

省電力 IP モビリティ

テイ チョウユウ[†] 太田 昌孝[†] 荒木 純道[†]

[†]東京工業大学情報理工学研究所

IP モビリティ (RFC2002)により、モバイルノードは IP アドレスを変更せずにベースステーションを変更できる。一方、ベースステーションによるモバイル省電力方式では、スムーズハンドオーバーに対応できる場合、待機中モバイルノードの省電力は機能ができなくなる。本研究では、我々は従来の IP モビリティメカニズムをさらに拡張し、パケット保存機能を持つホームエージェントによる新たなモバイル省電力方式を提案した。スムーズハンドオーバーに対応できる場合、待機中モバイルノードの消費電力を抑えることが可能となる。また、スムーズハンドオーバーに対応できない場合にも待機中モバイルノードはさらに節電できる。

Power Save for IP Mobility

ZHENG Chuyu[†] Masataka OHTA[†] Kiyomichi ARAKI[†]

[†]Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

IP Mobility (RFC2002) enables Mobile Nodes change Base Stations without changing IP Addresses. However, with the power save method depended on Base Station, Power Save function of the inactive Mobile Node can't work under smooth handover. In the research, we extended the current IP Mobility mechanism, and suggested a new Power Save method depended on Home Agent that could save packets. In the new Power Save method, the inactive Mobile Node could control the power of under smooth handover. Moreover, it is possible to save more power for the inactive Mobile Node without smooth handover.

1. はじめに

日常生活で我々は携帯電話を持ち歩きながら、無線電波を通じて相手と通信や通話を楽しめている。このような移動通信システムでは、ほとんどの時に移動端末—モバイルノード(MN: Mobile Node)は電線から電力を供給されることなく、付属バッテリーからの電力で通信を維持する。そのため、MN の消費電力をいかに最小限度に抑えるが重要となる。

本稿では、携帯 IP 電話を念頭として IP モビリティ [1]での省電力を議論する。本稿で下記いくつかの言葉は、以下のように定義する：

通話中：MN が通話相手(CN: Correspondent Node)とパケットを煩雑にやりとりしている状態。

待機中：MN が CN からのパケットによる着呼またはユーザ操作による発呼を待つ状態。

節電モード：MN が電波の発信や受信、通信に関

わるすべて装置動作や演算を行わない状態。

非節電モード：MN が電力を使い、通信装置動作や演算を行う状態。

最短ハンドオーバー発生間隔；ハンドオーバーが連続して発生する最短時間間隔。

IP モビリティ [1]では、MN が一定の IP アドレスを保持しながら、ネットワークのベースステーション(BS: Base Station)を切り替え (ハンドオーバー)、接続と通信を維持できる。しかし、[1]には省電力のメカニズムは存在しない。

一方、無線 LAN の IEEE 802.11 技術 [2]では、BS がパケットを一時的に蓄えることによって、待機中 MN の省電力が実現できるが、IP モビリティのハンドオーバーには対処しておらず、3.1.2 節で述べるように、特にスムーズハンドオーバー対応の場合、節

電効率が悪い。

本稿では、IP モビリティプロトコルを拡張し、待機中 MN の省電力を配慮した新たなモバイル省電力方式を提案する。すなわち、ホームエージェント (HA: Home Agent) にパケット保存機能を持たせ、待機中 MN が節電モードで動作するとき、HA は一時的にパケットをバッファする。MN は待機中も定期的に非節電モードに移行し、HA に蓄えられたパケットがあれば MN に送信させる。こうすれば、待機中 MN はハンドオーバーを意識しなくともパケットは失われず、BS によるモバイル省電力方式よりさらに電力を節約できる。スムーズハンドオーバーに対応する場合は、特に効果が大きい。

第 2 章は、従来の IP モビリティを説明する。第 3 章は、BS によるモバイル省電力方式を説明する。第 4 章では、我々が提案した省電力 IP モビリティ方式を説明する。第 5 章では、BS による省電力方式と HA による省電力方式の節電効果を比較する。第 6 章では、本研究の結論と今後の課題を述べる。

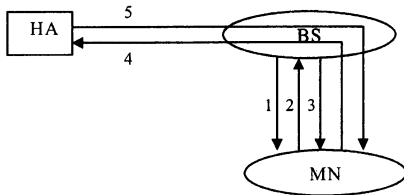
2. IP モビリティ

IP モビリティでは、MN がホームネットワーク (Home Network) で用いるホームアドレス (HoA: Home Address) と、フォーリンネットワーク (Foreign Network) で用いるアドレス (CoA: Care of Address) の対応関係を保持するホームエージェント (HA: Home Agent) を用いることにより、CN から HA を経由して MN へパケットが送られる。

IP モビリティの重要な要素は、位置登録、HA によるパケット転送、ハンドオーバーであり、以下に説明する。本稿では、簡単のため、FA (Foreign Agent) の機能は HA に含まれているものとしている。

2.1. 位置登録

MN は登録メッセージを通じて現在自分がいる場所の情報を HA に知らせる。



1. 近傍 BS からのビーコン
2. ネットワーク接続許可と IP アドレスを要求
3. IP アドレスの割り当て。MN はこの IP アドレスを CoA とする
4. 位置登録。HA は HoA に対応する CoA を記録する。
5. 位置登録の確認

図 2.1. MN 位置登録

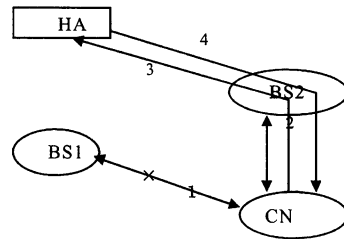
2.2. HA によるパケット転送

MN が位置登録に成功すると、HA と MN との間で IP over IP のトンネルが形成される。HA、MN と CN の間で三角形のパケット転送が行われる。

2.3. IP モビリティのハンドオーバー

移動中の MN の利用する BS は、場所により変化する。MN は現在利用中の BS と通信できなくなったら、2.1 節の位置登録の手順で新しい BS を発見し再びネットワークに接続する。

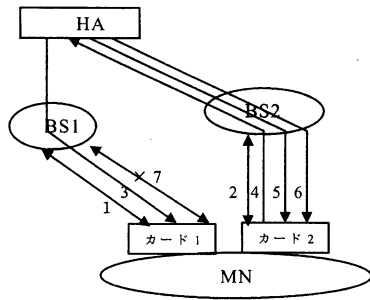
BS が複数の通信チャネルを使い MN が同時に一つのチャネルしか受信できなかったら、次に接続すべき BS を探し位置登録を完了するまでは MN は自分へのパケットを受信できずパケット落ちが発生し、MN はスムーズにハンドオーバーができない。



1. CN と BS1 の接続切れ、パケットが落ちる
2. BS2 のネットワークへ接続
3. HA への再位置登録、パケット落ちは止まる
4. 位置登録の確認

図 2.3. スムーズではないハンドオーバー

もしすべての BS が同一の通信チャネルを利用するか MN が二枚の無線 LAN カードを持つと、現在利用中の BS との接続が切れる前に、新たに接続すべき BS を見つけてネットワークとの通信を維持でき [3, 4]、MN へのパケットは落ちることなく、スムーズハンドオーバーが可能になる。以下本稿では二枚の無線 LAN カードを利用すると仮定する。



1. BS1 と接続中
2. BS2 の発見、LAN カード 2 の IP アドレス割り当て
3. MN 宛てのパケット
4. 位置登録
5. 位置登録の確認
6. MN 宛てのパケット
7. LAN カード 1 の IP アドレス開放、BS1 接続を切断

図 2.4. スムーズハンドオーバー

3. BS による省電力方式

無線 LAN の通信方式はパケット通信方式であるため、一般にパケット到着時刻を予知することができない。また、MN 宛てのパケットが頻繁に MN に送られてくるとは限らない。そのため、MN がつねに非節電モードにあるのは非効率である。

そこで、BS にバッファを持たせる。MN が節電モードの間は BS は非定期に到着した MN 宛てパケットをバッファし、MN が非節電モードに移行した際に MN に送信すれば、パケットが落ちることなく MN の省電力ができる。

MN は二通りの方法で BS に保存されたパケットを検出し受信する。一つは、MN は BS のビーコンの発信時期に応じて定期的に非節電モードに移行し、ビーコンから自分宛てパケットがバッファされていることを知る。もし MN 宛てのパケットがあれば、MN は BS にパケットの送信を要求する。もう一つは、MN は非節電モードを起動して、直接に BS に問い合わせる。もし MN 宛てのパケットがあれば、BS は MN にパケットを送信する。

以下に、BS による省電力方式の、通話中と待機中の省電力メカニズムを説明する。さらに、スムーズハンドオーバーする時の省電力方式も説明する。

3.1. 通話中 MN の省電力方式

通話中 MN は、BS を通じて CN と頻繁にパケットの交換を行う。通話中 MN の省電力メカニズムはスムーズハンドオーバーに対応するかどうかで異なる。

3.1.1. スムーズハンドオーバー非対応

スムーズハンドオーバーに対応しない場合、MN は無線 LAN 電話の通話要求に応じて、音声パケットの到着間隔程度の周期で、節電モードと非節電モードを切り替わる。通常、この切替周期は最短ハンドオーバー発生間隔よりかなり短い。MN と BS1 の通信ができなくなったら、ハンドオーバーを開始し新しい BS2 と接続する。こうして、通話中の MN の消費電力を節約できる。



- : データパケット
- ★ : ハンドオーバーのとき、受信できないパケット

図 3.1. 通話中 MN (スムーズハンドオーバー非対応)

3.1.2. スムーズハンドオーバー対応

スムーズハンドオーバーに対応する場合、2.3 節に説明したように MN は二枚の無線 LAN カードを持つ。BS と通話中の無線 LAN カードは、3.1 節と同様に節電可能だが、もう一枚の無線 LAN カードは、最低ハンドオーバー発生間隔以下の周期でハンドオーバーの必要性を調べる必要がある。

MN がハンドオーバーが必要であることを認識するため、周辺 BS は定期的にビーコンを発生する（この間隔を b とする）が、そのタイミングは一般に予想できない。また、無線 LAN ではビーコンのようなブロードキャストパケットは、衝突で失われても再送されないので、ビーコンの存在は何度か（この回数を K とする）確認する必要がある。すると、MN がハンドオーバーが必要であることを認識するためには、 $b \cdot K$ の時間の間、非節電モードを保持する必要がある。ここで、 $b \cdot K$ は最短ハンドオーバー発生間隔を超えてはいけないが、一方、BS が頻繁にビーコンを発生するとデータの送受信速度に悪影響があるため、できるだけビーコンの頻度を抑えるべきである。すると、MN のビーコン検出用の無線 LAN カードはビーコンを検出し続けるため電力を節約できない。ビーコン頻度を必要最低限にした場合には、片方の無線 LAN カードは常に非節電モードにあり、MN 全体としての省電力効果は $1/2$ 以下となる。

以下の議論では、ビーコン検出用無線 LAN カードは常に動作する必要があるものとする。

ハンドオーバーが終了する前に、元の通話用無線 LAN カードは BS1 にバッファされたパケットを受信しビーコン検出用の LAN カードとなり、元のビーコン検出用無線 LAN カードは新たな通話用無線 LAN カードとなる。

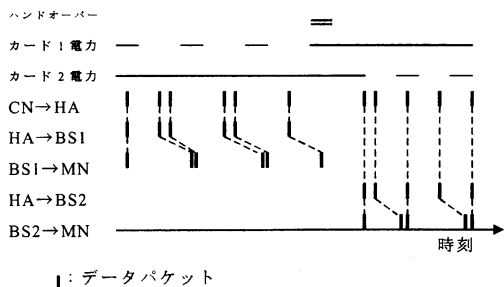


図 3.2 通話中 MN(スムーズハンドオーバー対応)

3.2. 待機中 MN の省電力方式

待機中 MN が受け取る可能性があるのは、CN からの発呼パケットであり、その頻度は少ない。また、発呼パケットは CN のトランスポート層以上で再送されるので、多少の受け取り損ないがあっても呼確立が遅れるだけで済む。電話の呼確立までの遅れは大きくてよいので、待機中 MN がパケットを検出する非節電モード間の間隔は、通話中より長くてもよい。待機中 MN は非節電モードを起動して、MN は BS のビーコン情報を通じて、あるいは直接 BS に問い合わせして、発呼パケットを確認すればよい。

3.2.1. スムーズハンドオーバー非対応

スムーズハンドオーバーに非対応の場合は、3.1.1 章の通話中 MN メカニズムと同じく、定期的に非節電モードに移行する。その周期は通話中より長くてもよいが、最短ハンドオーバー発生間隔より短くなければならない。さもないと、ハンドオーバーが連続した場合、CN からの発呼パケットをすべて受信できなくなる。

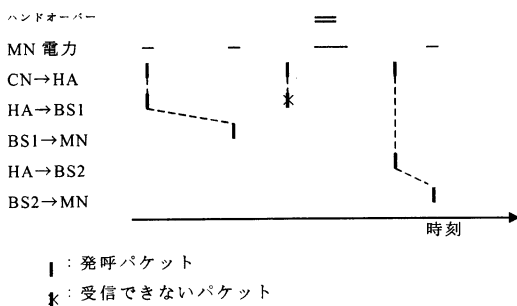


図 3.1.待機中 MN(スムーズハンドオーバー非対応)

3.2.2. スムーズハンドオーバー対応

スムーズハンドオーバーに対応する場合は、3.1.2 節の通話中 MN メカニズムと同じく、BS と接続している無線 LAN カードは節電できるが、BS のビーコンを検出する無線 LAN カードはずっと動作しているため、待機中 MN 全体から見ると節電効果は 1/2 以下となる。

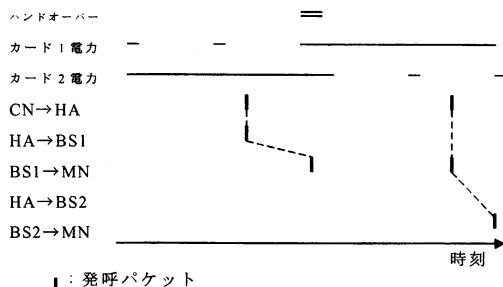


図 3.4.待機中 MN(スムーズハンドオーバー対応)

4. HA による省電力 IP モビリティ

前節で説明したように、BS による省電力方式では、ハンドオーバーのため待機中の省電力効率が悪い。我々はこの問題点を解決するために、BS のみならず HA にもパケット保存機能を持たせる。

4.1. HA のバッファリング

待機中 MN は節電モードになる前に、HA に CN からのパケットのバッファを依頼する。しかし、HA は送られてきたパケットをすべて保存する必要はない。一般に、待機中 MN に大量パケットが送られてくることはなく、発呼パケットだけをバッファすればよい。HA から MN までの間でパケットが落ちる可能性や MN が同時に複数の CN からの発呼パケットを受ける場合を考えると、バッファするパケット数は 2~3 個で十分である。なお、HA は保存されたパケットの IP ヘッド[4]の TTL 値をバッファ時間に応じて適切に現象させなければならない。

待機中 MN が節電モードから非節電モードへ切り替えたら、HA にバッファされたパケットがないか確認する。そのとき、HA は保存されたパケットを MN に送信する。

一方、MN が通話中は、HA はパケット保存しない。

4.2. 位置登録

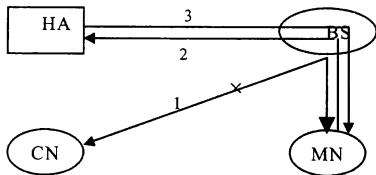
HA でのバッファの制御は、[1]の位置登録とその確認の際に、メッセージ形式を拡張して行う。

MN の位置登録メッセージに対して、HA は位置登録確認メッセージを MN に返す。もし HA のバッファに MN 宛てのパケットがあれば MN に送信し、そのことを確認メッセージに入れる。MN がバッファ

リングを要求し、HA にバッファされたパケットがなければ、HA はバッファリングを開始する。

4.3. 通話中から待機中へ

通話中の MN は通話が終了したら、待機中に切り替わる。その際、MN は位置登録メッセージを通じて HA にバッファリングを要求する。HA は MN から位置登録メッセージを受信した後、もし MN 宛てのパケットがなかったら、バッファリングの動作を起動して、位置登録の確認メッセージを MN に返信する。待機中 MN はその確認メッセージを受信できたら、節電モードに移る。



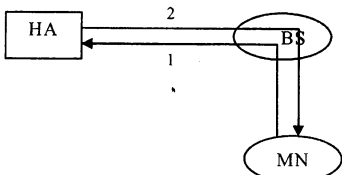
1. CN と通話終了、MN は待機中へ切替
2. 位置登録(HoA と CoA の対応関係、バッファリング動作の要求)
3. 位置登録の確認、MN は節電モードへ移行

図 4.1 通話中 MN から待機中へ切替

4.4. 待機中 MN の待機維持

待機中 MN はある間隔で定期的に非節電モードを起動して、位置登録メッセージを通じて HA に自分宛てのパケットを確認する。この間隔は CN の発呼パケットに対して最大の返事待ち時間より短くすればよい。通常は、最大の返事待ち時間は最短ハンドオーバー発生時間より長い。

HA は位置登録メッセージに対して、MN に確認メッセージを返す。もし HA のバッファ領域に MN のパケットがなかったら、待機中 MN は待機を保ったまま、節電モードを再開する。



1. 非節電モード開始、位置登録(HoA と CoA の対応関係、バッファリング動作の要求)
2. 位置登録確認、節電モード開始

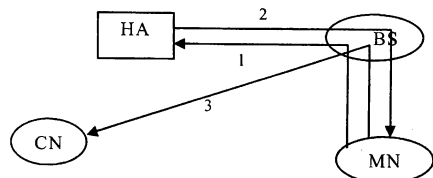
図 4.2 待機中 MN

4.5. 待機中 MN から通話中へ

待機中 MN が通話中に切替る場合は二通りがある。一つはユーザ操作による場合、もう一つは CN から MN への発呼パケットによる場合である。

4.5.1. ユーザ操作による通話の開始

ユーザ操作により通話を開始する場合、開始の必要性を知るためのプロトコルは不要で、図 4. の操作で、通話中へ切り替わる。



1. 通話中へ切替、位置登録(HoA と CoA の対応関係、バッファリング停止の要求)
2. 位置登録の確認
3. CN 宛てのパケット

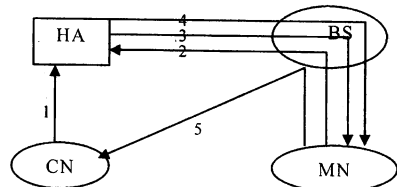
図 4.3 ユーザ操作による待機中から通話中への切替

4.5.2. CN からの発呼による通話の開始

CN の発呼による通話が開始する場合、待機中 MN は位置登録メッセージを通じて自分宛てのパケットを確認する。

待機中 MN が節電モード中は、HA は CN からの発呼パケットをバッファに保存する。

待機中 MN が非節電モードに移行したとき、位置登録メッセージを HA に送信する。HA は MN の位置登録メッセージに確認メッセージを返す。同時に、CN の発呼パケットを添付して MN に送信し、バッファリングを停止する。



1. CN の発呼パケット、HA のバッファリング
2. 位置登録(HoA と CoA の対応関係)
3. 位置登録確認、バッファリング停止
4. CN の発呼パケット
5. 通話中へ切替、CN 宛てのパケット

図 4.4 発呼パケットによる待機中から通話中への切替

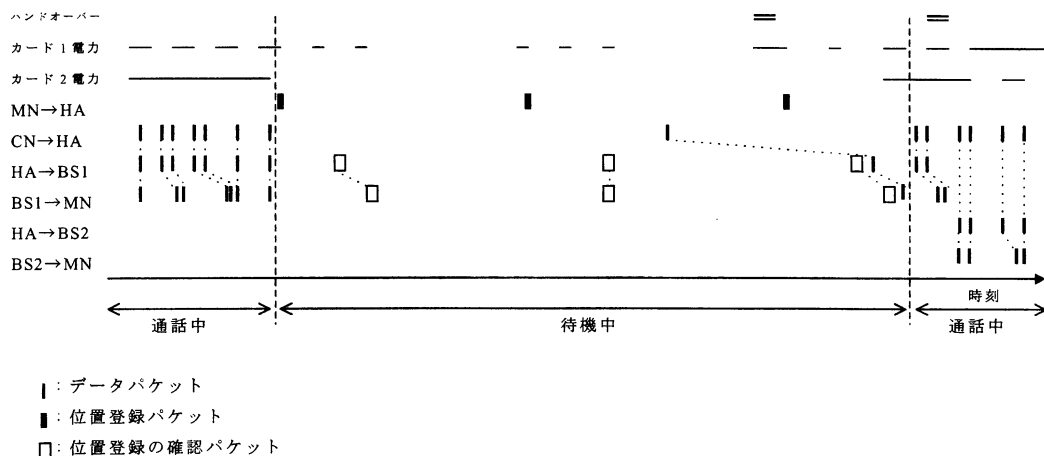


図 4.5 HA による省電力 IP モビリティと MN の状態切り替え

4.6. 通話中 MN の省電力メカニズム

HA のパケット保存機能の切り替えには HA と MN 間の通信が必要で遅れが大きいため、通話中は HA のバッファリング機能を利用できない。そこで、通話中の MN の振る舞いは 3.1 節と同じである。

4.7. 待機中 MN の省電力メカニズム

MN が待機中の場合、HA は CN からのパケットをバッファする。待機中 MN が非節電モードに移行すると、HA に位置登録メッセージを送るが、その前に、ハンドオーバーの有無を検出する。待機中 MN は一枚の無線 LAN カードのみ動作すれば、パケット落ちることがなくスムーズにハンドオーバーできる。MN は位置登録確認パケットを待ち続ける必要はなく、BS のパケット保存機能を利用し、定期的に非節電モードになればよい。

もし CN からのパケットがなかったら、MN は待機中の状態を維持したまま、節電モードを開始する。もし CN からのパケットがあったら、MN は通話中に移し、CN との通信を行う。

図 4.5 で、MN は通話中から待機中へ、待機中から通話中へ切り替わるとき、MN の無線 LAN カード消費電力の変化と各パケットの到着時刻は示されている。

5. 節電効果の比較

BS による省電力方式と省電力 IP モビリティ方式の待機中の省電力効果を比較する。ここで、スムーズハンドオーバー非対応の場合とスムーズハンドオーバー対応の場合を分けて、それぞれに対して節電効果を評価する。

5.1. スムーズハンドオーバー非対応

スムーズハンドオーバーに非対応の場合、BS によ

るモバイル省電力方式と HA によるモバイル省電力方式はともに MN の節電効果があるため、我々には以下のように評価する。

無線 LAN 電話プロトコルは何度か発呼要求を送り、設定された時間(ACK 最大待ち時間)内に呼確立できないと、MN と接続不可と判断する。この基準はトランスポート層やアプリケーション層のプロトコルによって変わるが、ここでは TCP[6]の SYN 送信を例として評価する。FreeBSD4.9 の tcp_synccache 実装では、一回目の SYN パケットに対して ACK が返らなかったら、ACK が返るまで 1,2,4 秒待つて SYN を三回再送する。最後に 8 秒待っても ACK が帰らなければ、CN は MN と接続不可と判断する。つまり 15 秒内に ACK がこなかったら、CN と MN の接続が不可能となる。

評価しやすくするため、さらに以下のことを仮定する。パケットを転送する途中、パケットが落ちることはないとする。また、パケット転送の必要時間を 0 秒とする。ハンドオーバーは一回しか起こさない。

評価の基準は、最悪の場合の最初の SYN から ACK までの時間を基準内に収めた場合の節電モードの長さとする。最悪の場合とは、一回目の SYN の送信が待機中 MN が節電モードを開始した直後に、発生し、また、同時に MN は元の BS と接続できなくなる場合である。

節電モードの維持時間が長ければ長いほど、より節電効果が大きい。BS によるモバイル省電力方式では、節電モード維持時間は(MN が SYN を受信できた時刻 - 一回目の SYN の送信時刻) - 最初 SYN ハンドオーバー必要時間となる。HA によるモバイル省電力方式では、節電モード維持時間は ACK 最大待ち時間 - ハンドオーバー必要時間となる。

表 5.1 必要時間 1 秒のハンドオーバー、ACK 最大待ち時間(ACK)と各モバイル省電力方式による節電モード維持時間(BS、HA)

	単位(秒)							
ACK	2	3	5	6	7	8	11	15
BS	0	2	2	2	6	6	6	6
HA	1	2	4	5	6	7	10	14

表 5.2 必要時間 0 秒のハンドオーバー、ACK 最大待ち時間(ACK)と各モバイル省電力方式による節電モード維持時間(BS、HA)

	単位(秒)							
ACK	2	3	5	6	7	8	11	15
BS	1	3	3	3	7	7	7	7
HA	2	3	5	6	7	8	11	15

5.1 表と 5.2 表から、HA によるモバイル省電力方式の節電モード維持時間は BS によるモバイル省電力方式より長いから、つまり提案方式の待機中 MN はより長い時間で電力を節約できる。

5.2. スムーズハンドオーバー対応

スムーズハンドオーバーに対応できる場合は、BS によるモバイル省電力方式は MN の消費電力が節約できない。HA によるモバイル省電力方式は MN が節電できる。ここで、我々は以下のように節電効果を評価する。

ここでも、TCP の SYN 送信を例として説明する。ハンドオーバーの時間を h 秒と、5.1 節の最悪の場合に SYN が送信されることと仮定する。

3.1.2 節により、BS によるモバイル省電力方式に対して、ピーコン検出用のカードは ACK 最大待ち時間 N 秒内に非節電モードを動作している。MN の消費電力はすくなくとも $1/2$ の全電力を使用する。

HA によるモバイル省電力方式に対して、待機中 MN が節電モードから非節電モードへ一回ハンドオーバーをすればよい。つまり一枚目の LAN は ACK 最大待ち時間 N 秒に h 秒で動作する。4.7 節により、二枚目の LAN カードが動作しない。よって、MN の全体消費電力は $h/2N$ の全電力を使用する。

したがって、スムーズハンドオーバーに対応できる場合は、BS によるモバイル省電力方式の消費電力はすくなくとも HA によるモバイル省電力方式の N/h 倍となる。

6. 結論と今後の課題

通話中 MN は、HA によるモバイル省電力方式において HA のパケット保存機能がしないため、BS によるモバイル省電力方式と等しい電力を消費する。

待機中 MN は、スムーズハンドオーバーに対応できない場合は、BS によるモバイル省電力方式より

HA によるモバイル省電力方式は節電効果がある。特に、スムーズハンドオーバーに対応できない場合は、HA によるモバイル省電力方式は最も効果的である。

今後、提案モバイル省電力方式を実装して、実際の実験で節電効果を評価する。

文 献

- [1] C. Perkins, "IP Mobility Support", RFC2002, October 1996
- [2] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", ANSI/IEEE Std 802.11, 1999
- [3] 森岡仁志, 大森幹之, 太田昌孝, 真野浩,"2 台の無線 LAN 送受信機を用いたシームレスハンドオーバーの実現", 第 10 回 マルチメディア通信と分散処理(DPS)ワークショップ論文集 ,pp263-268 (2002)
- [4] 太田昌孝, "セルラーインターネットワーキングのための新しい通信パラダイム: Packet division multiple access (PDMA)", 信学技報 MoMoC, no.MoMoC2004-30, 2004/05.
- [5] J.Postel, "Internet Protocol", RFC 791, Sep-01-1981
- [6] J.Postel, "Internet Control Message Protocol", RFC 792, Sep-01-1981
- [7] J.Postel, "Transmission Control Protocol", RFC 793, Sep-01-1981