

IEEE 802.11 省電力端末の TCP プロキシ搭載 AP 間ハンドオフ機構

ダムラク ス タナプーム* グエン ホアイソン** 金子 晋丈**
森川 博之* 青山 友紀**

あらまし 近年, IEEE 802.11 無線 LAN のサービスエリアやネットワークカードが急速に普及している. しかしながら, 無線 LAN 端末を持ち歩いてインターネットアクセスにするモバイルインターネットの普及はあまり進んでいない. 筆者らは, 無線 LAN 利用時の高い電力消費を改善することが重要であると考え, IEEE 802.11 における省電力モードに注目し, その TCP スループットの改善について検討を進めている. 本稿では特に, TCP スループット改善手法である省電力 TCP プロキシを利用した際のモビリティサポートの実現について述べる. プロキシプログラムの実現手法としてスプリット型とスヌープ型を説明し, モビリティサポートの観点からこれらを比較し, スヌープ型のモビリティサポートを説明する. また, 本モビリティサポートを実装し, 評価を行った.

キーワード IEEE 802.11 省電力 TCP スループット モビリティ ハンドオフ

Mobility Support for IEEE 802.11 Power Saving Terminal across Access Points Running TCP Proxy

Tanapoom DAMRAKS*, Hoaison NGUYEN**, Kunitake KANEKO**,
Hiroyuki MORIKAWA*, and Tomonori AOYAMA**

Abstract: Wireless LAN IEEE 802.11 Power Saving Mode (PSM) can save energy greatly for mobile terminals but seriously degrades network performance of TCP by increasing the delay between PSM client and the server. To overcome this problem, we have shown that TCP Proxy on Access Point (AP) can improve TCP throughput of PSM terminal effectively.

In this paper, we describe the design of mobility support mechanism for PSM terminal across APs running TCP proxy. We discuss the merits and demerits of two TCP Proxy models, split model and snoop model. Regarding that snoop model has several advantages in simple design and management, compatibility with conventional application, we designed and implemented the snoop model and showed the effectiveness of this model by experiment.

Keywords: IEEE 802.11 power-saving TCP throughput mobility handoff

1. はじめに

近年, ローカルエリアにおける無線ネットワークは大いに注目を集めており, 現在もっとも普及している無線 LAN 技術である IEEE 802.11[1] が, 2004 年に発売される全ノート型コンピュータの 70% に搭載されるといわれている [2]. 一方, IEEE 802.11 ネットワークは, オフィスエリアや自宅だけでなく, ユーザが外出時にも利用できるように, 空港やホテル, 喫茶店などにおいても普及が進んでいる. しかし, これらホットスポットと呼ばれる公共空間からのインターネットアクセスは, 一部のユーザによる利用が主と

なっており, 携帯電話ほど誰もが利用している状態とは言い難い. ホットスポットにおけるインターネットアクセスの利用が拡大しない原因として, 手軽に利用できる無線 LAN 端末が普及していない, ホットスポットエリアがユーザに周知されていない, 利用可能なサービスエリアが限定されているなどが考えられている.

筆者らは, モバイルインターネットの実現には, 上記の課題を克服するとともに, モバイル端末の長時間利用を実現する省電力技術が必要であると考え, IEEE 802.11 における省電力技術に関する研究を行ってきた. IEEE 802.11 において標準化されている省電力技術 (Power Saving Mode, 以下 PSM) では, 通信を行っていない待機時の電力消費を押さえるために, 定期的に基地局が発するビーコンを受信し基地局に自ノード宛のデータが届いていない時は, 次の定期ビーコンまでスリープ状態に入るよう規定している. ノードの消費電力は待機時が 1.15W でスリープ時が 0.045W で

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

** 東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
The University of Tokyo

ある [3] ため、PSM を利用することで通信を行っていないときの消費電力は大きく減少する。しかしながらスリープ時には、ノード宛のデータが一時的に基地局で蓄えられるためエンドツーエンドの通信遅延が増加し、少量のデータの受信とスリープ状態を繰り返すため TCP スループットが低下する。

筆者らは、PSM においても、PSM を用いないときと同程度のスループットを実現するために、基地局に常にデータが届いている状態を作り出し、ノードがスリープ状態になる時間短縮して受信を続ける方式（省電力 TCP プロキシ）を検討してきた [4, 5]。省電力 TCP プロキシは、基地局に TCP プロキシプログラムを導入し、プロキシプログラムがデータ送信端末に TCP の ACK を返すことで、常にクライアント端末宛のデータが基地局に保持されているようにする機構である。プロキシプログラムとして、具体的には ACK の送信方法が異なる 2 つの手法が存在する。ひとつは、I-TCP[6] と同様にデータ送信端末とデータ受信端末の通信を基地局で 2 つのコネクションに分割するアプローチ（スプリット型）であり、もうひとつは、TCP コネクションを終端しないものの、人工的な ACK をデータ送信端末に送信するアプローチ（スヌープ型）である。

いずれの手法においても本方式の特徴は、他の PSM におけるスループット改善方式 [7] と異なり、基地局に機能を追加することで、省電力と高スループットを実現することにある。このとき、ユーザであるクライアントノードは PSM を有効にするだけで本方式を利用することが可能であり、特別なソフトウェアやハードウェアを導入する必要はない。しかしながら、基地局に追加されたプロキシプログラムがアプリケーションデータや無線 LAN 端末の接続情報などの通信状態を保持しているため、切り替えの度に基地局間でその状態を受け渡さなければならず、基地局の切り替えは困難である。すなわち、省電力 TCP プロキシを利用する無線 LAN 端末の移動により、基地局を切り替えるための機構を構築しなければ、省電力プロキシを用いつつモビリティを得ることはできない。

そこで本稿では、省電力 TCP プロキシを用いる際のモビリティサポート機構について述べる。特に、省電力 TCP プロキシの特徴であるクライアントノードに手を加えないということを設計指針とし検討を進める。また、プロキシプログラムをスプリット型で構築した場合と、スヌープ型で構築した場合について述べ、それらを比較し、省電力 TCP プロキシに適したハンドオフ機構を示す。

以下では、2. で IEEE 802.11 PSM のスループット問題、およびそれを改善する省電力 TCP プロキシについて説明する。3. で、省電力 TCP プロキシにおけるモビリティサポートの実現について、その設計を述べ、4. でプロトコルを提示する。5. で本方式の性能

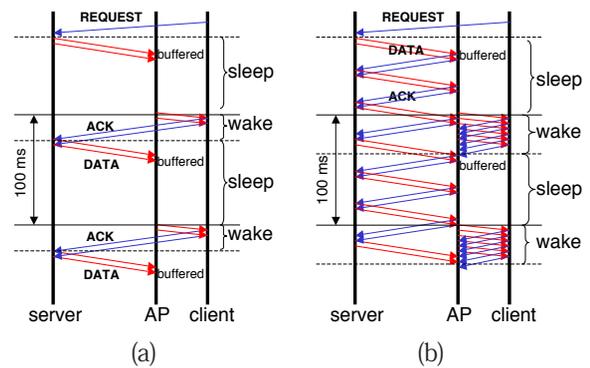


図 1 PSM と省電力 TCP プロキシの動作
(a): PSM の動作, (b): 省電力 TCP プロキシの動作

を評価する。

2. 省電力 TCP プロキシ

2.1 IEEE 802.11 PSM

省電力を実現するために、IEEE 802.11 では省電力動作に関する仕様 (PSM) が規定されている。PSM では、端末に送信されるデータを基地局が一時的に蓄える。端末は一定間隔 (TIM, Traffic Indication Map : 標準的には 100 ミリ秒) でスリープ状態から復帰し、基地局からのビーコンを受信して、自端末宛のデータが基地局に蓄えられているかどうかを確認する。未受信データが存在する場合、端末はデータ受信処理を行い、終了後再度スリープ状態になる。以上の処理により、PSM では受信待機時間をスリープ時間に充てることが可能になり、省電力が実現される。

しかしながら、PSM では、無線 LAN 端末宛のすべてのフレームが、基地局で平均 TIM/2 時間バッファリングされた後に無線 LAN 端末に届く。これにより、データ送信端末から無線 LAN 端末への通信遅延は、平均 TIM/2 時間長くなり、TCP のウィンドウが十分に開かず高いスループットを得られない。これは、無線 LAN 端末がデータ送信端末に ACK を返しても、受信処理の終わった無線 LAN 端末がスリープ状態に遷移する以前に、ACK によって要求された次のデータセグメントが基地局に到着しない場合に発生する (図 1-a)。すなわち、データ送信端末が基地局からネットワーク的に遠ければ遠いほど、次のデータセグメントの到着は遅くなり、逆に十分近いと、無線 LAN 端末はスリープ状態に遷移することなく受信処理を継続する。

2.2 省電力 TCP プロキシ

省電力 TCP プロキシは、2.1 で述べた問題を解決するために、データ送信端末を仮想的に基地局からネットワーク距離の近いところに設置することで、無線 LAN 端末が要求したデータセグメントを高速に基

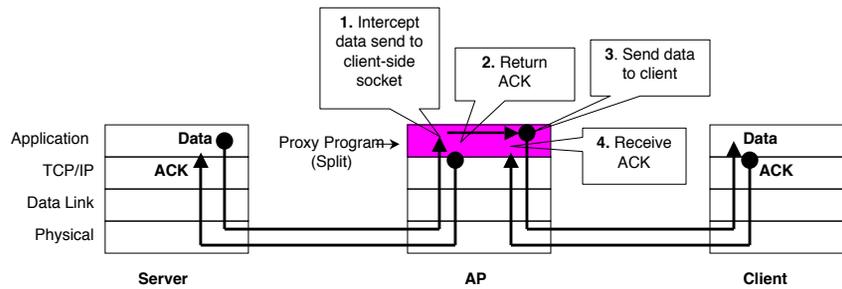


図2 スプリット型省電力 TCP プロキシの動作

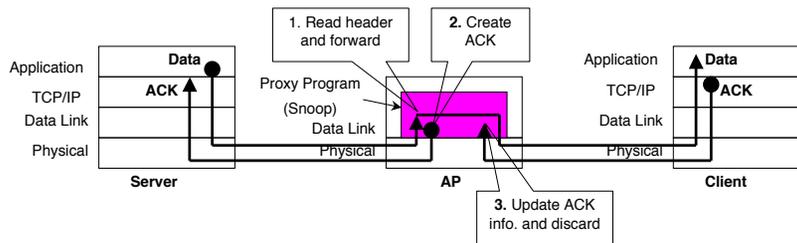


図3 スヌープ型省電力 TCP プロキシの動作

地局に転送し、無線 LAN 端末がスリープ状態に遷移することなく受信処理を続けるようにする機構である (図 1-b)。筆者らは、これまで、データ送信端末をネットワーク的に基地局の近くに設置する手法として、TCP プロキシの導入を検討し、その有効性を示してきた [3]。また、基地局に TCP プロキシを設置することが、基地局から最も近い位置にデータ送信端末を設置することに他ならず、このとき PSM を利用しないときとほぼ同程度のスループットが得られることを示した [4]。

無線 LAN 端末のためにデータを基地局にプリフェッチすることでデータ送信端末を基地局の近くに存在するように見せる手法として、スプリット型とスヌープ型がある。

まずスプリット型について述べる (図 2)。スプリット型は、無線 LAN 端末とデータ送信端末間の通信を基地局において 2 つの TCP コネクションに分割し、要求されたデータを基地局に事前にダウンロードする方法である。ユーザによって異なるアプリケーションデータを移動する先々の基地局にあらかじめプリフェッチしておくことは予測が困難なため、動的にユーザの接続先を把握し要求に応じてデータをダウンロードする必要がある。簡単には、基地局に導入されたプロキシをユーザが直接指定することもできるが、ユーザに対する透過性を保つためには、基地局を通過する TCP コネクションを自動的にプロキシに導く機構が必要となる。現在ファイアウォールや WEB サーバのアクセラレータとして用いられている透過型プロキシ [8] によって、この機構は実現可能となる。

一方、スヌープ型は、基地局が無線 LAN 端末の利用する TCP コネクションをスヌープし、基地局に

データが届いた段階で、ACK を作成しデータ送信端末に対して送信することで、データ送信端末に次のデータセグメントの送信を要求することが可能となる (図 3)。データ送信端末から送信されたデータは複製され基地局のスヌーププログラムに保存されながら、データ受信端末にそのまま送信される。データ受信端末が送信する ACK も基地局においてスヌープされ、該当するデータセグメントがスヌーププログラムから削除される。なお、このデータ受信端末が送信する ACK が、データ送信端末に届いたとしてもデータ送信端末では無視されるため破棄する必要はないが、帯域の有効利用の観点から基地局において破棄することが望ましい。スヌープ型は、スプリット型と異なりデータ送信端末とデータ受信端末の間で TCP コネクションが張られているため、無線 LAN 端末がデータ送信端末に直接接続しているように見える。

いずれのアプローチにおいても、省電力 TCP プロキシの導入は、データ送信端末と無線 LAN 端末との通信状態を基地局がすべて把握していることが前提である。そのため、基地局で動作しているプロキシプログラムが正常動作すること、プログラム内部でのデータのロスや誤りが発生しないことが求められる。

3. モビリティ対応省電力 TCP プロキシの設計

3.1 省電力 TCP プロキシにおけるモビリティサポートの課題

本節では、無線 LAN 端末の移動による基地局間のハンドオフについて述べる。

まず簡単のために、基地局の切り替えによって無

線 LAN 端末に付与される IP アドレスが変更されない場合（マイクロモビリティ）について述べる。IEEE 802.11 における基地局の切り替えは、無線 LAN 端末が移動先基地局にアソシエーションメッセージを送信し、基地局からの返答を受け取ることにより実現される。無線 LAN 端末から送信されるフレームは新しい基地局を経由して送信され、無線 LAN 端末宛のフレームは無線 LAN 端末の MAC アドレスが移動先基地局に対応づけられることで転送されるようになり接続が保たれる。このマイクロモビリティ機構自体は省電力 TCP プロキシを用いるかどうかに関わらず動作するが、省電力 TCP プロキシを用いている場合、移動先基地局は移動無線 LAN 端末の接続情報を保持していないため、通信を継続することができない。これは、無線 LAN 端末が次のデータセグメントを要求する ACK をデータ送信端末に送信しても、該当するデータセグメントは移動前の基地局にプリフェッチされ、すでに移動前の基地局から ACK がデータ送信端末に送られているため、データ送信端末ではその ACK が無視され、無線 LAN 端末は要求するデータセグメントを受け取れないからである。従って、無線 LAN 端末の基地局切り替えにあわせて、移動元基地局から移動先基地局に該当無線 LAN 端末の接続情報を受け渡さなければならない。

次に、基地局の切り替えによって無線 LAN 端末に付与される IP アドレスが変更される場合（マクロモビリティ）について述べる。この場合においても、マイクロモビリティの時と同様に、新しい基地局に無線 LAN 端末の接続情報がないため、省電力 TCP プロキシを用いている場合は動作しない。また、IP アドレスの変更は、移動後の基地局と無線 LAN 端末がアソシエーションを構築した後に行われるが、無線 LAN 端末の IP アドレスが変更されると、移動前に利用していた IP アドレスを用いた通信は利用できなくなるため、ターミナルモビリティサポートが必要となる。

以上より、省電力 TCP プロキシを用いた場合のモビリティサポートの課題をまとめると、以下のようになる。

- ・基地局変更時に速やかに接続情報を移動元基地局から移動先基地局へ受け渡すこと
- ・マクロモビリティ時のターミナルモビリティサポート

次節では、基地局変更時の接続情報の移動、およびマクロモビリティが発生する環境において省電力 TCP プロキシとしてスプリット型とスヌープ型を採用した場合のそれぞれの特徴を述べ、省電力 TCP プロキシにおけるモビリティサポートの設計概要を示す。

3.2 モビリティ対応省電力 TCP プロキシの設計

3.2.1 接続情報の基地局間移動

接続情報を速やかに移動元基地局から移動先基地局

に受け渡すためには、無線 LAN 端末の移動を速やかに検知するとともに、移動元基地局を発見し、接続情報を転送することが必要となる。

IEEE 802.11 では、基地局を利用する際に、アソシエーションメッセージもしくは、リアソシエーションメッセージを送信しなければならない。これらのメッセージには、無線 LAN 端末の MAC アドレスが記載されており、またリアソシエーションメッセージには、移動元の基地局の MAC アドレスが記載される。従って、移動先基地局は、移動をアソシエーションメッセージによって検知し、移動元の基地局から無線 LAN 端末の接続情報を入手する。なお、リアソシエーションメッセージではなくアソシエーションメッセージによって、無線 LAN 端末が基地局を切り替えた場合、移動元の基地局のアドレスを知ることはできないため、あらかじめ設定された近隣基地局に対して無線 LAN 端末の MAC アドレスを基に検索を行い、接続情報を入手する。

以上の処理は、スプリット型であってもスヌープ型であっても必要である。

3.2.2 省電力 TCP プロキシにおけるターミナルモビリティサポート

一般にターミナルモビリティサポートは、移動後のアドレスにおいても移動前に構築した TCP コネクションを利用することを可能にする。ここでは、スプリット型とスヌープ型に分けてターミナルモビリティの実現方法を述べる。

スプリット型のアプローチ

スプリット型では TCP コネクションが基地局を境として2つ存在している。無線 LAN 端末の移動により利用する基地局が変更されるため、基地局と無線 LAN 端末の間のモビリティサポート、および基地局と通信相手端末とのモビリティサポートが別々に必要となる。基地局と無線 LAN 端末間のモビリティサポート機構は、無線 LAN 端末と基地局間が無線リンクであり、新たな機能追加を行えないため、無線 LAN 端末と基地局間でエンドツーエンド型のモビリティサポートを動作させるか、無線 LAN 端末が Mobile IP[9] 等のモビリティサポートを用いながら、基地局で透過的に TCP コネクションを終端させなければならない。

いずれの手法においても、物理的に異なる基地局に接続を行っているため、3.2.1 で述べた接続情報を移動元基地局から移動先基地局へ速やかに移動させた上で、移動先基地局は移動元基地局と同一の状態の socket インタフェースを作成する必要がある。基地局と通信相手端末間のモビリティサポートに関しても同様に、物理的に基地局が切り替わるので、基地局は通信開いて端末側の socket に関しても移動前の基地局と同一の状態の socket インタフェースを再現しなければならない。

スプリット型の特徴としては、基地局上に無線 LAN 端末用とサーバへの接続用の 2 つの TCP コネクションが基地局において終端されるため、通信相手端末が無線 LAN 端末の IP アドレスを用いて認証処理を行おうとする場合に、ユーザが意図していないにもかかわらず IP アドレスが基地局のアドレスとなってしまう、動作しなくなるという問題が発生する。また、無線 LAN 端末側で TCP のサーバプロセスを動作させようとした場合も同様に、すべてのアクセス元が基地局となってしまう。さらに、フローごとに 2 つの socket を作成しなければならないため、基地局はそれぞれの socket に対して socket バッファを確保しなければならないと高性能な基地局を必要とする。

スヌープ型のアプローチ

スヌープ型は、基地局において通過するフレームを監視するため、無線 LAN 端末と通信相手端末において、無線 LAN 端末と通信相手端末間の TCP コネクションが張られているものと見なされる。そのため、スプリット型と異なり、ひとつのモビリティサポートだけが動作すればよい。しかしながら、基地局を通過するフレームだけを監視して、TCP のフローを識別しなければならない。これは、無線 LAN 端末が採用するターミナルモビリティサポートがどのように通信の一意性を保証しているかに依存しているため、それぞれのモビリティサポートプロトコルに応じて、移動前の基地局における接続情報と移動後の基地局における通信状況との関連づけを行わなければならない。

例えばネットワーク層のターミナルモビリティサポートを用いる場合、ホームアドレス情報を接続情報として保持することで識別は簡単にできるが、Mobile IP[9] や LIN6[10] など複数のモビリティサポートプロトコルが存在するため、基地局ですべてのプロトコルを把握しなければならない。また、トランスポート層 [11] やそれ以上の階層のモビリティサポート [12] を用いる場合は、一意性を識別するセッション ID を基に通信の一意性を保つ必要があるが、これはトランスポートプロトコルのヘッダやアプリケーションデータまで解析しなければならないこともある。

簡便な手法として、無線 LAN 端末の MAC アドレスをもとに変化した IP アドレスを識別し、TCP のシーケンス番号に基づいてコネクションを識別することが可能である。この手法は簡便ではあるが、同一端末が複数の TCP コネクションを張っているときに、必ずしも一意性を保証するものではないことに注意されたい。

スヌープ型は、エンドツーエンドのフローコントロールと基地局によるフローコントロールのハイブリッドシステムであるため容易にバッファリング量を制御することができる。スプリット型では、2 つの TCP コネクションとも TCP レベルのフロー制御しか

働かないため、基地局に大量のデータがダウンロードされる可能性があり、これは基地局に大量のメモリやディスクを必要とする。さらに、移動のたびに大量のデータを次の基地局に受け渡さなければならずオーバーヘッドが大きい。一方スヌープ型では、基地局がデータ送信端末に送る ACK メッセージのウィンドウサイズを調整するだけでトラフィック量をコントロールできる。これにより、基地局にバッファリングするデータに閾値を設け、閾値を超えた場合には TCP のウィンドウサイズを 0 にして TCP コネクションを保ちながらバッファリング量をコントロールすることが可能となる。

本稿では、スヌープ型がスプリット型と異なりフローごとに socket を準備する必要がなく、基地局における接続情報の管理だけを行えば動作する点、TCP 通信がアドレス認証を行う場合においても動作する点、基地局にバッファリングするデータ量をコントロールできる点からスヌープ型をモビリティ対応省電力 TCP プロキシとして採用する。

4. モビリティ対応省電力 TCP プロキシプロトコル

4.1 モビリティ対応省電力 TCP プロキシの概要

モビリティ対応省電力 TCP プロキシは、大きく 2 つの機構に分かれる。ひとつは、PSM 時の高いスループット性能を確保するための機構（省電力プロキシ機構）であり、もう一つは、無線 LAN 端末の移動に対応して、基地局間で管理情報を送受信する機構（モビリティ機構）である（図 4）。

省電力プロキシ機構は、3. で述べたようにスヌープ型のプロキシプログラムを備える。すなわち、基地局を通過するフレームを監視し、基地局を流れる TCP コネクション状態を把握する（接続状態監視モジュール）。また、基地局を通過する TCP データをすべてバッファリングする（データ管理モジュール）。さらに、データをあらかじめ基地局にプリフェッチするために、任意の TCP コネクションに対して ACK を生成し送出する（フロー制御モジュール）。

一方、モビリティ機構は、無線 LAN 端末のアソシエーションを監視し、新たなアソシエーションを構築した無線 LAN 端末を速やかに検知する（移動検知モジュール）。また、アソシエーション情報もしくは無線 LAN 端末の MAC アドレスを用いて移動元の基地局を発見し（基地局発見モジュール）、該当する端末の TCP コネクションに関する情報やバッファリングされているデータを転送する（転送モジュール）。さらに、モビリティサポートに関する情報を検出し、移動前後の CIT の情報の一貫性を保つ（モビリティサポート検知モジュール）。

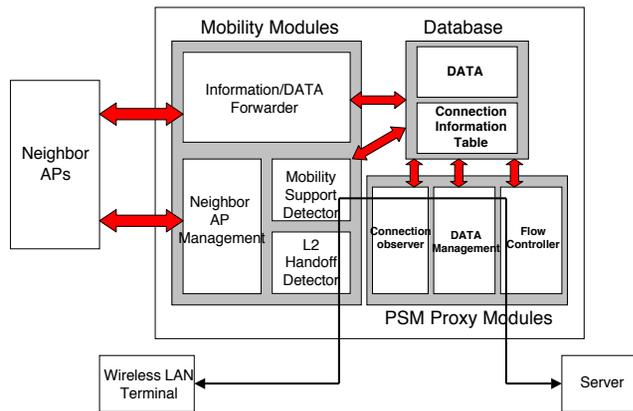


図4 モビリティ対応省電力 TCP プロキシのコンポーネント

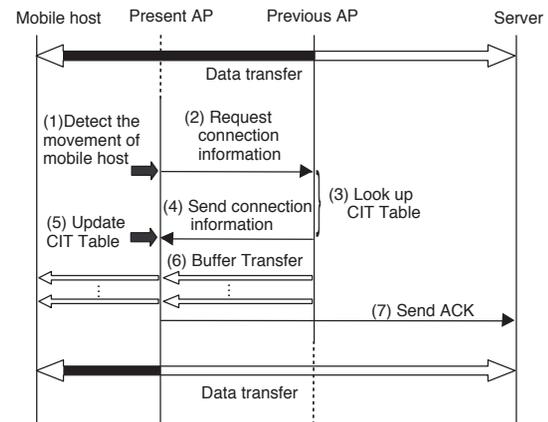


図6 モビリティサポートシーケンス

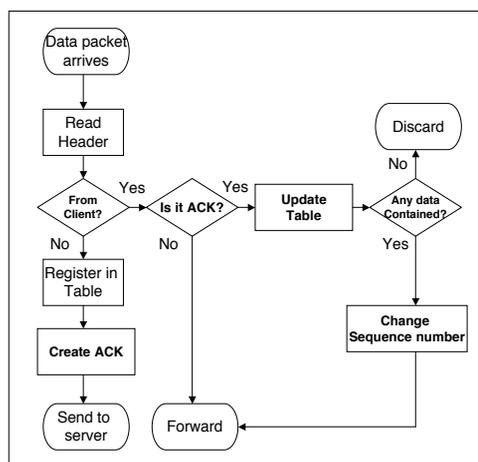


図5 パケット処理シーケンス

次節では、これら2つの機構についてモジュールごとに説明する。

4.2 機能コンポーネント

4.2.1 省電力プロキシ機構

接続状態監視モジュール

接続状態監視モジュールは基地局を通過するフレームを監視し TCP コネクションを検出する。TCP コネクションは SYN パケットから始まる 3way ハンドシェイクによって検出される。さらに、この TCP コネクションが PSM を有効化した無線 LAN 端末の IP アドレスによって構築されていれば、データベース (CIT: Connection Information Table) への登録を行う。CIT には、TCP コネクションの IP アドレス、ポート番号、シーケンス番号、ウィンドウサイズ、TCP オプション、無線 LAN 端末の MAC アドレスを登録する。また、FIN パケットによって TCP コネクションのクローズが検出された場合は、CIT を参照し、該当する TCP コネクションが存在した場合、バッファリングされているデータが存在しないことを確認してエントリを削除する。ACK パケットを検出した場合は、デー

タ管理モジュールにシーケンス番号を通知する。

データ管理モジュール

データ管理モジュールは、CIT に登録された TCP コネクションのデータをすべて複製し保存管理する。このデータは、接続状態監視モジュールが ACK パケットを検出した際に削除される。データ管理モジュールで管理している複製し保存しているデータサイズは CIT に記載される (図5)。

フロー制御モジュール

フロー管理モジュールは、データ管理モジュールが書き込んだ CIT を参照しながら、それぞれの TCP コネクションが PSM においても十分なスループットが得られるだけのデータを基地局が保持し続けるために ACK を CIT を参照しながら生成する。また、閾値を超えてデータが保存されている場合は、ウィンドウサイズを 0 にして、データ送信端末に ACK を送り、フローをコントロールする。

4.2.2 モビリティ機構

移動検知モジュール

移動検知モジュールは、無線 LAN 端末の移動をデータリンク層で検知する機構である。無線 LAN 端末が送信するアソシエーションメッセージを監視し、どの無線 LAN 端末が基地局に繋がっているかを管理し、新しい端末が接続されたときには、新しい端末の MAC アドレス、移動元の基地局の MAC アドレスを基地局発見モジュールに通知する。

基地局発見モジュール

基地局発見モジュールは、近隣基地局の情報を保持する。具体的には、近隣基地局の MAC アドレスと IP アドレスのテーブルを管理する。移動元基地局の MAC アドレスがわかる場合は、テーブルを参照して移動元基地局の IP アドレスを求める。また、移動元基地局の MAC アドレスが不明な場合は、移動検知モジュールから通知を受けて、新しく接続した端末の MAC アドレスを元に、近隣の基地局に問い合わせを行い移動元基地局を検索し、転送モジュールに端末の MAC アドレスと移動元基地局の IP アドレスを通知す

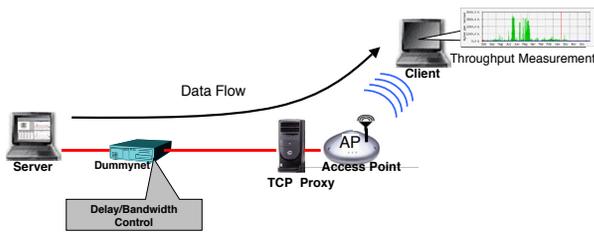


図7 スループット評価環境

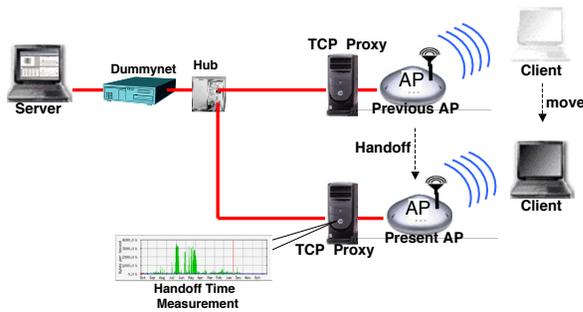


図8 ハンドオフ遅延評価環境

る。

転送モジュール

転送モジュールは基地局発見モジュールから新しい無線 LAN 端末の MAC アドレスと移動元基地局の通知を受け、移動元基地局に CIT とデータの転送を要求する。転送されたデータを自基地局の CIT に書き込みデータを保存する。また、転送要求を受けた場合は、該当する MAC アドレスの接続状態とバッファリングしているデータを要求元に転送し、転送完了後、CIT およびデータを削除する (図 6)。

モビリティサポート検知モジュール

モビリティサポート検知モジュールは、無線 LAN 端末上で動作しているモビリティサポートプロトコルのコントロールメッセージを検出し、移動前後の CIT 情報の一貫性を保つ。このモジュールは、モビリティサポートプロトコルに大きく依存する。

5. 実装および評価

5.1 モビリティ対応省電力 TCP プロキシの実装

筆者らは、スヌープ型モビリティ対応省電力 TCP プロキシを実装し、その性能を評価した。実装は、デスクトップ型コンピュータに FreeBSD5.0[13] をインストールし、省電力プロキシ機構、モビリティ機構を実装した。本来、基地局上にこれらの機能を実装することでより高いスループット性能を得られることができるが、プロトコルの動作確認を主目的とするため、PC 上への実装とした。無線 LAN 端末として、IBM Thinkpad を使い、Plamo Linux2.2.5 を OS として用いた。また、通信相手となるサーバとして IBM Thinkpad を使い、OS として Debian GNU/

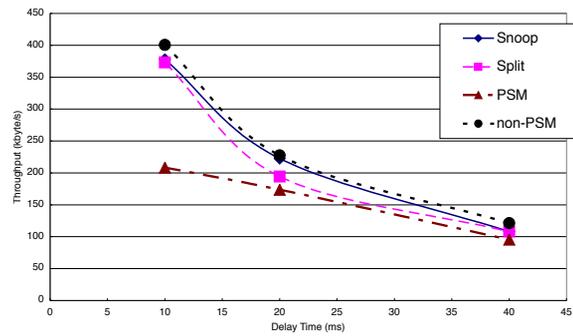


図9 モビリティ対応省電力 TCP プロキシスループット評価

Linux3.0 を用いた。無線 LAN 基地局として、AVAYA の Access Point III を用いた。なお、サーバのネットワーク上の位置と性能の関係について調べるために、FreeBSD4.9 で構築した DUMMYNET[14] を用いた。

スヌープ型省電力プロキシを実装するにあたって、divert ソケットを用いてパケットを取得し、アプリケーションプロセスとしてスヌープ処理を実現する機構を実装した。また、ACK の生成には raw ソケットを利用した。モビリティ機構として、ネットワーク層のエンドツーエンド型のモビリティサポートを用い、無線 LAN 端末からアドレスの変更を基地局に通知するようにしている。

5.2 評価

本稿では、スプリット型、およびスヌープ型の性能比較、モビリティ対応の省電力 TCP プロキシの基本動作の確認および、ハンドオフにかかる時間の評価を行った。

まず、モビリティ対応の省電力 TCP プロキシを用いてファイル転送を行ったときのスループット性能を示す。性能評価は、10KB、50KB、100KB、500KB、および 1MB の 5 つのサイズで行ったが、どれも同じような傾向を示していたため、500KB のファイルサイズにおける性能を図 9 に示す。スプリット型、スヌープ型ともにほぼ PSM を利用しないときと同程度のスループットが得られた。本実験では、プロキシプログラムを基地局上ではなく、基地局に直接接続された PC 上で動作させたため、PSM 非動作時のスループットが 6% 程度低下している。

次にハンドオフ遅延について述べる。ハンドオフ遅延は、接続情報の転送処理として (図 6 の (1)-(5)) 4.71ms、移動前基地局に蓄えられていたデータの転送処理を含めた (図 6 の (1)-(7)) 遅延は 1.66s であった。このとき、転送したデータは 41 パケットであった。

6. 関連研究

IEEE 802.11 において省電力性能と TCP スループッ

トを両立する方法として、BSD プロトコル [7] が提案されている。BSD プロトコルは、ユーザのネットワーク利用に応じてスリープ時間を動的に変更する。具体的には、データ通信時には PSM を用いずに連続したデータ受信を行い、徐々にスリープ状態の時間を増やし、ネットワークを利用していないときに長時間のスリープを確保することで省電力性と TCP スループットの両立を計っている。しかし、この手法はスリープ時間を動的に変えるためのソフトウェアを無線 LAN 端末に導入する必要がある、容易に省電力性能と高い TCP スループットを実現することが困難である。しかしながら、BSD プロトコルは無線 LAN 端末に機能を追加する方式であるため、基地局に特別の追加機構を必要としないため、無線 LAN 端末のモビリティサポートに関しては一般的なモビリティサポートをそのまま利用することが可能である。

無線リンクと有線リンクで異なる TCP コネクションを構築し、TCP スループットを向上させる研究として I-TCP[6] が提案されている。本稿のスプリット型は、モビリティサポートにあたって、I-TCP と同様に socket を移動先基地局上に再度作成する必要がある。また、I-TCP では、移動ホストに I-TCP を実現する機構を保持することを前提としており、省電力 TCP プロキシのユーザ端末の変更を要さないという目的にかなわない。

基地局を通過するフレームをスヌープする手法として、無線リンクにおける TCP スループットの向上を目指した Snoop[15] が存在する。Snoop は、無線リンクにおける高いデータ誤りが TCP スループットに影響を与えないように、無線端末宛のフレームを複製保存し、重複 ACK を検出した際に基地局がデータリンク層で再送を行う。本稿で示したスヌープ型は、データ送信端末に対して積極的に ACK を送信することで、基地局にデータをプリフェッチし、PSM においても高速なスループットを提供しようとするものである。

7. おわりに

本稿では、IEEE 802.11 における省電力モード動作時の TCP スループット改善手法である省電力 TCP プロキシを用いつつ、端末の基地局間移動をサポートするモビリティサポート機構について述べた。省電力 TCP プロキシの実現手法として、基地局で TCP コネクションを終端するスプリット型と、基地局で通過フレームを監視するスヌープ型を検討し、それぞれに対しモビリティサポートの実現に関して比較し、TCP コネクションの管理の容易さ、既存のアプリケーションサービスとの互換性、基地局に要求される性能から、スヌープ型を採用した。さらに、スヌープ型のプロトコルについて述べ、実装、評価を行った。実装により、本手法の基本動作を確認するとともに、モビリティサ

ポート機能を付加した場合のスループットについて評価し、PSM を利用しないときと同程度のスループットが得られることを確認した。

参考文献

- [1] ANSI/IEEE, Standard 802.11, Wireless LAN Medium Access control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE Press, 1999.
- [2] B. McFarland and M. Wong, "The Family Dynamic of 802.11," ACM Queue, vol. 1, no. 3, 2003, pp. 28-38.
- [3] IEEE 802.11 WaveLAN PC Card -User's Guide, pp.A-1
- [4] 橋本, 今井, 森川, 青山, "IEEE802.11 省電力モードの性能改善に向けた TCP プロキシの適用," 電子情報通信学会技術研究報告, IN2002-207, NS2002-234, Mar. 2003.
- [5] タナブーム, 金子, 橋本, ホアイソン, 森川, 青山, "IEEE 802.11b 基地局における TCP プロキシのスリープ間隔に関する性能評価," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-130, Sep. 2003.
- [6] A. Bakre and B. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," In Proc. of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems, May 1995.
- [7] R. Krashinsky and H. Balakrishnam, "minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slow-down," In Proc. of the 8th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), 2002
- [8] Squid Web Proxy Cache, <http://www.squid-cache.org/>
- [9] C. Perkins, "IP mobility support for IPv4," RFC 3220, Internet Engineering TaskForce, Jan. 2002.
- [10] M. Kunishi, M. Ishiyama, K. Uehara, H. Esaki, and F. Teraoka, "LIN6: A New Approach to Mobility Support in IPv6", In Proc. of International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication (WPMC) 2000, Nov. 2000.
- [11] A. Snoeren and H. Balakrishnan, "An end-to-end approach to host mobility. In Proc. of 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.155-166, Aug. 2000.
- [12] 金子, 森川, 青山, 中山, "多様化するインターネット環境におけるエンドツーエンド型モビリティサポート," 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2002-8 (MoMuC/MBL-21-8 共催), May 2002.
- [13] FreeBSD Projects, <http://www.freebsd.org/>
- [14] L. Rizzo, "Dummynet: a simple approach to the evaluation of network protocols," ACM Computer Communication Review, Jan. 1997.
- [15] H. Balakrishnam, S. Seshan, E. Amir, and R. Katz, "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks," In Proc. of the 1st ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), 1995