

マルチメディア通信における無線 LAN パワーセービング方法の検討

平栗 健史[†], 徳安 朋浩[‡], 岸田 朗[†], 梅内 誠[‡], 小川 将克[†], 永瀬 文昭[‡], 阪田 徹[†]

^{† ‡} 日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

E-mail: [†] hira@ansl.ntt.co.jp

あらまし 近年、無線 LAN はノート PC などの端末だけでなく、PDA などの小型携帯端末にも組み込み実装がされはじめた。小型携帯端末には長い駆動時間が求められるため、バッテリーの消費電力を低減することは重要な要素である。IEEE802.11 規格では、電力消費低減のために PSM (Power save management) の機能が用意されている。PSM は、端末が送受信機能を停止 (Doze) することによってバッテリーの消費を抑え、周期的に起動 (Awake) し、自局宛のユニキャストパケットを受信処理する。しかし本規格において、マルチキャストのサービスを受けない端末も、Awake 時にマルチキャストやブロードキャストパケットを受信処理するため不要な電力を消費する課題を持つ。本稿では、PSM の機能において、マルチキャストが端末のバッテリー消費に影響する課題について述べる。また電力消費量を低減するための方法を提案し、提案方法の基礎検討結果からその有効性を示した。

キーワード パワーセーブ, 無線 LAN, マルチキャスト

Study of Power Saving Scheme Suitable for Wireless LAN in Multimedia Communication

Takefumi HIRAGURI[†], Tomohiro TOKUYASU[‡], Akira KISHIDA, Makoto UMEUCHI[‡],
Masakatsu OGAWA[†], Fumiaki NAGASE[‡] and Tetsu SAKATA[†]

^{† ‡} NTT Access Network Service Systems Laboratories, NTT Corporation

1-1 Hikari-no-oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847 Japan

E-mail: [†] hira@ansl.ntt.co.jp

Abstract In recent years, Wireless LAN devices began to be mounted in a small personal terminal etc. in addition to mobile terminals, such as a notebook PC. Since they are required prolonged operation, power saving is an important factor for a small personal terminal. PSM (Power save management) function is prepared for power consumption reduction in IEEE802.11 standard. This PSM holds down consumption of a battery by suspending a transceiver device (Doze). Then, PSM make the terminal receive packets addressed to only myself by activating a transceiver device periodically (Awake). However, since Multicasting and Broadcasting are invariably received by all terminals in PSM of IEEE802.11 standard, the terminals consume unnecessary electric power even if terminal does not use these services, such as multicasting. This paper describes this problem on which multicasting influences battery consumption of a terminal. Furthermore, this paper proposes the scheme for reducing power consumption and the results of experiment confirmed its excellent performance.

Keyword Power saving, Wireless LAN, Multicasting

1. はじめに

近年、無線 LAN を用いた通信サービスは多岐に渡り、Web アクセスやメールだけでなく、映像や音声通信などのマルチメディア系サービスを伝送する手段としても注目され始めている。音声通信は、音声を IP パケット化した技術を用いることによりデータ通信と混在した環境で利用され、映像配信は一對一通信のユニキャストによる配信以外に、一對多通信用のマルチキャストサービスなどの利用がされている。これらのマルチメディア通信は、無線 LAN において通信品質の安定化、向上化が求められ、通信品質に関する研究が進められている[1][2][3]。特にマルチキャスト (MC) は、同じコンテンツのストリーミング映像を多数の端末 (STA: Station) で同時に視聴することができ、広域エリアにおいてストリーミングの放送型サービスや、ユニキャスト通信によるインターネットアクセスと MC を連携したインタラクティブサービスを実現するシステムを簡易に構築できる。また無線 LAN システムは周波数帯域 (無線チャネル) を同一の無線 LAN 基地局 (AP: Access Point) に接続している全ての STA 間で共有するため、一度の送信で同時に多数の STA へ配信できる MC は、通信帯域の利用効率向上からも魅力的な伝送方法であると言える。

一方、無線 LAN 端末において、無線 LAN デバイスはノート PC のようなラップトップだけでなく、更に小型化された PDA (Personal Digital Assistant) と呼ばれる携帯情報端末やスマートフォンと呼ばれる携帯電話と PDA 端末を融合させた携帯端末などの機器にも組み込み実装がされ始めた。これらの小型化された端末は、ラップトップの代用を目的とした情報端末であり、高機能なアプリケーションの利用が可能である。例えば、ラップトップと同様に、Web アクセスやメールなどのアプリケーションに加え、動画や音声通信などのマルチメディアサービスの利用ができる端末も存在する。特にオフィスや家庭などにおいてこれらの端末は、無線 LAN を用いることで安価に、かつ簡易的に、携帯電話の替わりとなる IP 電話端末 (Hand-held) としての利用も実現され始めている。しかし小型化された端末は、バッテリーの実装スペースが制限されるため、大きな容量のバッテリーを載せることが難しい。また高機能なアプリケーションを利用する場合には、アプリケーションの処理に大きな電力を消費する。一般的にこのような端末は、常に外部から電力を供給することが難しい環境で利用されることを想定すると、連続駆動時間を長く保ち、消費電力の低減を行うことは重要な要求条件の一つである。IEEE802.11 無線 LAN 規格[4]では、STA の消費電力を低減するための PSM (Power save management) 方法が規定されている。この PSM

のアルゴリズムにおいて、STA は、通常は無線の送受信デバイスを停止した Doze 状態を維持する。データパケットの受信を行うには、一定周期で Doze 状態から Awake 状態へ遷移して無線の送受信デバイスを起動する。この際、STA は自局宛のデータパケット、ブロードキャスト (BC) や MC の受信処理を行い、受信完了後は即座に Doze 状態へと遷移する。即ちこの Awake 状態へ遷移する周期が長いほど省電力の効果は高くバッテリーの消費を抑えることができる。一般に、無線 LAN を用いた Hand-held のような電話機能を主体とした STA は、電話の待受け時には PSM で動作する。しかし AP は MC や BC を全ての STA に対して配信するために、STA が Awake 状態へ遷移するタイミングのみに送信が許される。Awake 状態へ遷移する周期が長い場合は、映像配信を目的とした MC は、遅延やバッファ溢れにより通信品質を維持することが困難になることが想定される。IEEE802.11 で規定される従来の PSM では MC 通信品質を維持することと STA の高い省電力効果を得ることは相反する課題を持つ [5]。IEEE802.11e/Wi-Fi WMM-PS では、u-APSD (unscheduled - Automatic Power Save Delivery) と呼ばれる通信品質を考慮した省電力制御が規定されている [6], [7], [8]。しかし本制御は通信品質を要求するアプリケーション (例えば音声通信など) の通信中の省電力制御を行うものであり、MC や BC による影響を考慮したものではない。また待受け中においては本制御を実施した場合でも同様の前記課題を持つことになる。従来の無線 LAN の電力消費を低減するための研究[9][10]では、MC の通信品質は考慮されておらず、また無線 LAN チップセットの消費電力を低減する技術[11]などハードウェア/デバイス技術に依存するものであった。

本稿では、従来の PSM 方法に起因する MC の通信品質と STA への電力消費に影響する課題の詳細について述べると共に、消費電力低減方法を提案する。提案方法は、MAC (Medium Access Control) 制御の拡張によって実現することによりハードウェア/デバイスに依存せず全ての無線 LAN 端末に省電力効果が得られることが特徴の一つである。また省電力効果に関する基礎検討、評価結果から提案方法の効果・有効性を示す。

2. 無線 LAN における従来の PSM 方法と課題

2.1. 従来の PSM 方法動作手順

一般的に市販される無線 LAN を用いた Hand-held などは、着信待受け期間の消費電力を減らすため、PSM で動作する工夫がなされている。AP は、当該 AP のサービスエリア情報を含むビーコン信号を一定周期

(BI: Beacon Interval=数百 msec)で報知する。APは、PSMで動作するSTAが接続する場合には、上位ネットワークから受信したPSM動作STA宛の packets (ユニキャスト) をバッファリングし、ビーコンフレームに含まれるTIM (Traffic indication map) 要素内のPVB (Partial virtual Bitmap) を用いて、STA毎の packets の存在/バッファリング情報を報知する。STAは自局宛 packets のバッファリング情報がPVBに記載されている場合には、IEEE802.11に規定される手順で受信処理を行う。ビーコンのTIM要素フォーマットを図1に示す。またAPは、BIの整数倍周期(1~十数倍、即ち数百 msec~数 sec)で、特別なビーコン信号であるDTIM (Delivery TIM) と呼ばれるビーコンを送信する。BIの整数倍値($n=1,2,3, \dots$)はDTIM Periodと呼ばれ、ビーコン信号内のTIM要素に記載される。またAPはビーコン信号が送信されるたびにDTIM Periodの値から1ずつ減らしたカウンター値をDTIM Countと呼ばれるフィールドに記載する。DTIM Countが0となったビーコン信号は、DTIMビーコンとして送信される。PSMで動作するSTAは、ビーコン信号のTIM要素に含まれるDTIM PeriodとDTIM Countの値を取得し、DTIM Countが0となるタイミングでDoze状態からAwake状態に遷移すると共にデータ packets の受信を開始する。すなわちSTAはこのDTIMビーコンが報知されるタイミングにおいて自律的にAwake状態へと遷移し、受信完了後は即座にDoze状態へ戻ることにより電力消費を抑える。

次にIEEE802.11規格において規定されるMC、BCの送信方法については図2で説明する。APは一つでもPSMで動作しているSTAが接続している場合には、上位ネットワークからのMC、BCをバッファリングし、すべてのSTAで受信できるタイミング、即ちすべてのSTAが送受信デバイスを動作しているDTIMビーコン送信後のAwake状態時にMC、BCを送信する。しかし、例えばMCを用いて動画の配信を行う場合には、DTIM Periodを長く設定すると遅延やAPにおけるバッファ溢れに起因して packets 損失が発生し、通信品質が劣化する課題を持つ。一方BCは、一般的にIPアドレスからMACアドレスを取得するARP (Address Resolution Protocol) などに使用される。通常のネットワークでは一定期間毎にIPアドレスとMACアドレスの対応を更新するが、BCはネットワークセグメントの全域に配信されるので、負荷を軽減させるために配信頻度は低い。上位層での利用としてはDHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) を通じてIPアドレスの取得や、Windows OS間のファイル共有に用いられているなど、限られた用途に使用されているため通信品質考慮する必要は無い。しかしMC/BCのバ

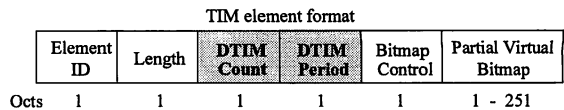


図1 ビーコンフレームのTIM情報要素

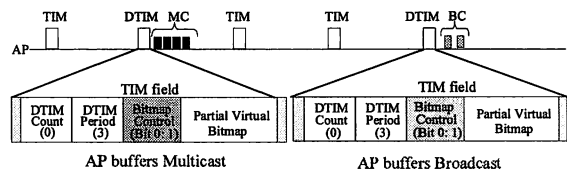


図2 PSMにおけるMC/BC送信方法

ッファリング情報はTIM要素のBitmap Controlフィールド内に記載されるが、MCとBCを区別して記載することが規定されていない。このためBitmap ControlにMC/BCの記載がある場合には、STAは自局宛の packets がPVBに記載されておらず、またMCサービスを受けていない場合でも、配信されることが不明なBCを受信するために受信動作を行い、かつMCが配信された場合には受信完了までAwakeを継続して電力を消費する課題がある。更に、ユニキャストの場合は自局宛MACアドレスの packets だけを受信して上層で作業をさせることができるが、宛先MACアドレスを指定しないBC/MCは、該当しないSTAも受信後に上層へ packets を渡し作業を行う。 packets の処理は、MACレベルまでをNIC (Network Interface Card)が行っているが、上層はOSやアプリケーションが行っているため、CPU (Central Processing Unit) 処理に伴う電力消費が無線LANデバイスのAwake継続時間に加えて発生する[12]。これらの課題に関する詳細および検討を次節で述べる。

2.2. 従来のPSM方法におけるMC通信品質への影響と消費電力の関係

図3と図4にPSMのSTAがAPに接続している場合のマルチキャスト packets 送信方法の例を示す。図3の例では、APはDTIM Period=3、即ちビーコン信号を2つ間欠してDTIMビーコンを送信する。この例ではマルチキャスト packets はBIの3倍間隔で送信されることとなる。また図4の例では、APはDTIM Period=1ですべてのビーコン信号がDTIMビーコンとして送信される。図3の例ではDTIMビーコンの周期が長いことから、Awakeによる消費電力量は少ないがMCの送信機会が減り、通信品質を劣化させる。一方、図4の例ではMCの送信機会は増えるものの頻繁にAwakeするため消費電力量も増加する。これらの課題を実験により検証した。無線LANのネットワーク構成は、APにPSMで動作するSTAとマルチキャストを受信する

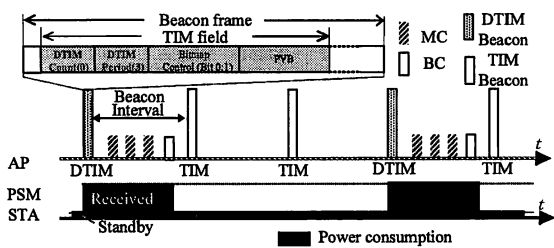


図3 DTIM周期が長いMC送信手順

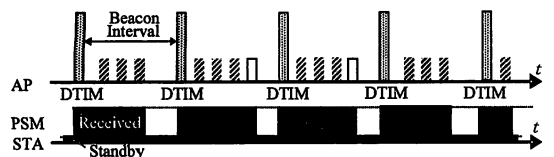


図4 DTIM周期が短いMC送信手順

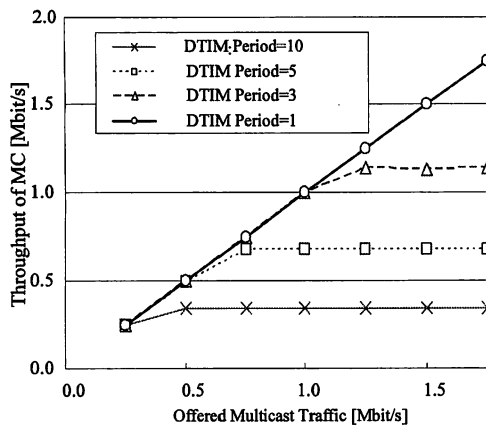


図5 PSMのMCスループット特性

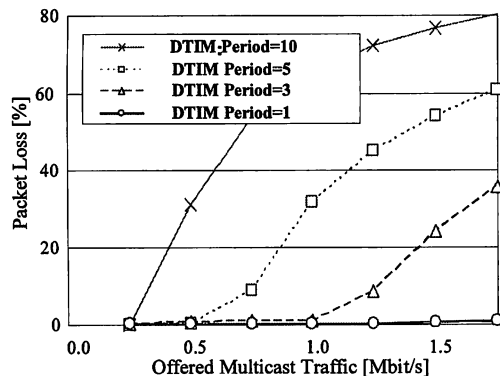


図6 PSMのMCパケット損失特性

STAを1台ずつ接続した。マルチキャストトラフィックを0.25~1.75 Mbit/sの範囲で発生させ、マルチキャストのスループット及びパケット損失の特性を求めた。DTIM Periodは1~10、BIは100 msecに設定した。マルチキャストスループット特性を図5にマルチキャストパケット損失特性を図6に示す。図5では、DTIM

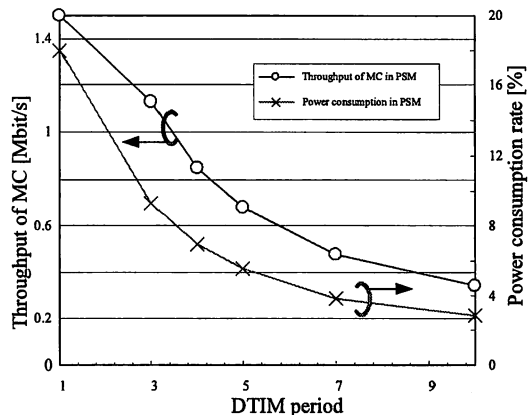


図7 MCスループットと電力消費の関係

Period=1の時に、1.75 Mbit/sまでのマルチキャストスループットを維持できた。図6でも同様にDTIM Period=1の時には、パケット損失はほとんど発生せず、一方、DTIM Periodの値が大きくなるほどパケット損失が増加している。これは伝送誤りなどによるものではなく、マルチキャストの発生トラフィック量が多く、且つマルチキャストの送信機会が少ないことにより、APにおけるバッファ溢れがパケット損失の原因と考えられる。小さい値のDTIM Periodを用いることにより、PSMのSTA接続時にも高トラフィック時において低損失でのマルチキャスト通信品質を維持できることが確認できた。しかし、短いDTIM Beacon周期はSTAの電力消費を増やす。図7に、DTIM Period値の変化に対するMCスループット特性とSTAの電力消費率特性の関係を示す。MCトラフィック1.5 Mbit/sとし、Beacon伝送レートは1 Mbps、BIは100 msec、MC伝送レートは11 Mbit/s (IEEE802.11b)に設定した。電力消費率特性は理論計算により算出し、STAがPSMで動作せず常にAwake状態である場合を100%とし、受信時(Awake)とスタンバイ時(Doze)の消費電力比を100:1と仮定して算出した。この図では、DTIM Beacon周期が長い場合にMCの通信品質が劣化し、DTIM Beacon送信周期が短くなるにつれ消費電力が増加していることを示す。これらの結果から、従来のPSMは高い通信品質のMC配信と効果的な省電力の要求を共に満たすのに不十分な方法であることが確認できた。

3. PSMの提案方法と検討・評価

本章では、まず2章で示した課題を解決する簡易的な提案方法を3.1節に示し、次にデバイスによる消費電力の依存を考慮した前記提案方法の拡張方法を3.2節に示す。これらの提案方法は、基礎検討と評価結果からその効果・有効性を示した。

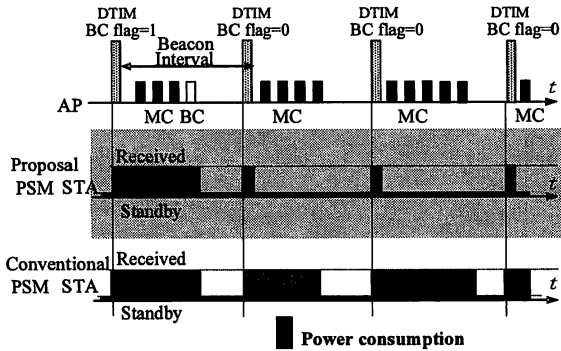
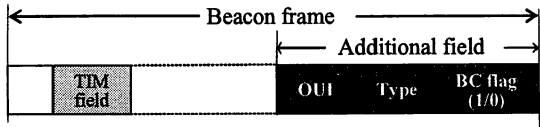


図8 提案方法の動作手順

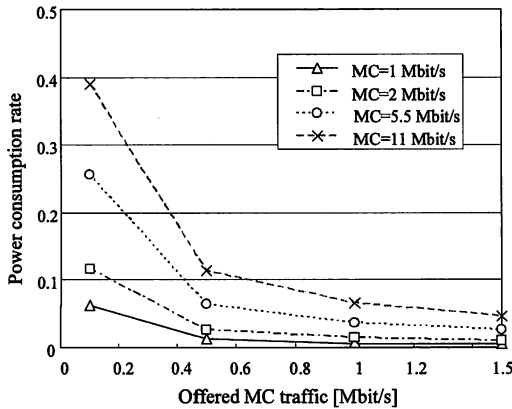


図9 従来方法に対する提案方法の消費電力比

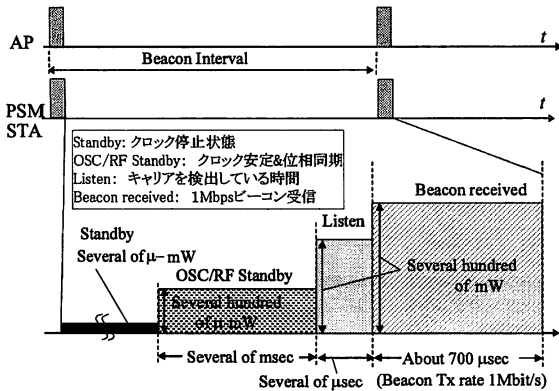


図10 無線LANデバイスにおける受信時の電力消費の例

3.1. MC 通信品質を考慮した BC パッファリング通知による提案方法

図8に提案方法の手順を示す。提案方法では、ビーコン信号内に TIM 以外の PSM に関する OUI

(Organizationally Unique Identifier) 情報フィールドを追加する。OUI 内の BC flag は、AP が上位ネットワークから受信した BC と MC の区別を行い、AP に BC がバッファリングされている場合には、1 を記載する。DTIM ビーコンを受信した PSM の STA は、BC flag に 1 が記載されている、あるいは TIM の PVB に自局宛パケットがバッファリングされていることを示されている場合には、Awake を継続し BC を受信する。それ以外の場合には DTIM ビーコン受信完了後は即座に Doze へ状態を遷移する。BC はほとんど送信されないことを想定すると、BC と共に MC を受信するために Awake を継続する時間は減り、一方 Doze 期間が従来の PSM よりも増えることによって消費電力を低減することが可能となる。また、MC の通信品質を維持するために DTIM Period=1 とする。

図9に、PSM において従来方法に対する提案方法の電力消費算出結果を示す。Awake とスタンバイ時 (Doze) の電力消費比を 100 : 1 とし、ビーコン伝送レート 1 Mbps, BI は 100 ms, DTIM Period =1 とした。本評価では、従来の PSM の電力消費を基準の 1 と正規化した場合の提案方法の消費電力の割合を算出した。評価パラメータは、MC トラフィックのみを 1~1.5 Mbit/s の範囲で発生させ、MC の無線伝送レートが異なる場合 (1, 2, 5.5, 11 Mbit/s) の比較とした。提案方法は、DTIM ビーコンを受信するために、一定周期毎で短い期間 Awake するが、MC を受信せず Doze となるため MC の伝送レートを変更した場合にも一定の低い電力消費となる。本評価では、従来の PSM 方法と比較して、MC の伝送レートが低いほどその効果は高いことが確認できた。一般的な運用では、MC は AP に接続するすべての STA が受信できるように伝送レートは低く設定されるため、本提案方法の効果は大きいと考えられる。

しかし、本方式では MC の通信品質を維持するために、頻繁に Awake することによる電力消費が増加する。図10に無線 LAN デバイス内で消費される電力の例を示す。図中の例では、一般的に BI の期間で STA がスタンバイから受信処理を行うまでのデバイスにおける消費電力 (μ-mW) のオーダを示す [13]。STA はスタンバイからビーコンを受信するために受信状態へ遷移する場合には、デバイスを起動するまでのある程度の時間と起動のための処理に費やす電力が発生する。デバイスによって起動の消費電力は異なるものの、本節の提案方法は頻繁に Awake を行うため、STA のバッテリー消費への影響は無視できないと考えられる。

3.2. デバイス起動による消費電力を考慮した拡張提案方法

本節では、前節(3.1)の提案方法を拡張した方法を提案する。図11に従来のPSM方法、前節の提案方法、そして拡張提案方法によるPSMの動作手順を示す。拡張提案方法では、図12に示すように、OUIのBC flag情報に加えてDTIM BC Period=nとDTIM BC Count情報を追加する。DTIM BC Periodは、STAがDTIMビーコンを間欠してActive状態へと遷移するDTIMビーコン間隔の倍数値:nを記載し、DTIM BC CountはDTIMビーコンを送信する毎にnから1ずつ減らした値を記載する。またAPはDTIM BC Countが0となるDTIMビーコン送信後のみBCの送信を行う。図11の例では、MCサービスを受けないPSMのSTAは、DTIM BC Countが0となるDTIMビーコンの5周期毎にActiveへと遷移する。また前節の提案方法同様にBC flagからBCバッファリング情報を取得することによってAwakeを継続するか否かの判断を行う。本方法は、MCを受信しないことによって消費電力は抑え、且つ短い間隔のDTIMビーコンを間欠して受信しDozeとなる時間を増やすことによって更に消費電力を減らすことが実現できる。

図13に、PSMのSTAにおいて算出した前節提案方法と拡張提案方法との電力消費の比較結果を示す。本評価ではビーコンの伝送レートは1 Mbit/s, BI=100 ms, DTIM Period=1とした。また拡張提案方法はDTIM BC Period=1~10とした場合の電力消費特性を求めている。前節提案方法による消費電力を基準の1と正規化した場合の拡張提案方法の消費電力の割合を算出した。拡張提案方法は前節提案方式に比べDTIM BC Periodを大きくするに従い消費電力は低減される。しかしなが

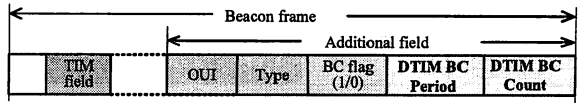


図12 拡張提案方法のビーコンフレーム

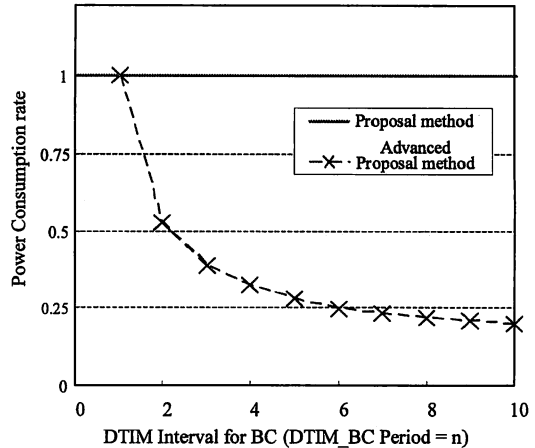


図13 拡張提案方法の電力消費特性

ら、拡張提案方法は、Dozeとなる時間が長いほど消費電力を抑える反面、DTIM BC Periodの値が大きすぎる場合には、Doze中に自局宛へ送信されたデータパケット(ユニキャスト)を受信するまでに大きな遅延の発生や、バッファ溢れによるパケット損失が生じる可能性があるため、DTIM BC Periodの値を最適に選択する必要がある。図13ではDTIM BC Period=4以降の電力消費低減が飽和しており、拡張提案方法の大きな効果が得られないため、最適値を選ぶ目安となる。

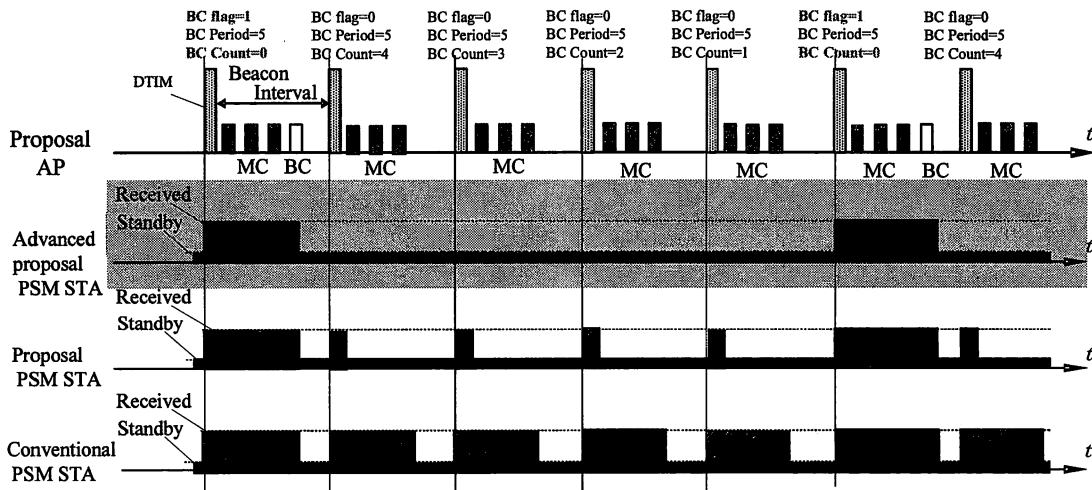


図11 各種PSMの動作手順

4. まとめ

本稿では、従来の PSM 方法に起因する MC の通信品質劣化と STA への電力消費に影響する課題の詳細について述べた。またこれらの課題を解決する電力消費低減方法を提案した。提案方法は、MAC 制御の拡張によって実現することによりハードウェア/デバイスに依存せず全ての無線 LAN 端末に省電力効果が得られることが特徴の一つである。また省電力効果に関する基礎検討、評価結果から提案方法の効果・有効性を示した。

文 献

- [1] K. Kawamura, T. Hiraguri, and M. Ogasawara, "Technique for Dynamically Updating EDCA Access Parameters for WLANs," NTT Technical Review, Vol.5, No.11, Nov. 2007.
- [2] T. Hiraguri, M. Umeuchi, and M. Ogasawara, "Priority Control Techniques Suitable for Multicast Delivery on WLANs," NTT Technical Review, Vol.5, No.11, Nov. 2007.
- [3] M. Ogasawara, M. Umeuchi, K. Kawamura, T. Miyano, S. Otsuki, K. Nagata, and T. Hiraguri, "Overview of QoS Control Techniques for Wireless Local Area Networks," NTT Technical Review, Vol.5, No.11, Nov. 2007.
- [4] "IEEE Std 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," ISO/IEC 8802-11, 1999.
- [5] T. Hiraguri, M. Umeuchi, M. Ogasawara, T. Manabe, "Proposal of QoS control Methods for Multicast delivery on Wireless LAN," Technical report of IEICE. CQ, pp.101-106, July 2007.
- [6] "IEEE Std 802.11e-2005, Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Specifications, Quality of Service (QoS) Enhancements," Nov. 2005.
- [7] "Wi-Fi Alliance, WMM System Interoperability Test Plan Version 1.2", Feb. 2005.
- [8] Takeuchi, Sezaki, Yasuda, "Quick data-retrieving for U-APSD in IEEE802.11e WLAN networks," Proc. WCNC 2006, Vol. 3, pp. 1421-1427, 2006.
- [9] Y. Jiao, R. H. Ali, "Adaptive Power Management for Mobile Agent-Based Information Retrieval," Proc. of the 19th international conference on AINA'05, pp.675-680, 2005.
- [10] D. Qiao, S. Choi, A. Jain, K. G. Shin, "Adaptive Transmit Power Control in IEEE 802.11a Wireless LANS," Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference, Vol.1, pp.433-437, Apr. 2003.
- [11] H. KANAYA, R. K. POKHAREL, F. KOGA and K. YOSHIDA, "Design and Verification of On-Chip Impedance-Matching Circuit Using Transmission-Line Theory for 2.4 GHz-Band Wireless Receiver Front-End," IEICE Trans. Electron, E89-C pp.1888-1895, 2006.
- [12] H. Sakai, M. Asai, Y. Ikeda, M. Kondo, H. Nakamura, "Dynamic Voltage Scaling Method Based on Statistical Analysis," Information Processing Society, Vol.47 pp. 80-9, Nov. 2006.