

省電力 IP モビリティ

テイ チョユウ[†] 太田 昌孝[†] 荒木 純道[†]

[†]東京工業大学情報理工学研究科 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: [†]zheng@mobile.ee.titech.ac.jp, mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp, araki@mobile.ss.titech.ac.jp

概要 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えられる。我々はIPモビリティを拡張し、モバイルノード省電力を配慮した新たなプロトコルを提案した。節電モードと非節電モードの切り替えが可能なモバイルノードとパケット保存機能を持つホームエージェントにより、効率的な省電力プロトコルを実現する。

キーワード IPモビリティ, 省電力, IP携帯電話

Power Saving for IP Mobility

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

[†]Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552 Japan

E-mail: [†]zheng@mobile.ee.titech.ac.jp, mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp, araki@mobile.ss.titech.ac.jp

Abstract IP Mobility (RFC2002) enables Mobile Nodes change Base Stations without changing IP Addresses. We extended the current IP Mobility considering Mobile Node power saving. We realize effective power saving with Mobile Nodes to switch between power consumption mode and power save mode and Home Agents to buffer packets.

Keyword IP mobility, Power Save, IP mobile telephone

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んでいる。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、IP携帯電話を念頭として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、広域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、スムーズハンドオーバーの場合、特に節電効果が悪い。

本稿では、IP モビリティを拡張し、待機中 MN の省電力を配慮した新たな省電力 IP モビリティを提案する。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 が節電モードを動作するとき、HA は一時的にパケットを保存する。MN が非節電モードに切り替えたとき、HA に蓄えられたパケットを受信する。こうすれば、BS による省電力よりさらに節電できる。スムーズハンドオーバーの場合は、特に節電効果が大きい。

第 2 節で、IP モビリティを説明する。第 3 節で、BS による省電力を説明する。第 4 節で、我々が提案した省電力 IP モビリティを説明する。第 5 節で、BS による省電力と省電力 IP モビリティの節電効果を比較する。第 6 節で、本研究の結論と今後の課題を述べる。

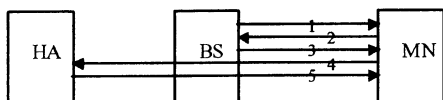
2. IP モビリティ

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 へパケットを送信する。

IP モビリティメカニズムの重要な要素は、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、簡単のためフォーリンエージェント(FA: Foreign Agent)の機能は MN に含まれているものとしている。

2.1. 位置登録

MN は位置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。HA は位置登録メッセージによって、HoA と CoA の対応関係など情報をテーブルに記録する。



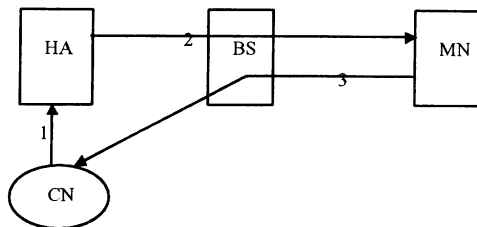
1. 近傍BSからのビーコン
2. ネットワーク接続許可とIPアドレスを要求
3. IPアドレスの割り当て。MNはこのIPアドレスをCoAとする
4. 位置登録。HAはHoAに対応するCoAを記録する
5. 位置登録の確認

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ルーティングが行われ

る。



1. MN宛てのパケット
2. トンネル中のMN宛てのパケット
3. CN宛てのパケット

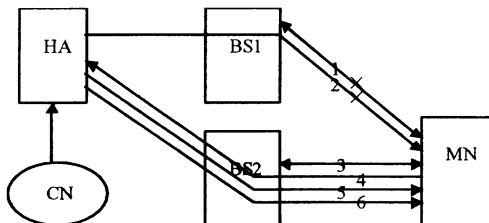
図2.2 HAによるパケット転送

2.3. IP モビリティのハンドオーバー

移動中の MN が利用する 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。

2.3.1. 非スムーズハンドオーバー

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. MNとBS1の接続切れ
2. パケットが落ちる
3. BS2の発見、接続
4. 位置登録、パケット落ちが止まる
5. 位置登録の確認
6. MN宛てのパケット

図2.3 非スムーズハンドオーバー

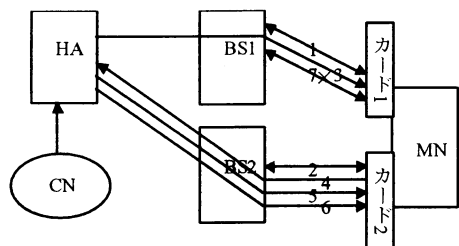
2.3.2. スムーズハンドオーバー

パケットが落とせずスムーズハンドオーバーを行うには、二通りの場合がある。

PDMA[3]の場合は、すべての BS が同一の通信チャネルを利用する。このため、MN は通信チャネルを切り替える必要がなく近傍 BS からすべてのパケットを受信することが可能となる。MN はパケットのレベルで判断し、受けたパケットを取捨する。

PDMA ではない、つまり BS が複数の通信チャネルを使用する場合は、スムーズハンドオーバーを実現するには MN が BS 接続用とビーコン検出用二枚の無線 LAN カードを持ち [4]、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る。ハンドオーバーが終了する前に、元の BS 接続用の無線 LAN カードは BS1 に保存されたパケットを受信しビーコン検出用の無線 LAN カードとなり、元のビーコン検出用の無線 LAN カードは新たな BS 接続用の無線 LAN カードとなる。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。



1. BS1と接続中
2. BS2の発見、無線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. 無線LANカード1のIPアドレス開放、BS1接続を切断

図2.4. 二枚の無線LANカードによる
スムーズハンドオーバー

3. BS による省電力

BS による省電力は、MN が節電モードの間に BS は非定期に到着したパケットを保存し、MN が非節電モードに移行した際に MN に送信する。こうすれば、パケットが落ちることなく MN の省電力ができる。MN は BS のビーコン情報か BS に直接の問い合わせかを通じて BS に保存されたパケットを検出し受信できる。以下に、BS による省電力の通話中と待機中 MN の省電力メカニズムを説明する。

3.1. 通話中 MN の省電力

通話中 MN は、BS を通じて CN と頻り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できるかどうかで異なる。

3.1.1. 非スムーズハンドオーバー

非スムーズハンドオーバーの場合、MN は IP 携帯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。

3.1.2. スムーズハンドオーバー

ビーコン発生の間隔が最善である場合(ビーコン発生の間隔=最低ハンドオーバー発生間隔/ビーコン

確認回数)、ハンドオーバーの必要性を調べるため、ビーコン検出用の無線 LAN カードはつねに非節電モードで動作しなければならない[5]。以下の議論では、ビーコン検出用の無線 LAN カードは常に動作する必要があるものとする。

PDMA でスムーズハンドオーバーする場合は、無線 LAN カードは同一チャンネルでビーコン検出用と BS 接続用の二役機能を果たしている。よって、MN は節電できずつねに非節電モードで動作する必要がある。

PDMA でないスムーズハンドオーバーする場合は、MN は二枚の無線 LAN カードを持つ。BS 接続用の無線 LAN カードは、3.1.1 節と同様に節電可能だが、もう一枚のビーコン検出用の無線 LAN カードは常に非節電モードにあり、MN 全体としての節電効果は 1/2 以下となる。

3.2. 待機中 MN の省電力

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。そのため、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、通話中より長くてよい。

3.2.1. 非スムーズハンドオーバー

非スムーズハンドオーバーの場合は、3.1.1 節の通話中 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。

3.2.2. スムーズハンドオーバー

PDMA の場合は、BS のビーコンを検出し続ける必要があるため、一枚の無線 LAN カードしか持たない待機中 MN の節電効果はない。

PDMA ではない場合は、BS 接続用の無線 LAN カードは節電できるが、ビーコン検出用の無線 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。

4. 省電力 IP モビリティ

前節で説明したように、BS による省電力では、ハンドオーバーのため、待機中 MN の節電効果が悪い。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 のパケット保存機能

待機中 MN は節電モードになる前に、HA に CN からのパケットの保存を依頼する。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保存すればよい。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ても、保存するパケット数は 2~3 個で十分である。なお、IPv4[6]の場合は、HA は保存されたパケットの IP ヘッダの TTL 値を HA の保存時間に応じて減少させなければならない。

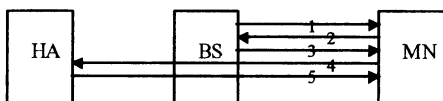
また、待機中 MN は HA にパケット保存を依頼する同時に、次回非節電モードが再開するタイミングを HA に知らせる。この非節電モード再開タイミングにより、HA は MN 非節電モード再開時刻をパラメータとして HoA と CoA の対応関係テーブルに加える。待機中 MN が節電モードの時、HA が CN からの発呼パケットを受けたら、残りの MN 非節電モード再開タイミングを CN に通知するため、新たな ICMP[7]メッセージとして Host Dormant を導入する。この残りの MN 非節電モード再開タイミングはテーブルに保存された MN 非節電モード再開時刻と CN の発呼パケットを受けた時刻の差分である。ICMP Host Dormant メッセージに対応できる CN はそのタイミングに合わせて、発呼パケットを再送する。もし発呼パケットを受けた時刻が MN 非節電モード再開時刻を過ぎたら、HA は ICMP Host Dormant メッセージを発行しない、CN の発呼パケットを保存せず、直接に MN に転送する。

待機中 MN が節電モードから非節電モードへ切り替えたなら、HA に保存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 が通話中であるとき、HA はパケットを保存しない。

4.2. 位置登録

HA のパケット保存制御と MN 非節電モード再開タイミングの通知は、[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。



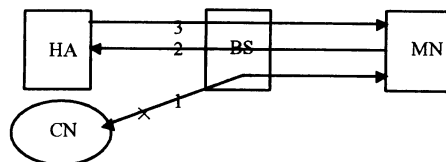
1. 近傍BSからのビーコン
2. ネットワーク接続許可とIPアドレスを要求
3. IPアドレスの割当て。MNはこのIPアドレスをCoAとする
4. 位置登録
(HAのパケット保存制御とMN非節電モード再開タイミングの通知)
5. 位置登録の確認

図4.1 MN位置登録

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 にパケット保存機能動作の要求と非節電モ

ード再開タイミングを通知する。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、パケット保存機能を起動し MN 非節電モード再開時刻を記録して、位置登録の確認メッセージを MN に返信する。待機中 MN は位置登録の確認メッセージを受信できたら、節電モードに移行する。

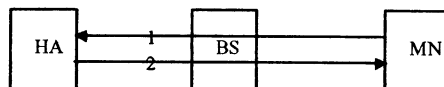


1. CN と通話終了、MN は待機中へ切替
2. 位置登録(HoA と CoA の対応関係、HA のパケット保存機能の動作の要求と MN 非節電モード再開タイミングの通知)
3. 位置登録の確認、MN は節電モードへ移行
図4.2 通話中MNから待機中へ切替

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。

もし HA に MN のパケットがなかったら、HA はパケットを保存し続き MN 非節電モード再開時刻を更新して、MN に確認メッセージを返す。一方、待機中 MN は待機を保ったまま、節電モードを再開する。



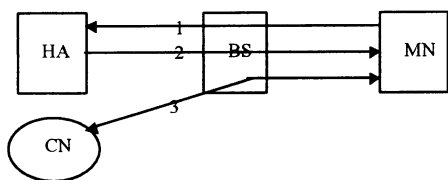
1. 非節電モード開始、位置登録(HoA と CoA の対応関係、HA のパケット保存機能動作の要求と MN 非節電モード再開タイミングの通知)
2. 位置登録の確認、節電モード開始
図4.3 待機中MN

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

ユーザ操作による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。

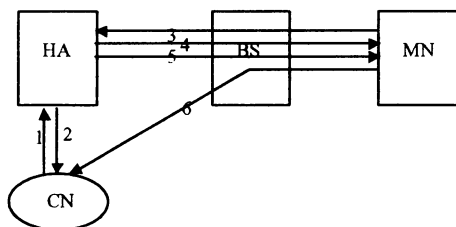


1. 通話中へ切替, 位置登録(HoAとCoAの対応関係, HAのバケット保存機能停止の要求)
 2. 位置登録の確認
 3. CN宛てのバケット
- 図4.4 ユーザ操作による待機中から通話中への切替

4.5.2. CN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バケットを確認する。

待機中MNが節電モードのとき, HAはCNの発呼バケットに対して, CNにICMP Host Dormantメッセージを送信する。待機中MNが非節電モードに移行したとき, HAはMNの位置登録メッセージに位置登録の確認メッセージを返す。同時に, CNの発呼バケットを添付してMNに送信し, パケット保存機能を停止する。



1. CNの発呼バケット, 発呼バケットの保存
 2. ICMP Host Dormant
 3. 位置登録(HoAとCoAの対応関係)
 4. 位置登録確認, HAのバケット保存機能の停止
 5. CNの発呼バケット
 6. 通話中へ切替, CN宛てのバケット
- 図4.5 CNの発呼バケットによる待機中から通話中への切替

4.6. 通話中MNの省電力

HAのバケット保存の切り替えにはHAとMN間の通信が必要で遅れが大きいため, 通話中はHAのバケット保存機能を利用できない。そこで, 通話中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

MNが待機中の場合, HAはCNからのバケットを保存する。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は位置登録の確認バケットを待ち続ける必要はなく, BSのバ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からのバ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からのバケットがあったら, MNは通話中に移し, CNとの通信を行う。

5. 節電効果の比較

BSによる省電力と省電力IPモビリティの待機中MNの節電効果を比較する。ここで, 非スムーズハンドオーバーとスムーズハンドオーバーの場合に分けて, 以下の例を使用してそれぞれ場合のMNの節電効果を評価する。

IP携帯電話プロトコルは何度も発呼要求を送り, 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TCP[8]のSYN送信を例として評価する。FreeBSD4.9のtcp_synccache実装で, 一回目のSYNバケットに対して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秒待つても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。一方, ICMP Host Dormantに対応する省電力IPモビリティは, MN非節電モード再開タイミングによりCNはSYNバケットの再送タイミングを調整できるため, 15秒以上ACKを待ち続ける。

評価しやすくするため, さらに以下のことを仮定する。バ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。待機中MNが節電モードを開始した直後に, 一回目のSYNの送信が発生し, 同時にMNは元のBSと接続できなくなる。

評価の基準は待機中MNの節電量(待機中の節電モード時間/待機中の時間)とする。

5.1. 非スムーズハンドオーバー

BSによる省電力: 待機中MNの節電量=節電モード継続時間/(ハンドオーバー時間+節電モード継続時間)

省電力IPモビリティ: 待機中MNの節電量=1-ハンドオーバー時間/ACK最大待ち時間

以下, ACKをACK最大待ち時間と, BSをBSによる省電力のMN節電量と, HAをIPモビリティの待機中MN節電量とする。(×: 接続不可)

表 5.1 転送中バケットの損失なしとし, ハンドオーバー時間1秒 単位(秒)

	ACK 2	3	6	7	11	15	N>15
BS	0	2/3	2/3	6/7	6/7	6/7	6/7
HA	1/2	2/3	5/6	6/7	10/11	14/15	(N-1)/N

表 5.2 ハンドオーバーの直後に転送中の1個の発呼パケットの損失とし、ハンドオーバー時間1秒,単位(秒)

ACK	N<3	3	7	11	15	N>15
BS	×	2/3	6/7	6/7	6/7	6/7
HA	(N-1)/N	2/3	6/7	10/11	14/15	(N-1)/N

表 5.1 と表 5.2 から、省電力 IP モビリティの MN 節電量は BS による省電力より大きいため、提案手法の省電力 IP モビリティで待機中 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

スムーズハンドオーバーの待機中 MN の節電量は、PDMA かどうかによって異なる。以下、ハンドオーバー時間を $h(h \leq 1$ 秒)とし、MN 再開タイミングを $M(M > 1$ 秒)とし、ACK 最大待ち時間を N とする。(×: 接続不可)

5.2.1. PDMA の場合

この場合は、待機中 MN は一枚の無線 LAN カードでスムーズハンドオーバーできる。

BS による省電力: 待機中 MN の節電量=0

省電力 IP モビリティ: 待機中 MN の節電量= 1-ハンドオーバー時間/ACK 最大待ち時間

表 5.3 PDMA の待機中 MN 節電量(転送中の損失なし)

ACK 最大待ち時間	N<h	N ≥ h
BS による省電力	×	0
省電力 IP モビリティ	×	1-h/N

表 5.4 PDMA の待機中 MN 節電量(転送中の最初発呼パケットの損失とする)

ACK 最大待ち時間	N<1	1 ≤ N < M+h	N ≥ M+h
BS による省電力	×	0	0
省電力 IP モビリティ	×	×	1-h/N

5.2.2. PDMA ではない場合

この場合は、待機中 MN は二枚の無線 LAN カードでスムーズハンドオーバーできる。

BS による省電力:

BS 接続用の無線 LAN カードの節電量=1

ビーコン検出用の無線 LAN カードの節電量=0

省電力 IP モビリティ:

BS 接続用の無線 LAN カード (ビーコン検出用兼ね)の節電量=1-ハンドオーバー時間/ACK 最大待ち時間

片方の無線 LAN カードの節電量(常に OFF 状態)=1

表 5.5 PDMA ではない待機中 MN 節電量(転送中の損失なしとし)

	待機中 MN 節電量(全体)
BS による省電力	多くても 1/2
省電力 IP モビリティ	1-h/2N

表 5.6 PDMA の待機中 MN 節電量(転送中の最初発呼パケットの損失とする)

ACK 最大待ち時間	N<1	1 ≤ N < M+h	N ≥ M+h
BS による省電力	×	多くても 1/2	多くても 1/2
省電力 IP モビリティ	×	×	1-h/2N

表 5.3~表 5.6 から、省電力 IP モビリティの MN 節電量が BS による省電力よりはるかに大きいため、提案手法の省電力 IP モビリティで待機中 MN の節電効果が大きい。

6. 結論と今後の課題

BS による省電力より省電力 IP モビリティは節電効果がある。スムーズハンドオーバーの場合は、省電力 IP モビリティは特に効果的である。

今後、提案した省電力 IP モビリティを実装して、実際の実験で節電効果を評価したい。

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] 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.
- [4] 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)
- [5] ティ チョユウ, 太田 昌孝, 荒木 純道, "省電力 IP モビリティ", 情報処理, 2004-MBL-31, pp103-109, 2004-11
- [6] J.Postel, "Internet Protocol", RFC 791, Sep-01-1981
- [7] J.Postel, "Internet Control Message Protocol", RFC 792, Sep-01-1981
- [8] J.Postel, "Transmission Control Protocol", RFC 793, Sep6