

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：32621

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760305

研究課題名(和文) モバイルルータの省電力技術に関する研究

研究課題名(英文) Research on power-saving control for mobile router

研究代表者

小川 将克(Ogawa, Masakatsu)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：90624411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、モバイルルータの省電力化に向けて、(1) 無線LANネットワークにおける省電力化、(2) モバイルルータ内部のIP-MACクロスレイヤによる省電力化、(3) モバイルルータ内部の複数無線通信システム間連携による省電力化 に関する省電力方式を提案し、計算機シミュレーションにより有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, the following the power-saving methods for mobile router are proposed, and the effectiveness of proposed methods is clarified via computer simulation.

(1) Power-saving method in WLAN networks. (2) Power-saving method using IP-MAC cross-layer control. (3) Power-saving method using cooperation control in the heterogeneous networks such as WLAN and WiMAX.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：省電力化 モバイルルータ 無線LAN IEEE802.11 IEEE802.16

1. 研究開始当初の背景

無線 LAN 機能のみのポータブル機器をインターネットに接続するために、モバイルルータが注目されている。モバイルルータは、WAN 側インタフェースには、移動通信ネットワークの端末機能、LAN 側インタフェースには、無線 LAN アクセスポイント機能が搭載されている通信機器である。無線 LAN アクセスポイントは固定設置であったが、バッテリー駆動のポータブル通信機器となったことから、長時間駆動のための省電力化が求められる。研究開始当時の研究状況は下記の通りである。

- (1) IEEE802.11 無線 LAN では、無線 LAN ステーションの省電力機能については規格化されているが、無線 LAN アクセスポイントの省電力機能については電源が常時供給されることを前提としているために規格化されていない。
- (2) モバイルルータは、IP レイヤで WAN から LAN に IP パケットを転送するために、IP-MAC クロスレイヤでの省電力化の検討が行われていない。
- (3) 個々の無線通信システムにおいて省電力化技術の検討が行われてきたが、異種無線通信システムを連携した省電力化の検討が行われていない。

以上述べたように、モバイルルータという新しいポータブル通信機器の登場により、無線 LAN アクセスポイント自体の省電力化、クロスレイヤでの省電力化、異種無線通信システム間連携での省電力化という、様々な視点から省電力化を検討する必要がある。

2. 研究の目的

モバイルルータは、固定設置の無線 LAN アクセスポイントとは異なり、WAN 側と LAN 側で異なる無線通信システム、IP レイヤで WAN と LAN 間で IP パケットの転送を行うという特徴を持つ。最も大きな違いは、モバイルルータがバッテリー駆動であり、長時間駆動が求められる。そのため、本研究の目的は、モバイルルータにおける省電力化である。下記の 3 つの点において、研究を実施した。

- (1) 無線 LAN アクセスポイントおよび無線 LAN ステーションにおける省電力化
- (2) IP-MAC クロスレイヤでの省電力化
- (3) 異種無線通信システム連携での省電力化

3. 研究の方法

- (1) 無線 LAN アクセスポイントおよび無線 LAN ステーションにおける省電力化

IEEE802.11 標準規格では、無線 LAN ステーションの省電力機能として、PS モード (Power-Saving Mode) を規格化している。PS モードの動作例を図 1 に示す。無線 LAN ステーションには、Awake 状態と Doze (Sleep) 状態があり、無線 LAN アクセスポイントからのビーコン (DTIM) を受信するために、Awake 状態になる。なお、ビーコン作成時刻は、TBTT (Target Beacon Transmission Time) で定

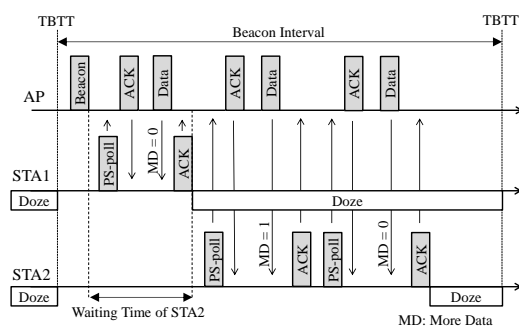


図 1 PS モードの動作例 (課題①)

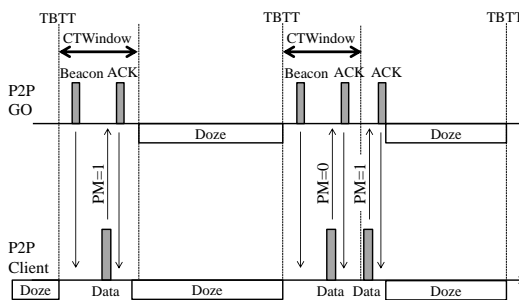


図 2 OppPS の動作例 (課題②)

められている。ビーコンには、無線 LAN アクセスポイントが各無線 LAN ステーション宛の Data フレームを持つかどうかという情報が含まれている。無線 LAN ステーションは、無線 LAN アクセスポイントが自身の Data フレームを保持している場合は、Data フレーム送信要求である PS-Poll を送信する。無線 LAN アクセスポイントが送信する Data フレームに含まれる More Data フラグがゼロであるとき、その無線 LAN ステーション宛の Data フレームを保持していないことを示す。ここで、図 1 に示すように、STA2 は STA1 が送信中に待ち時間が発生し、STA2 は電力を消費することが課題となる (課題①)。この課題を克服するための研究を行った。

Wi-Fi Alliance では、Wi-Fi Direct を規定しており、Wi-Fi Direct では、無線 LAN アクセスポイント機能である P2P Group Owner (GO) と無線 LAN ステーション機能である P2P Client の 2 つを定義している。また、P2P GO のための省電力機能として、Opportunistic Power Save (OppPS) を規定している。図 2 に OppPS の動作例を示す。OppPS では、TBTT 後に CTWindow と呼ばれる期間、P2P GO が Awake 状態になる。この CTWindow は TBTT 後のみに存在するために、遅延時間が発生することが課題となる (課題②)。この課題を克服するための研究を行った。

- (2) IP-MAC クロスレイヤでの省電力化

モバイルルータは WAN 側で受信した IP パケットを LAN 側に転送し、無線 LAN アクセスポイントで Data フレームとして送信するために、Layer 3 キューと MAC キューの 2 つのキューを有する。無線 LAN アクセスポイントの省電力機能として、Power Saving Access

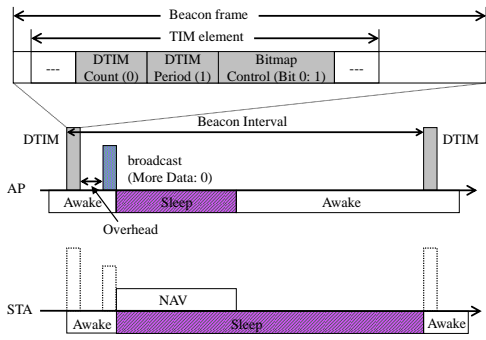


図3 PSAP (従来研究) の動作例 (課題③)

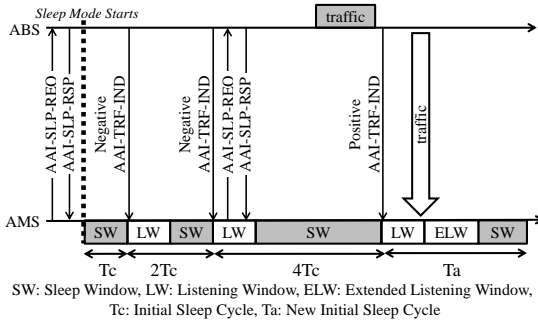


図4 IEEE802.16m の動作例 (課題④)

Point (PSAP) と呼ばれる従来手法がある。PSAP では、無線 LAN アクセスポイントの MAC キューにおいて未送信フレームを保持していない場合、IEEE802.11 で規定される NAV (Network Allocation Vector) を用いて無線 LAN ステーションに対し送信を禁止させ、その間に無線 LAN アクセスポイントが Sleep 状態に移行する。しかし、MAC キューに 1 つでも未送信フレームがある場合は、Sleep 状態に移行できないことが課題である (課題③)。この課題を克服するために研究を行った。

(3) 異種無線通信システム連携での省電力化
モバイルルータには WAN 側と LAN 側で異なる無線通信システムを利用している。これらの無線通信システムの端末に対しては、個々に省電力機能が規定されているが、連携が図れていない。本研究では、モバイルルータの WAN 側を IEEE802.16m とする。図 4 に IEEE802.16m の省電力機能の動作例を示す。

IEEE802.16m の Advanced Base Station (ABS) が Advanced Mobile Station (AMS) に送信トラフィックの有無 (Positive/Negative) の情報である Advanced Air Interface Traffic Indication (AAI-TRF-IND) メッセージを送信する。また、Listening Window と Sleep Window から構成される Sleep Cycle を導入している。Sleep Cycle は、Negative AAI-TRF-IND message の場合は、直前の Sleep Cycle の期間を 2 倍にする。つまり、Current Sleep Cycle = $\min(2 \times \text{Previous Sleep Cycle}, \text{Final Sleep Cycle})$ となる。Positive AAI-TRF-IND message の場合は、Sleep Cycle を Initial Sleep Cycle または New Initial Sleep Cycle の期間に設定する。しかし、この Sleep Cycle と LAN 側のビーコン間隔が連携していないために、LAN 側の無線 LAN アクセスポイントにおいて遅延時間が発生することが課題となる (課題④)。この課題を克服するための研究を行った。

4. 研究成果

(1) 無線 LAN アクセスポイントおよび無線 LAN ステーションにおける省電力化

課題①の原因は、無線 LAN アクセスポイントがビーコン送信後に、複数の無線 LAN ステーションが PS-Poll を送信するためである。そのため、無線 LAN ステーションが PS-Poll を送信するタイミングを分散させるために、マルチ BSSID を利用する。つまり、BSSID ごとに接続する無線 LAN ステーションを分散させることである。提案方式の動作例を図 5 に示す。図 1 では、STA2 は STA1 が送信中に待ち時間が発生し、STA2 は電力を消費していた。図 5 より、STA2 の待ち時間が改善できることが確認できる。(雑誌論文[1])

課題②の原因は、TBTT の後のみに CTWindow が存在するためである。そのため、新たに Temporary CTWindow (TCTWindow) を導入する。図 6 に示すように、TCTWindow を導入することで、P2P Client が Data フレームを送信できる機会が増加するために、遅延時間が減少することが確認できる。(雑誌論文[2])

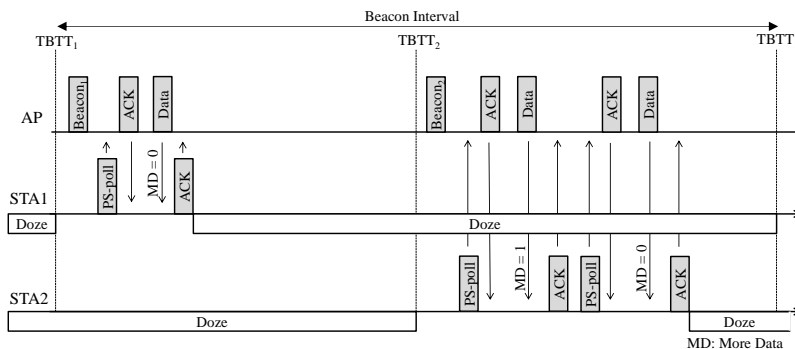


図5 マルチ BSSID を活用した提案方式の動作例 (課題①)

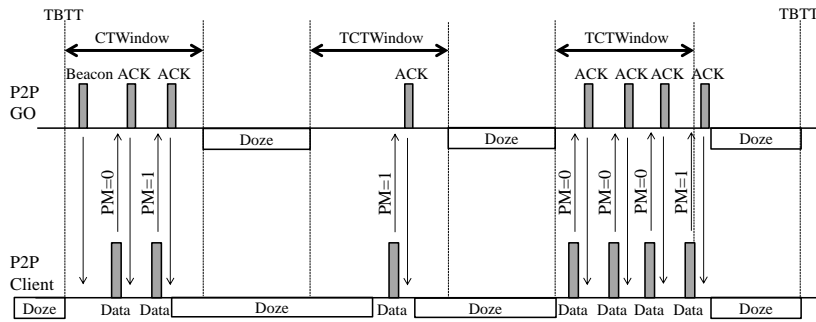


図6 TCTWindowを導入した提案方式の動作例(課題②)

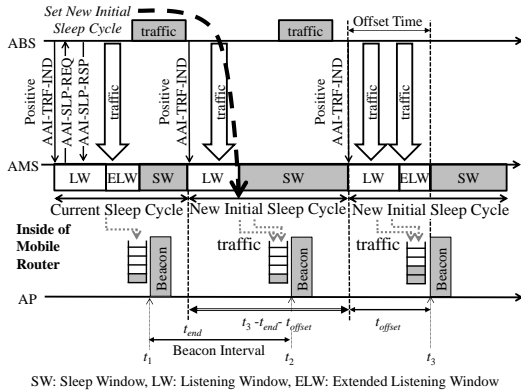


図7 省電力化のためのIEEE802.16mとIEEE802.11連携(課題④)

(2) IP-MAC クロスレイヤでの省電力化

課題③の原因は、MAC キューが空である状況が少ないためである。積極的にMAC キューを空にするために、Layer 3 キューからMAC キューへのデキューを制御することで、MAC キューを空にさせることを提案し、消費電力を削減することを明らかにした。(雑誌論文[3])

(3) 異種無線通信システム連携での省電力化

課題④の原因は、IEEE802.16mにおいてABSがAMSにトラヒックを送信するタイミングと、無線LANアクセスポイントがビーコンを作成するタイミングが合致していないためである。そのため、IEEE802.16mにおいてトラヒック送信タイミングを決定するスケジューラを提案した、図6に提案方式の動作例を示す。図6に示すように、無線LANのビーコン間隔において、ABSからAMSにトラヒックが届くことで、遅延時間が減少することが確認できる。(雑誌論文[4])

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

[1] Masakatsu Ogawa, "Power-Saving Control for Wireless LAN Stations utilizing Multiple BSSID", IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems, 査読有, Vol. 135, No. 3, pp. 274-279, March 2015.

DOI: 10.1541/ieejieiss.135.274

[2] Masakatsu Ogawa, "Adaptive Temporary CTWindows for Wi-Fi Direct to Decrease Delays", IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems, 査読有, Vol. 134, No. 11, pp. 1664-1669, November 2014.

DOI: 10.1541/ieejieiss.134.1664

[3] Masakatsu Ogawa, "Departure Control from Layer 3 Queue to MAC Queue in Mobile Routers for Power Saving", IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems, 査読有, Vol. 134, No. 6, pp. 832-838, June 2014.

DOI: 10.1541/ieejieiss.134.832

[4] Masakatsu Ogawa, "Saving Power in IEEE802.16m Mobile Routers by Coordinating with IEEE802.11", IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems, 査読有, Vol. 134, No. 4, pp. 543-549, April 2014.

DOI: 10.1541/ieejieiss.134.543

[学会発表] (計12件)

[1] 近藤 加奈子, 小川 将克, "マルチBSSIDを活用した無線LAN端末の省電力化の検討", 電子情報通信学会2014年総合大会, B-15-10, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県・新潟市).

[2] 小林 遼平, 小川 将克, "低遅延のためのWi-Fi Direct省電力方式の検討", 電子情報通信学会2014年総合大会, B-15-11, 2014年3月19日, 新潟大学(新潟県・新潟市).

[3] 近藤 加奈子, 小川 将克, "マルチBSSIDを活用した仮想化による無線LAN端末の省電力化", 電子情報通信学会技術研究報告, MoNA2013-41, pp. 1-4, 2013年11月21日, 熊本大学(熊本県・熊本市).

[4] 小川 将克, "[招待講演]無線LANの省電力技術", 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2013-158, pp. 91-96, 2013年10月18日, 上智大学(東京都・千代田区).

[5] Masakatsu Ogawa, "Cross-Layer Queuing Control in Mobile Router for Power Saving", Proc. of IEEE IWCNC 2013, 査

- 読有, July. 1-5, 2013, Cagliari (Italy).
- [6] 小川 将克, 大矢 裕和, "モバイルルータのための IEEE802.16m の省電力化の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, MoNA2013-12, pp. 205-208, 2013 年 5 月 24 日, 石垣市民会館 (沖縄県・石垣市).
- [7] 山岸 佑輔, 三好 匠, 王子 有紗, 小川 将克, "省電力化のためのモバイルルータ協調動作方式の検討 (1)", 電子情報通信学会 2013 年総合大会, B-6-137, 2013 年 3 月 22 日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市).
- [8] 王子 有紗, 小川 将克, 山岸 佑輔, 三好 匠, "省電力化のためのモバイルルータ協調動作方式の検討 (2)", 電子情報通信学会 2013 年総合大会, B-6-138, 2013 年 3 月 22 日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市).
- [9] 大矢 裕和, 小川 将克, "モバイルルータ内における無線 LAN アクセスポイントと連携した IEEE802.16m 端末の省電力機能の検討", 電子情報通信学会 2013 年総合大会, B-15-1, 2013 年 3 月 21 日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市).
- [10] 王子 有紗, 小川 将克, 山岸 佑輔, 三好 匠, "モバイルルータ協調動作方式の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, NS2012-179, pp. 85-88, 2013 年 3 月 7 日, 沖縄残波岬ロイヤルホテル (沖縄県・読谷村).
- [11] 小川 将克, "モバイルルータの省電力化のためのキューイング制御方式", 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2012-22, pp. 19-23, 2012 年 9 月 27 日, 丸亀町レッツホール (香川県・高松市).
- [12] 小川 将克, "キューイング制御を活用した無線 LAN アクセスポイントの省電力機能の検討", 電子情報通信学会 2012 年ソサイエティ大会, B-15-10, 2012 年 9 月 12 日, 富山大学 (富山県・富山市).

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：ルータ装置及びプログラム
発明者：小川 将克, 王子 有紗, 三好 匠, 山岸 佑輔
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2012-278568
出願年月日：平成 24 年 12 月 20 日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 将克 (OGAWA, Masakatsu)
上智大学・理工学部・准教授