性能を示し、 y が 0.1 秒の場合には Bandwidth Aware 方式が理想値の 75%、提案手法では通信開始直後の未確認パケットの再送によるグットプット上昇の影響から理想値以上のグットプット (100.4%) を達成している . 以上の結果より、ハンドオフ時の性能はその決定時間に大きく依存しており、この時間を短く設定し積極的にハンドオフを行うことで性能を大きく改善できることが分かった .

6.3 複数回のハンドオフ (ピンポン効果) 時の性能

本節では移動端末が WLAN エリアの端にいる状況を想定し、

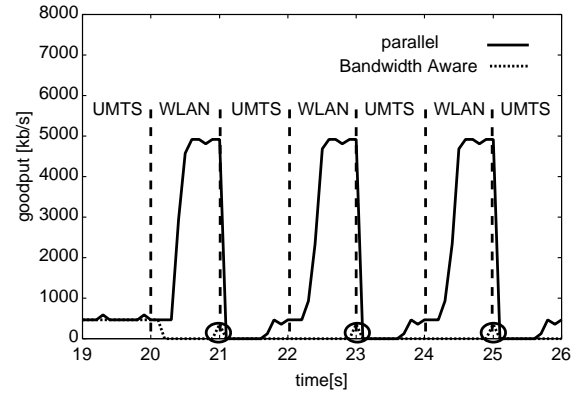


図 9 複数回のハンドオフ時のグットプット特性 . (1 秒間隔)

表 1 グットプット特性 . (1 秒間隔)[Kb/s] (%)

ideal value	2428
Bandwidth Aware	95 (3.9)
parallel	1562 (64.3)
no hand-off	500

信号強度の変動により WLAN と UMTS の間で連続かつ複数回のハンドオフが発生した場合の性能を調査する . 本節では積極的にハンドオフを決定することで性能が改善されるという結果を踏まえ、 x 、 y を共に 0.1 秒と短く設定し、WLAN と UMTS の間で通信開始後 20 秒から 5 回のハンドオフが (1)1 秒間隔及び (2)2 秒間隔、で発生した場合のグットプット特性を評価する . この切り替えでは同一の WLAN に接続するため、保持した WLAN の TCB を再利用して迅速に通信を再開できる .

図 9 は 1 秒間隔でハンドオフが発生した場合のグットプット特性を示し、表 1 は 19 秒から 26 秒までの 7 秒間の平均グットプットを示す . 図 9 より Bandwidth Aware 方式では WLAN のビーコン受信状態の変化後すぐに通信を切断し、素早くハンドオフ処理に移行しているが、その処理時間 (0.7 秒もしくは 1.3 秒) が通信時間 (1 秒) に対して大きいため、UMTS では全く、WLAN においてもわずかにしか通信できていない . そのため、表 1 から分かるように平均グットプットは 95Kb/s と極めて低い性能を示し、ハンドオフを行わない場合のグットプット (500Kb/s) よりも性能が劣化している . この結果より、Bandwidth Aware 方式では頻りにハンドオフが発生する場合に積極的にハンドオフを決定すると逆に性能が劣化する可能性があるといえる . これに対し、本提案手法では、積極的にハン

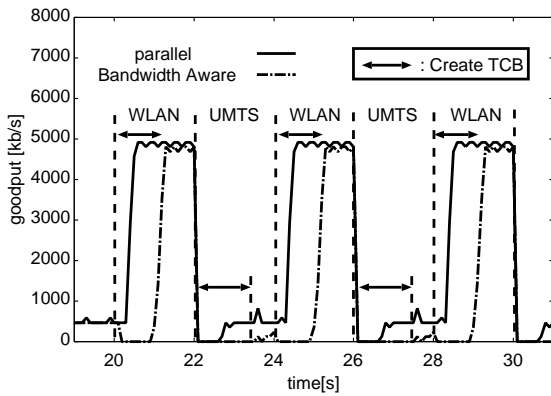


図 10 複数回のハンドオフ時のグットプット特性 . (2 秒間隔)

表 2 グットプット特性 . (2 秒間隔) [Kb/s] (%)

ideal value	2750
Bandwidth Aware	1140 (41.5)
parallel	2450 (89.1)

ドオフを決定することで迅速にハンドオフ処理に移行でき、保持している TCB を再利用して通信を再開できるため UMTS と WLAN 双方の利用可能な帯域を有効に利用できる。その結果、1 秒間隔でハンドオフが起きるような劣悪な通信環境においても積極的にハンドオフを行うことで、ハンドオフを行わない場合のグットプットの 3 倍以上という良好なグットプット特性を達成できることがわかった。

最後に、2 秒間隔でハンドオフが発生する場合のグットプット特性を図 10 に、またその際の 19 秒から 31 秒までの 12 秒間の平均グットプット特性を表 2 に示す。図 10 より Bandwidth Aware 方式では 1 秒間隔の場合と同様に、 x 及び y を短く設定しているため、ビーコン受信状態の変化を素早く検知しハンドオフ処理に移行しているが、ハンドオフ処理時間によって UMTS, WLAN の帯域を有効に利用できていない。その結果、表 2 より Bandwidth Aware 方式では理想値の 40% 程度のグットプットしか実現できていない。これに対し、本提案手法では UMTS と WLAN 双方の利用可能な帯域を最大限有効に利用できているため、この場合においても理想値の 90% 近く (Bandwidth Aware 方式の 2.2 倍) という極めて良好なグットプットを達成できることがわかった。

以上の結果より、垂直ハンドオフ手法ではハンドオフ処理時間において通信が切断されるため、連続して頻繁にハンドオフが発生する場合には積極的なハンドオフの決定が逆に性能劣化を招く可能性があることがわかった。これに対し本提案手法では、性能の低下はハンドオフ決定時間のみに依存するため、積極的にハンドオフを決定することでハンドオフの発生間隔に関わりなく良好な性能を示すことがわかった。

7. ま と め

本研究ではハンドオフ時間を (1) ハンドオフ決定時間、(2) ハンドオフ処理時間、の二つに分類し、複数の TCB を利用することでシームレスハンドオフを実現する機構の提案を行った。従来の垂直ハンドオフ手法では一つの TCB しか扱えないため、(2) の処理の間通信が切断される上に、ハンドオフの決

定を慎重に行う場合には利用可能な通信媒体の帯域を有効に利用できないという問題がある。そこで (1) の時間を短く設定し、積極的にハンドオフを決定するとハンドオフ時の性能は大きく改善できることがわかったが、頻繁にハンドオフが発生する場合にはその積極的なハンドオフの決定が逆に性能を低下させることがわかった。この結果、垂直ハンドオフ手法ではハンドオフの発生間隔に応じてハンドオフ決定時間を調整する必要がある、現実的には困難である。それに対し本提案手法では、複数の TCB を保持することで TCB の作成 (ハンドオフ処理) 時間を削減できることに加え、積極的にハンドオフを決定することでハンドオフの発生間隔に関わりなく利用可能な通信媒体の帯域を最大限有効利用できることを明らかにした。

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] C.Perkins, Editor. "IP Mobility Support," *Networking Group, RFC 2002*, Oct. 1996.
- [2] A. C. Snoeren and H. Balakrishnan, "An End-to-End Approach to Host Mobility," *ACM/IEEE MOBI-COM'00*, no. 6, pp. 155-166, Boston, Aug. 2000.
- [3] K. Tsukamoto, Y. Fukuda, Y. Hori, Y. Oie, "New flow control schemes of TCP for multimodal mobile hosts," *Proc. of the IEEE VTC2003-Spring*, Vol. 3, pp. 1720-1724, Apr. 22-25, 2003.
- [4] M. Stemm and R. Katz, "Vertical handoffs in wireless overlay networks," *Mobile Networks and Applications*, 3(4): pp. 335-350, 1998.
- [5] Y. Min-hua, L. Yu, and Z. Hui-min, "The Mobile IP Handoff Between Hybrid Networks," *Proc. of IEEE PIMRC2002*, Vol. 1, pp. 265-269, Sep. 2002.
- [6] H. Parikh, H. Chaskar, D. Trossen, and G. Krishnamurthi, "Seamless Handoff of Mobile Terminal from WLAN to cdma2000 Network," *Proc. of IEEE 3G Wireless2003*, San Francisco, CA, USA, 2003.
- [7] H. Y. Hsieh and R. Sivalumar, "A Transport Layer Approach for Achieving Aggregate Bandwidths on Multihomed Mobile Hosts," *Proc. of ACM MOBICOM2002*, pp. 83-94, Atlanta, Sep. 2002.
- [8] H. Y. Hsieh, K. H. Kim, Y. Zhu, and R. Sivakumar, "A Receiver-Centric Transport Protocol for Mobile Hosts with Heterogeneous Wireless Interfaces," *ACM MOBICOM2003*, pp. 1-15, San Diego, CA, USA, Sep. 2003.
- [9] N. A. Fikouras, A. J. Knsgen, and C. Gorg, "Accelerating Mobile IP hand-offs through Link-layer Information, an Experimental Investigation with 802.11b and Internet Audio," *Proc. of MMB2001*, Germany, Sep. 2001.
- [10] A. Mishra, M. Shin, and W. Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 Mac Layer Handoff Process," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 33, Issue 2, Apr. 2003.
- [11] A. Dutta, F. Vakil, J. C. Chen, and M. Tauil, "Application Layer Mobility Management Scheme for Wireless Internet," *Proc. of IEEE 3G Wireless2001*, San Francisco, 2001.
- [12] N. A. Fikouras, K. El Malki, S. R. Cvetkovic and M. Kraner. "Performance analysis of Mobile IP handoffs," *Proc. of Asia-Pacific Microwave Conf.*, pp. 770-773, 1999.
- [13] G. Wu, Y. Bai, J. Lai and A. Ogielski: "Interactions between TCP and RLP in Wireless Internet," *In Proc. of IEEE GlobeCom'99*, pp. 661-666, Dec. 1999.
- [14] J. C. Hoe, "Improving the Start-up Behavior of a Congestion Control Scheme for TCP," *Proc. ACM SIGCOMM'96*, pp. 270-280, Aug. 1996.