

# 無線 LAN システム及び対応端末の性能向上技術

Technology for Performance Improvement of Wireless LAN System and Terminals

松尾 綾子 尾林 秀一 児玉 利一

■ MATSUO Ryoko

■ OBAYASHI Shuichi

■ KODAMA Toshikazu

無線 LAN は、送受信速度の高速化や製品の低価格化、機器使用の簡単さから、パソコン (PC) をはじめ PC の周辺機器、AV 機器にまで広がりつつある。一方、応用範囲の拡大に伴い、重要な課題も明らかになりつつある。無線 LAN システムから見れば、いかに有限の周波数資源を有効に使うか、個々の端末から見れば、いかに高速かつ異なる要求品質の情報を送れるか、また消費電力を低減できるかが、それぞれ大きな課題である。それらの課題を解決するための、アクセスポイントと端末に対する追加機能、及び両者の連携動作方式を提案し、それらの有効性を定量的に示した。

With wireless LAN achieving higher speeds, lower-cost availability, and easier usage, its applications have expanded from personal computers to their peripherals and even audiovisual equipment. However, this wide proliferation has given rise to significant problems that must be solved, such as effective radio frequency management with a limited number of allocated channels, and the realization of wireless LAN devices with higher throughput and lower power consumption.

This paper describes two specific examples of Toshiba's new approaches that are applied to both the access point and terminals to solve these problems.

## 1 まえがき

1999年にIEEE(米国電気電子技術者協会)802委員会では802.11bが標準化されて以降、無線LANは、802.11a, gといった新たな規格による送受信速度の高速化や、製品の低価格化も後押しし、企業や家庭での導入が急速に進んでいる。それにより、当初PCが主だった無線LAN対応端末も、現在では、プリンタやプロジェクタといったPCの周辺機器、携帯情報端末(PDA)や無線VoIP(Voice over Internet Protocol)電話などに広がっている。更に、送受信速度の高速化により、テレビなどの各種AV機器への無線LANの搭載も始まっており、現在標準化活動が進んでいる802.11nの導入も、無線LAN対応端末の多様化を加速すると考えられる。一方、このような無線LANシステムの急速な増加や対応端末の多様化に伴い、重要な課題も生じている。

ここでは、それらの課題や要求をあげ、それに対する解決策として二つの技術を紹介する。一つは、アクセスポイント(AP)が複数チャンネルを運用する場合に、APに接続する端末の送受信速度やトラフィックに応じて、その端末に割り当てるチャンネルを適切に選択することにより、無線LANシステムのスループットを向上させる方式である。もう一つは、いわゆるスマートアンテナの使用時など、アップリンクとダウンリンクとの伝送路特性が異なる場合でも、APと端末との連携で、端末の送信電力を適切に制御し、無線LAN対応端末の消費電力を削減する方式である。

## 2 無線 LAN システム及び対応端末の抱える重要な課題

無線LANの抱える重要な課題として、周波数チャンネルの有効利用、隣接無線LANとの干渉低減、QoS(Quality of Service)、スループット向上、消費電力削減などがある(図1)。無線LANシステムでは使用可能な無線周波数があらかじめ割り当てられており、それらのチャンネルを有効に利用すること

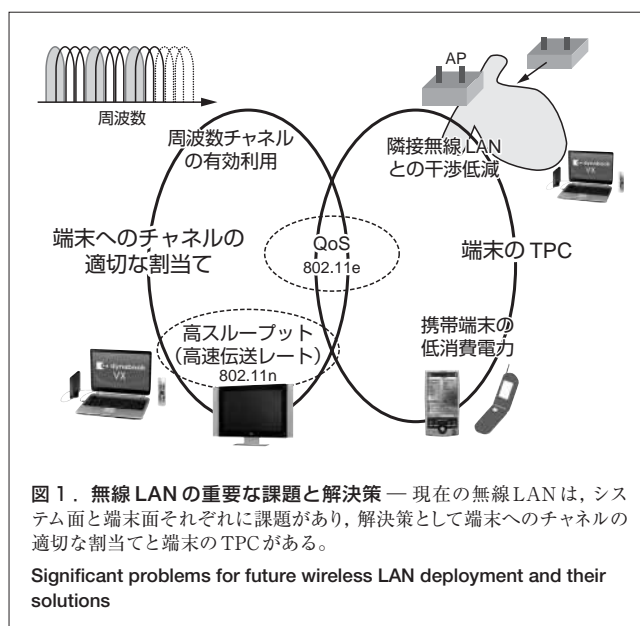


図1. 無線LANの重要な課題と解決策 — 現在の無線LANは、システム面と端末面それぞれに課題があり、解決策として端末へのチャンネルの適切な割当てと端末のTPCがある。

Significant problems for future wireless LAN deployment and their solutions

が重要である。また、限られたチャンネル数のため、無線LANシステムの普及とともに、隣接する無線LANとの干渉が生じ、特性が劣化することも大きな問題である。APや端末への指向性アンテナ、特に干渉波を抑圧させるようなスマートアンテナの搭載が、干渉対策の一つとして考えられている<sup>(1)</sup>。

また、端末の高速送受信の実現やシステム全体のスループットの向上も無線LANの発展に必要である。更に、無線LANシステムの応用範囲の拡大とともに、アプリケーションごとに異なる要求を満たすQoS、携帯端末の消費電力を削減して電池の持ちを良くするTPC(Transmit Power Control: 送信電力制御)といった要求も高まっている。次に紹介する二つの技術は、既存の802.11仕様(主にa, b, g)を基に、APと端末とに機能を追加し、連携した動作を行うことで、これらの課題を改善させるものである。

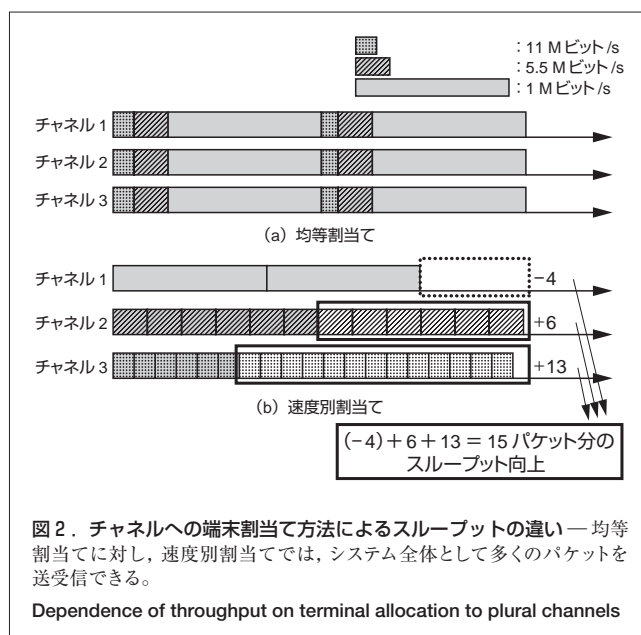
### 3 端末のチャンネル割当て方式によるシステムスループットの向上

現在の802.11対応の多くのAPは複数の周波数チャンネルのうち一つを選択し、そのチャンネルを各端末が共有する。チャンネルへの各端末のアクセス方式には、基本的に2種類あり、このうちCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)プロトコルを用いるDCF(Distributed Coordinate Function)方式が既存の802.11仕様で必須の方式である。

一方、APからの距離や無線特有のフェージングの影響により、各端末では受信特性が異なる。各端末は、その受信特性に伴い送受信速度を制御するリンクアダプテーションを独自に行うため、端末ごとに送受信速度が異なる。送受信速度が低速の端末はパケット送受信にかかる時間が長くなり、その端末により、無線LANシステム全体のスループットが大きく制限されるという問題がある<sup>(2)</sup>。

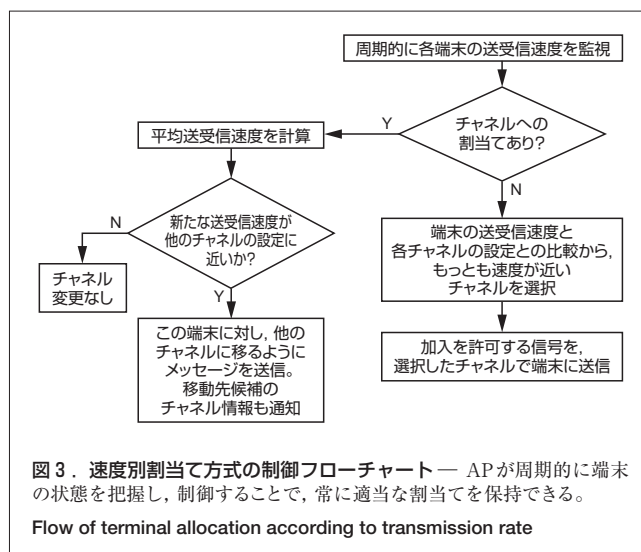
ここでは、その問題を解決するため、一つのAPが複数チャンネルを運用し、かつ、各端末の送受信速度やQoS要求を基に、複数チャンネルに各端末を最適に配置する仕組みを紹介する。一つのAPが三つのチャンネルを運用し、ある一定情報量のパケットの送受信に必要な時間が送受信速度が3種類の場合での、各チャンネルのパケット送受信例を図2に示す。図2(a)は、APが各チャンネルのスループットを均等にするように端末を割り当てた場合のチャンネルごとのパケット送受信例(以下、均等割当てと略記)である。図2(b)は各端末の送受信速度を基に、送受信速度が同一あるいは近い端末が同じチャンネルに集まるように割り当てた場合の例(以下、速度別割当てと略記)である。

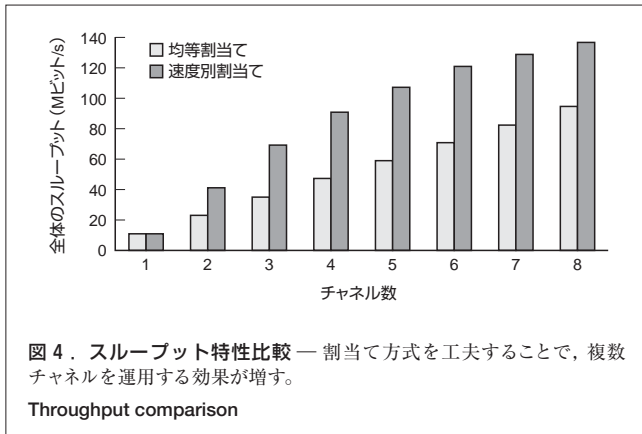
図2(a)と(b)の比較からわかるように、速度別割当てを行った場合は、均等割当てに比べ、低速端末のパケット送受



信数は多少落ちる。しかし、高速端末のパケットが多く送受信できるため、3チャンネル全体で見た無線LANシステムのスループットを向上させることができる。ただし、実際は、無線信号の受信特性は様々な要因によって変化し、送受信速度も常に一定値にはならないため、それを考慮した制御が必要である。

速度別割当ての制御フローチャートを図3に示す。APでは、各端末の送受信速度を一定間隔ごとに監視し、既はその端末がいずれかのチャンネルに割り当てられているかを判断する。割り当てられている場合は、現在の割当てが適当かを判断し、必要ならば、チャンネル変更を端末に指示する。割り当てられていない場合は、送受信速度から適当なチャンネルを探し、割り当てる。又は、どのチャンネルにも割り当てられない場合は、その端末の要求を棄却する。



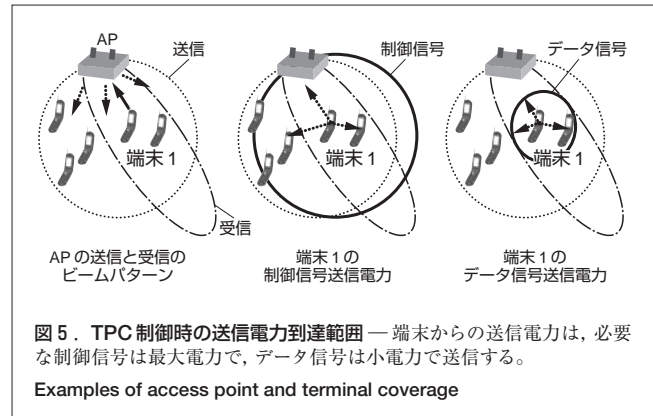


APが複数チャンネルを運用した場合の、端末の均等割当てと速度別割当てによる数値計算結果を図4に示す。図4では、互いに干渉しないチャンネルが最大12チャンネル(米国の場合)である802.11aで最大8チャンネルまでの運用を仮定する。端末ごとに各送信速度(6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54(Mビット/s))を割り当て、個々の端末が異なる送信速度で一定情報量の packets をやりとりした場合の結果を示す。この図から、チャンネル数を増やすにつれ、均等割当てでは単にスループットがチャンネル数倍になるだけであるが、速度別割当ての場合はそれ以上に複数チャンネルを運用する効果が得られることがわかる。また、ここでは触れないが、実際には、遅延などQoS要求に合致した条件で割り当てる必要があり、これらの要素も含めた提案も行っている。

#### 4 端末の送信電力制御 (TPC) による消費電力削減

802.11規格の中で、5GHz帯のヨーロッパ対応の規格である802.11hでは、TPCが規定されている。802.11hのTPCは衛星通信への干渉に関する規制を満たすことを目的とし、基本的にAPの送信電力を調整する。一方、無線LAN VoIP携帯端末やPDAといった小型携帯端末の出現により、端末の低消費電力への要求が高まっており、TPCによる低消費電力への効果に関する研究も行われている<sup>(3)</sup>。

文献(3)で示す制御では、送受信がアンテナ特性や送信電力に関して対称と仮定し、端末はあらかじめ、伝搬信号損失を基に受信電力に対する送信速度と送信電力の関係をメモリとして保持する。端末側で、実際の受信信号値をこの関係に当てはめることで、送信速度及び送信電力を選択する。しかし、この方式では、送信する信号情報量に応じて前記の関係が必要である。また、実際には、伝搬信号損失の平均値だけではなくフェージングやシャドウイングも考慮する必要がある。今後、スマートアンテナなどを用いたAPや端末を考えた場合には、送受信非対称なシステムでのTPCも重要となってくる。



ここでは、送受信非対称時にも対応し、APと端末が連携して端末の消費電力を削減する方法を紹介する。TPC制御時の送信電力到達範囲を図5に示す。この図では、APは送受信に異なるビームパターンを仮定する。送信時は広ビーム、受信時には狭ビームにすることで、端末が低送信電力、かつ高速で送受信することを可能にする。また、この方式のTPCを用いれば、端末はAPの指向性ゲインも利用したうえでの最低限の送信電力でAPとのやり取りが行える。

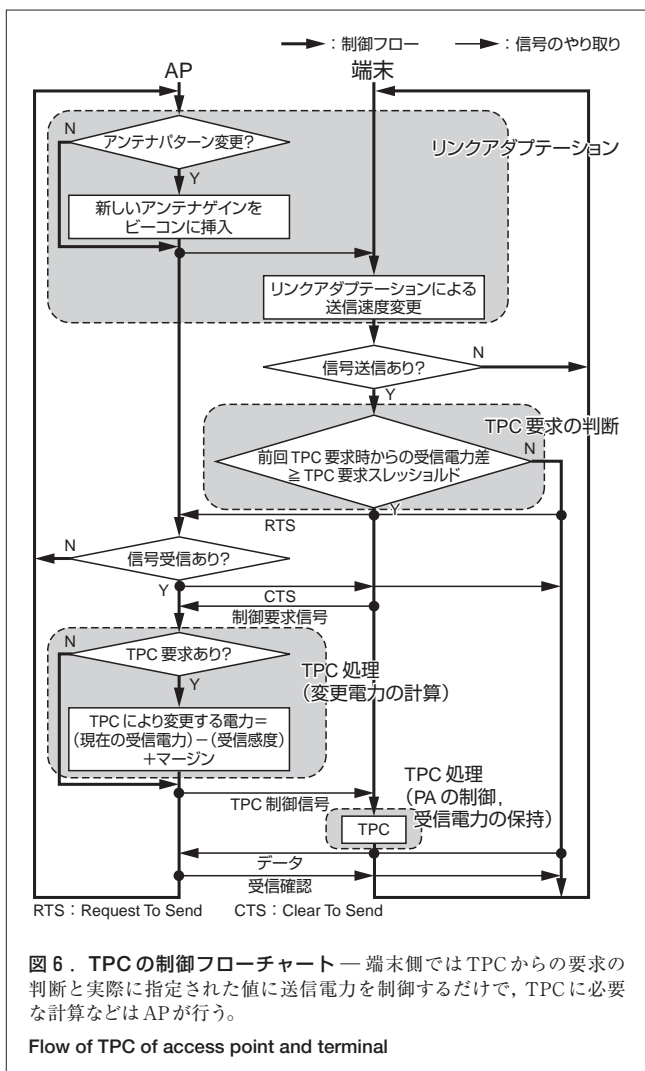
ただし、同一AP下の全端末がキャリアセンスできる程度の十分な送信電力で送信しない場合、送信パケットの衝突頻度が増加する、いわゆる隠れ端末問題が発生する。それを回避するために、必要な制御信号は最大送信電力を用いる。消費電力削減の観点からみれば、衝突回避に必要な制御信号はデータ信号に比べて信号長が短いので、消費電力に与える影響は小さい。

TPCとリンクアダプテーションの制御フローチャートを図6に示す。一般に、TPCとリンクアダプテーションは、どちらも端末の受信電力の値を基に制御するため関連がある。この方式でも、両制御を考慮しているが、基本的にはそれぞれの制御は独立に動作する。特に、リンクアダプテーションは既に各メーカーのICごとに独自に組み込まれていることも多く、この場合は、各IC独自の方式を用いても差支えない。このフローチャートで示すリンクアダプテーションでは、APの送受非対称の情報を端末にあらかじめ通知し、それを考慮した送信速度を選択できる仕組みを示している。

一方、TPCの部分では、端末側でTPC要求の判断を行う。ここでは、前回のTPC要求時に対する現在の平均受信信号電力の差が一定の値以上の場合にTPCを要求する場合を示す。信号送信のたびにTPCを行う方法もあるが、処理の簡素化や、APと端末間でのTPC用の制御信号のやり取りのためのオーバーヘッドが与えるスループット低減を避けるため、送信電力の更新は必要最小限にしている。

端末がTPCを要求した場合、APでは、その受信電力と受信感度(所要の速度で受信するために必要な受信信号レベ





ル。各端末固有の値)との関係から変更すべき送信電力の値を計算し、結果を端末側に通知する。この方法では、端末側はその値を基に実際に送信電力を制御する。伝搬信号損失対送信電力やスループットの関係の保持は必要ない。

図7にこの方式のTPCを用いた場合の全パケットを最大送信電力で送信した場合に対する全端末にわたる平均消費電力削減率のシミュレーション結果を示している。端末は、最大距離R m以内に様に分布し、その最大/最小送信電力をそれぞれ17 dBm/7 dBmと設定した。

電力増幅器が、無線LAN回路内の消費電力に占める割合などを試算すると、仮に全パケットを最小送信電力で送信した場合、約30%の消費電力削減が可能となる。しかし、実際には、伝搬信号損失などの影響から、全パケットを最小送信電力で送信すると、各端末が所要の速度を保持できない。それに対しこの方式で所要の速度を保持しつつ送信電力を制御した場合、距離に応じて削減率は下がるが、例えば、半径40 m内の端末で、指向性アンテナのゲインが高い場合、約25%の削減率を実現できる。

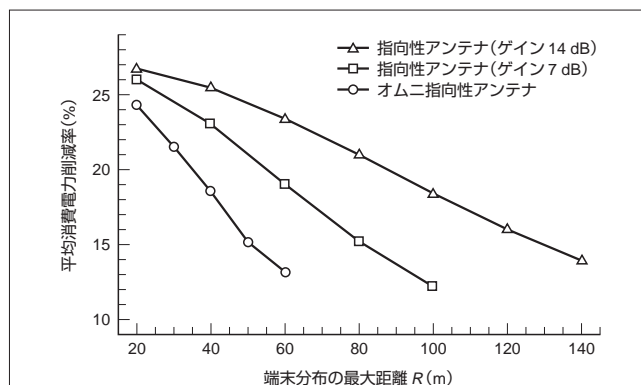


図7. TPCの平均消費電力削減に与える効果 — 半径40 m内の端末で、指向性アンテナのゲインが高い場合は、約25%の平均消費電力削減率が達成できる。

Average power consumption reduction achieved by TPC

## 5 あとがき

現在の無線LANで重要な課題をあげ、無線LANシステムと対応端末それぞれの視点から、解決策となる技術を紹介した。APや端末の処理に工夫をし、連携した動作をすることで、システム全体のスループットの向上や端末の低消費電力化を実現できることを示した。解決すべき課題は依然として多いが、魅力ある無線LAN製品を提供できるようにほかの課題に関しても研究開発を進める。

## 文献

- 1) 庄木裕樹, ほか. 快適なオフィス内無線を実現するスマートアンテナ. 東芝レビュー. 58, 2003-04, p.36-39.
- 2) Hausse, M., et al. "Performance Anomaly of 802.11b". IEEE INFOCOM'03, San Francisco, 2003-04, p.836-843.
- 3) Kim, Y., et al. "ST-TPC: A Self-Protective Energy Efficient Communication Strategy for 802.11 WLANs". IEEE Vehicular Technology Conference. Los Angeles, 2004-09, Session 3.7. (CD-ROM).



松尾 綾子 MATSUO Ryoko

東芝アメリカ研究所。  
無線通信の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。  
Toshiba America Research, Inc.



尾林 秀一 OBAYASHI Shuichi

東芝アメリカ研究所リサーチディレクター。  
無線通信、スマートアンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会、IEEE会員。  
Toshiba America Research, Inc.



児玉 利一 KODAMA Toshikazu, Ph.D.

東芝アメリカ研究所長、工博。  
弾性表面波デバイス、移動体通信、モバイルインターネット関連の研究・開発に従事。電子情報通信学会、IEEE会員。  
Toshiba America Research, Inc.