

超多数 AP 協調による無線 LAN 機能向上手法の基礎検討

伊藤 達哉¹ 石原 進¹

概要： Wi-Fi を利用した端末の増加やコンテンツ容量の増加によるトラフィック増加が今後も続くことは容易に想像でき、そのための無線 LAN の通信容量確保が重要な課題である。無線 LAN アクセスポイント (AP) の通信カバー範囲を小さくし高密度に設置することで、無線 LAN の空間面積あたりの通信容量を向上することが可能である。複数の AP が同一のチャンネルを用いて近くで通信を行うと電波干渉により通信容量がうまく向上しないが、そのような AP 同士のチャンネルが異なるように設定することで回避できる。しかしチャンネル数には限りがあるため、必ずしも隣接する AP 同士が異なるチャンネルで通信できるとは限らず、AP を多数設置しても際限なく通信容量を増やせるわけではない。さらなる通信容量向上のためには、同一チャンネル上で効率的な通信を行うための管理/制御が重要となる。筆者らは単一チャンネル上で空間利用効率を更に向上させるために、端末と通信を行う AP を動的に変更し、下り方向のフレームをスケジューリングすることで、空間あたりの同時通信端末数を向上させる手法を提案している。本稿では、そのシステムを実環境で動作させるため改善点について述べる。また、光を用いて端末から AP への補助的な情報通信を行い、それによって得た情報を複数 AP の協調制御へ応用する方法について考察する。

キーワード： 無線 LAN, スケジューリング, 位置検出, 負荷分散, 空間分割多重化

1. はじめに

無線 LAN を利用する端末の増加やコンテンツの大容量化によるトラフィック増加が今後も続くことは容易に想像できる。そのため、無線 LAN の通信容量確保は重要な課題である。通信容量は無線 LAN アクセスポイント (AP) を増設することで増やすことができる。複数の AP が同一のチャンネルを用いて近くで通信を行うと電波干渉により通信容量がうまく向上しないが、そのような AP 同士のチャンネルが異なるように設定することで回避できる。しかしチャンネル数には限りがあるため、必ずしも隣接する AP 同士が異なるチャンネルで通信できるとは限らず、AP を多数設置しても際限なく通信容量を増やせるわけではない。さらなる通信容量向上のためには、同一チャンネル上で効率的な通信を行うためのマネジメントが重要となる。

高密度に AP が設置された環境で、同一チャンネル上で動作する複数の AP を制御することで、無線 LAN 全体のスループットを向上させる方法が研究されている。複数の AP が同一の SSID・MAC アドレスを持ち同一チャンネルを利用して通信を行うことで、端末が複数の AP とアソシエーションを行い、ネットワーク側からのフレーム送信のたびに最適な AP を用いて通信を行うシステム [1] が提案

されている。他にも、端末が接続している AP の各組み合わせに対して同時に通信を行った場合の干渉関係をあらかじめ測定しておき、干渉しない限りより多くのフレームが同時送信できるようフレームの送信順序を変更し送信する手法 [2] が提案されている。これらの手法では、接続している AP と端末間のリンク品質やリンク間の干渉関係を得るために、検査用のフレームを端末からネットワーク側へ送信したり、ネットワーク側で収集した過去の通信結果の統計情報を利用して推定している。端末の移動によって生じるリンクの変化などに対応するため、制御フレームのやりとりは定期的に行う必要があり、制御用のトラフィックが余計に発生する。さらに、無線 LAN 内の AP や端末数が増えるほど、制御のためのトラフィックが増えることが予想される。

筆者らは、カメラで端末が発する光を撮影することで端末の位置を取得する手法 [3] を利用し、無線電波通信とは異なる媒体を用いて得た情報を利用して行う複数 AP の協調制御について検討を進めている。この位置を取得する手法は、端末に付与した点滅光源をカメラで撮影し、画像処理によって端末の識別と位置の取得を行っており、複数の端末の位置情報を同時にリアルタイムで取得できるという利点がある。また筆者らは、ネットワーク側が端末位置を取得できるものとし、端末の通信 AP の動的変更とフレー

¹ 静岡大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Shizuoka University

ム送信順序の変更をネットワーク側で制御することで、干渉しない限りより多くのフレームを同時送信しスループットを向上させる手法 [4] を提案している。この手法は電波伝播モデルと干渉推定モデルの簡易化や様々な仮定の上で提案しており、実環境で動作させると頻繁な電波干渉による多量のフレームロスなどの問題が生じる。

本稿では過去に我々が提案した手法を現実環境で動作させるための問題点と改善策について述べる。また、上記のような数メートル毎に AP が設置され高密度に存在する環境において、無線電波通信以外の方法で端末情報をネットワーク側で取得・利用できる場合を想定した、無線 LAN の通信利用効率向上の戦略を 4 つ示す。以下、第 2 章で関連研究について述べた後、第 3 章では過去に我々が提案したシステムと改善点について述べる。4 章では点滅光による端末位置検出を利用した効率的通信のための複数 AP の制御手法の新たな戦略について述べる。5 章で、本稿をまとめる。

2. 関連研究

IEEE 802.11 無線 LAN では、AP が定期的にビーコンを送信しており、端末はビーコンを受信した際の受信電波強度が高い AP に接続して通信を行う。しかしこの方法では、1 つの AP に多くの接続が集中するという問題がある。無線 LAN では、端末は通信媒体を奪い合う形で通信を行うため、1 つの AP で通信を行う端末が増えるほど、その AP に接続した端末のスループットは低下する。複数利用可能な AP が存在するなら、各 AP に端末を分散させて接続させることで、無線 LAN 全体のスループットや各端末のスループットが向上する。

2.1 負荷分散手法

端末が接続する AP を制御する事で、端末のスループットや無線 LAN 全体のスループットを向上させる負荷分散制御の研究が盛んに行われている。Kumar らは文献 [5] で、全ての端末と AP 間の RSSI が与えられた時に無線 LAN 全体のスループットを最大にする端末の接続先 AP の組み合わせを求める最適化問題の定式化を行っている。Bejerano らは文献 [6] で、最小値を最大化する Max-Min 型の公平分配方式を用い端末間の通信品質の公平性を保ちつつ、負荷分散による無線 LAN 全体のスループット向上を達成する中央制御型のシステムを提案している。この手法では、インフラ側に管理サーバが存在し、各 AP に接続している端末のプライオリティや通信レートの収集、収集したデータを利用した各端末の通信先 AP と通信レートの割当、各端末への命令を行う。しかしながら、このような中央制御を行う方式では、一箇所で全ての制御を行うため負荷が高くなり、大きなネットワークでの利用が難しい。

そこで、端末が自律的に判断して接続する AP を選択す

る方法が多く提案されている。Gong らは文献 [7] で、端末が AP の送信するビーコンやパケットから通信レートと AP の負荷情報を取得し、接続後の AP の負荷が最も小さい AP を接続先 AP として選択する手法を提案している。Kasbekar らが文献 [8] で提案する手法では、AP は自身に接続している端末の通信レートの合計をビーコンに載せて定期的に送信し、端末はビーコンの受信電波強度と通信レートの合計から接続後に期待されるスループットを推定し、その推定値に基づき接続する AP を選択する。

これらの負荷分散手法の多くが、隣接する AP が異なるチャネルを利用し、AP 同士あるいは異なる AP を使用して通信を行う端末同士は通信時に電波干渉しない事を前提としている。都市部では高密度で無線 LAN の AP が配置されており、AP 間の電波干渉は容易に起きることが予想できる。そのため、複数 AP の同一チャネル利用を考慮した負荷分散制御が必要である。同一チャネルを用いた効率的負荷分散が可能であれば、これを複数チャネルを用いる場合に拡張することで、さらなる効率化が期待できる。

2.2 同一チャネルでの AP 協調制御

高密度に AP が設置された状況を想定し、同一チャネルを用いる複数 AP を協調制御する手法が提案されている。Zhu らは文献 [1] で、複数の AP が同一の SSID・MAC アドレスを持ち同一チャネルを利用して通信を行うことで、端末が複数の AP と接続でき、さらにネットワーク側との複数のリンクを同時に利用できるアーキテクチャを提案している。このアーキテクチャでは複数の AP を集約し制御する装置を使用し、各端末の接続 AP の管理や、下り通信の際に最もリンク品質の高い AP を用いた送信を行う。上り通信においては端末が接続している全ての AP が上り方向のフレームを受信することで、フレームロスの確率を減らしている。

Shrivastava らは [2] で、複数 AP を集約し制御する装置を使用し、端末が接続している AP の各組み合わせに対して同時に通信を行った場合の干渉関係をあらかじめ測定しておき、干渉しない限りより多くのフレームが同時送信できるよう送信順序を変更して送信する手法を提案している。

2.3 可視光通信

多くの負荷分散手法は、負荷分散制御のための情報を AP-端末間でやり取りする際、通常のビーコンにデータを付加したり、別途制御用のフレームを使用する。これらの送信にあたってはデータ通信と同じチャネルを用いるため、電波干渉の原因となる他、制御用トラフィックを増加させ、無線 LAN 全体の利用効率の低下を招く。無線電波通信以外で制御情報のやり取りをすれば、上記の問題の影響を低減できる。

電波を使用しない通信方法は様々なものが存在するが、

近年では CMOS センサ等のイメージセンサ技術の向上により可視光通信が注目を集めている。制御用情報のやり取りを、電波通信に影響のない可視光通信を用いて行うシステムが提案されている。筆者らは、光通信によって取得した端末位置を利用して、スマートアンテナの制御を行って無線 LAN での空間多重性を向上させる手法 Flashing Lights and Smart Antenna assisted mobile communication (FLiSA) [3] を提案している。FLiSA では点滅光源を通信端末に付加し、システム全体を見通せる位置に設置したカメラで撮影した動画像から点滅光源を検出して通信端末の位置を特定する。この手法では、撮影画像を分割した領域毎の代表値における時間軸上の変化のスペクトルを解析する事で、光源が存在する領域を特定する。

本稿では、上記の光通信による端末位置取得手法により取得した端末位置を利用し、同一チャネルを使用する AP 間でのマネジメント手法について議論する。

3. 位置情報利用通信 AP 動的変更システムと実環境で運用するための課題

筆者らが過去に提案した位置情報利用通信 AP 動的変更システム [4] では、電波伝播モデルと干渉推定モデルの簡易化や様々な仮定を設けている。したがって、実環境で動作させると頻繁な電波干渉による多量のフレームロスなどの問題が生じる。本章ではまず、位置情報利用通信 AP 動的変更システムのスループット向上のための基本戦略とシステム概要を述べ、その後、同システムを現実的な環境で利用するための課題を述べる。

3.1 スループット向上基本戦略

Wi-Fi 通信では一般的に、端末は RSSI 等に基づいて最寄りの AP を 1 つ選択し通信を行うため、複数の端末が最寄りの AP として同一のものを選ぶ場合がある (図 1(a))。複数の端末が同一の AP を使用して通信を行う場合、それらの端末は同時に通信を行うことができない。一方で、各端末が最寄り以外の異なる AP を使用して互いに干渉することなく通信できる位置関係にあるならば、同時に通信ができるのでスループットを向上できる (図 1(b))。

2 章で述べたように、既存研究ではこのような負荷分散を端末の接続する AP を変更することで行っている。一般的に、端末は 1 つの AP としか接続ができず、一度接続したら他の AP に接続先を変更しない限り、接続した AP を用いて通信を行う。しかし端末の接続する AP を変更するのではなく、通信データの最小単位であるフレームごとに端末の通信する AP の変更を行うことで、刻々と変化するトラフィックに対してその都度最適な負荷分散を行うことができ、より効率的な通信が可能になると考える。例えば、図 1(c) のように端末 1 と端末 2 にフレームを送信する時は AP3 を使用して端末 2 へ送信、図 1(d) のように端末 2

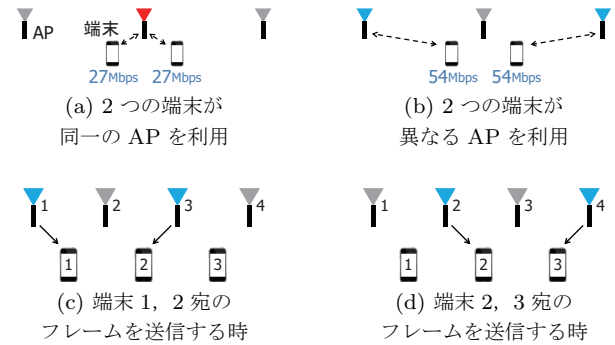


図 1 スループット向上基本戦略

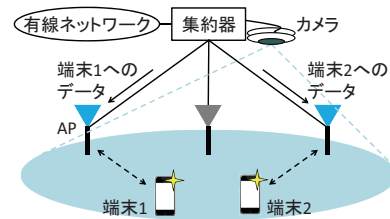


図 2 位置情報に基づく AP 選択システム

と端末 3 にフレームを送信する時は AP2 を使用して端末 2 へ送信、というようにフレーム単位で送信する AP を変更することで、トラフィックに応じた負荷分散制御が可能となる。

以下、本稿では議論を単純にするため、全ての AP が同じチャネルを使用することを前提とする。

3.2 位置情報利用通信 AP 動的変更システム

筆者らは上記のスループット向上方法に着目し、下り方向のフレームに対して同時送信が可能な状況を位置情報から判断し、フレーム送信に使用する AP を適切に変更することで無線 LAN 全体のスループットを向上する手法—位置情報利用通信 AP 動的変更システム—を提案した [4]。このシステムは以下の特徴を持つ。i) 光点滅信号によって、無線電波通信資源を使わないで端末の位置を把握する [3]。ii) 端末の位置、AP の位置、電波の到達範囲の推測に基づいて、互いに干渉しない宛先端末と AP の組み合わせを見つける。iii) 上記 ii) に基づいて、複数の AP から各フレームの送信に使用する AP と送信タイミングを決定する。

3.2.1 システム概要

図 2 に位置情報利用通信 AP 動的変更システムのシステム概要を示す。提案システムでは、複数の AP が集約器を介して有線ネットワークに接続される。有線ネットワークから集約器へ到着する端末宛のフレームは、集約器内の送信バッファに一時的に格納される。集約器は送信バッファから効率よく送信できるフレームの組を選択し、適切な AP を介して端末へ送信する。

集約器はサービス提供エリア全体を見渡せるカメラを備えており、端末に取り付けられた光源が発する光の撮影映像に基づいて端末位置を推定する [3]。集約器は各端末の

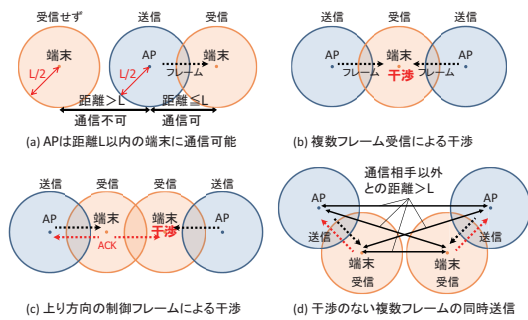


図 3 距離による通信推定と干渉推定

位置に基づいて、各 AP が通信可能な端末と、複数の AP を利用してフレーム送信を同時に行う場合の干渉関係を推定する。集約器は AP や端末間の干渉を避け、より多くのフレームを同時に送信するように、フレームと AP を選択して送信する。端末の通信方式は IEEE 802.11 DCF を用いることを想定している。

3.2.2 位置情報に基づいた通信可否の推定と干渉の推定

集約器は各 AP と通信可能な端末、複数のフレームを同時に端末へ送信した際の干渉関係を、以下のモデルを用いて推定する。

あるノードがフレームを送信した際、その位置から通信可能最大距離 L 以内に存在するノードはそのフレームを受信する (図 3(a))。あるノードがフレームを受信中に、他のノードが送信するフレームを受信した場合、得べきフレームを正しく復号できない (図 3(b))。また、受信ノードが送信ノードへ送信する ACK も干渉を引き起こす (図 3(c))。従って、AP から端末への通信に注目すると、ある AP からの通信によって、別の AP から端末へのフレーム送信とそれに対する端末から AP への ACK 送信に対して、干渉が起きなければ複数の AP から同時にフレーム送信が可能となる (図 3(d))。またその逆の端末から AP への通信も同様である。

集約器はこのモデルに従い、ある端末と AP 間の通信において、端末と AP の各位置から距離 L 以内に通信相手以外の通信端末か通信 AP が存在する場合、干渉が発生すると推定する。集約器は、干渉が発生しない組み合わせを、同時通信が可能と判断する。

3.2.3 フレーム送信スケジューリング

スケジューラはフレームとそれに対する ACK 両方が干渉せず通信できるように、送信フレームと送信に使用する AP をスケジュールする。

集約器は、接続された全ての AP のフレーム送信が終了すると、前述した干渉推定処理を行い、同時に送信しても干渉しない複数のフレームを、アルゴリズムに従って選択される AP へ転送する。送信したフレーム全てが、AP から端末へ送信されると、集約器は再度フレームを選び AP へ送信する。ACK が返って来なかったフレームは未送信フレームと同じ条件で再度送信される。

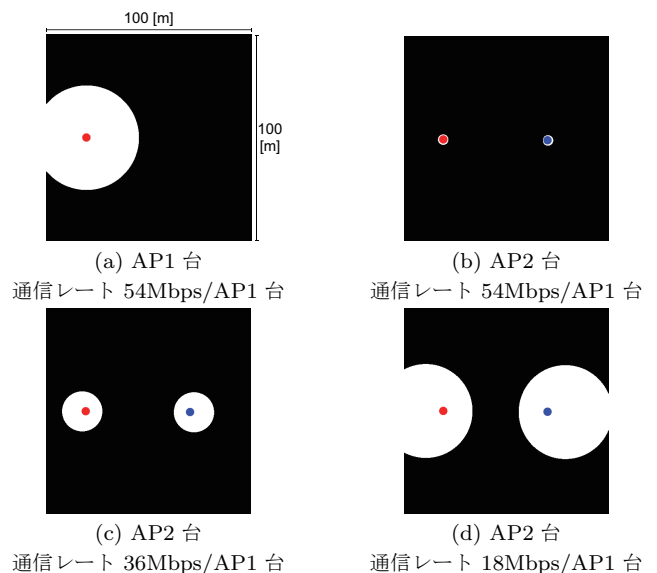


図 4 複数 AP の同時通信時の通信可能エリア
(フレームロス 10% 以下)

表 1 フレームロス率 10% となる SINR しきい値

rate [Mbps]	SINR [dB]	Modulation	Coding Rate
54	25.97	64-QAM	3/4
36	14.54	16-QAM	3/4
18	8.25	QPSK	3/4

表 2 パラメータ

通信周波数	送信電力	フレームサイズ	AP 間距離
2.4 GHz	10 dBm	1024 Bytes	50 m

3.3 実環境で運用するための課題

筆者らの過去の提案 [4] では、議論を単純にするため様々な仮定をした上で手法の提案と評価を行った。それら仮定を取り除き現実に近い環境を想定すると、提案手法では様々な問題が生じる。本章では、提案手法を現実的な環境で利用するための課題を述べる。

3.3.1 楽観的な干渉推定

提案手法では通信可能距離をある一定の長さで定義し、AP と端末間距離がそれよりも短ければ電波が到達し、長ければ電波が到達しないという非常に単純なユニットディスクモデルを用いている。同時通信の可能性の推定は、干渉波が存在するかないかでのみ推定している。現実では電波は徐々に減衰し、また通信が成功する確率は目的の電波に対する干渉波の比に依存するため、提案手法のモデルとは大きく異なる。

そこで電波伝播がより現実的で通信可否が SINR によって決まるモデルを使用し、通信可能範囲を計算し視覚化した (図 4)。図の白い部分が通信可能エリアで、その内部に存在する赤または青の丸が AP である。白いエリア内に存在する端末はそのエリア内の AP と通信が可能である。フレームロス率が 10% 以下の時を通信可能としている。各 AP の位置を電波発信源とし各座標での SINR を求め、あらかじめ Qualnet[9] を用いて算出した各通信レートにお

るフレームロス率が 10% となる SINR (表 1) と比較することで、通信可能かどうかを判定した。電波伝播には 2 波モデルを用いた。各パラメータは表 2 の通りである。

提案手法では通信している AP が何台存在しようが通信可能エリアに変化は無いが、現実環境下では通信 AP が増えるほど通信可能エリアは小さくなる (図 4(a), (b))。そのため、提案手法を現実環境で用いると、フレームロスが頻発し、同時送信の機会がほとんど生まれずスループットが向上しない事が予想される。フレームロスを減らし同時送信フレーム数を向上させるためには、通信レートを下げれば良い。通信レートを下げると干渉波やノイズに強くなり、通信可能エリアが広がるため、同時送信フレーム数が増える反面、通信レート低下による単一リンク上のスループットが低下する (図 4(c), (d))。そのため、無線 LAN 全体のスループットが向上するよう、同時送信フレームとその通信レートを決定する手法が必要である。またそのための、より現実的な電波伝播モデルによる干渉推定、及び、同時通信の可能性の判定が必要である。

3.3.2 異なる通信レートによる通信利用率の低下

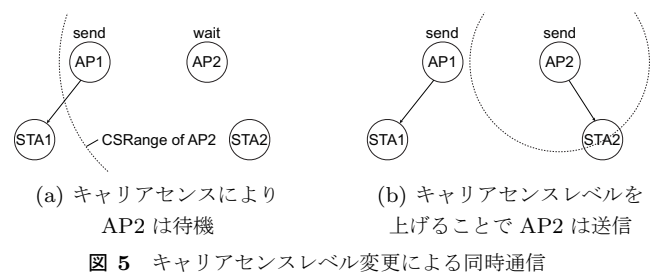
過去の提案では、端末-AP 間の通信レートが一定という前提で議論したが、実際は端末の位置や環境によって最大通信レートが異なる。提案手法では、一回のスケジュールで各 AP に最大 1 つのフレームが割り当てられる。各端末-AP 間の通信レートが異なる場合、一回のスケジュールにおいて、通信レートの高い AP は通信が早く終了し、通信レートの低い AP の通信が終了するまで何もせず待機する。この待機時間によって通信利用率が低下してしまう。そのため、通信レートを考慮したスケジューリング手法が必要である。

3.3.3 バックオフによるスケジュールのずれ

本システムは、既存端末でも使用可能とするため、システムで使用する AP の通信方式は CSMA/CA としている。CSMA/CA では、通信したい端末や AP はキャリアセンスを行い、他に通信者が存在しない場合ランダム時間待ち (バックオフ)、その間も通信する他者が存在しなければ通信を開始する。集約器が同時に送信したフレームが複数の AP に同時に到着しても、バックオフは各 AP がランダムに設定するため、フレームを同時に受け取った複数の AP が同時に送信を開始するとは限らない。簡単な解決法としては、集約器の配下の AP のランダムな待ち時間を、AP 間で同一の値にする方法が考えられる。しかし、無線 LAN 全体のスループット低下や通信端末の公平性が保たれない恐れがあるため、それらを考慮した対策が必要である。

3.3.4 上りトラフィックによるスケジュールのずれ

上り方向のトラフィックが発生した場合、その通信によって AP の下り方向のフレーム送信がスケジュールした時刻より遅れる場合がある。そのような場合、同時に送信されるはずのフレームが時間的にずれて送信される。その



ような現象が発生した場合に、集約器が柔軟にフレームのスケジュールを変更するような機構が必要である。

4. 光を利用した無線 LAN 効率的利用のための戦略

無線電波通信とは異なる光を用いて補助的な情報通信を行い、それを無線電波通信の管理に利用することで、無線 LAN の通信効率向上が期待できる。本章では、光通信によって送信する具体的な情報と戦略を述べる。

● 位置情報に基づくキャリアセンスレベル制御

無線 LAN では AP・端末ともに通信前にキャリアセンス (CS) を行い、キャリアがアイドルである場合通信を行い、それ以外は待機する。キャリアがアイドルかどうかの推定は、あらかじめ設定された値 (CS レベル) よりも受信信号強度が強いかどうかで行う。この CS レベルを光通信によって得た端末位置情報に基づいて動的に制御することでスループットが向上する可能性がある。例えば、図 5(a) のように、AP1 が既に通信を行っており、AP2 が AP1 の発する信号によってキャリアが使用されていると判断し待機している場合を考える。もし、AP2 が送信を始めると、AP1 と AP2 の送信するフレームが正しく宛先端末に受信される位置関係であるのならば、図 5(b) のように AP2 の CS レベルを通信が可能なレベルまで上げることで、フレームが同時に送信され全体スループットが向上する。

● 位置情報に基づく通信レート制御

既存の通信レート制御手法には、宛先端末の受信 SINR の推定に基づいて適した通信レート選択する手法 [10] が多く存在する。宛先端末の受信 SINR の推定は、送信端末が宛先端末からフレームを受信した際の受信電波強度や、プローブパケットを用いて得た宛先端末の SINR を用いて行われる。光信号によって端末位置が推定できれば、宛先端末に到達する電波の強度を推定することができ、また複数の電波発生源があった場合の宛先端末における SINR の推定もできる (図 6)。これにより、宛先端末と一切の通信をせずに適切な通信レートがわかるため、レート制御のためのトラフィックや不適切な通信レートでのフレーム送信によるフレームロスが発生しないため、より効率的な通信が可能になる。

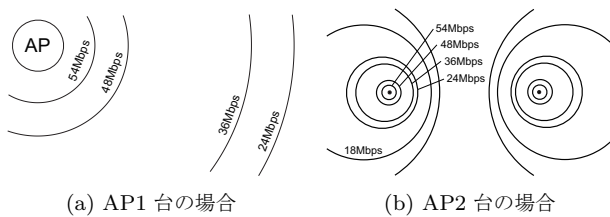


図 6 距離による宛先端末の通信可能レート推定

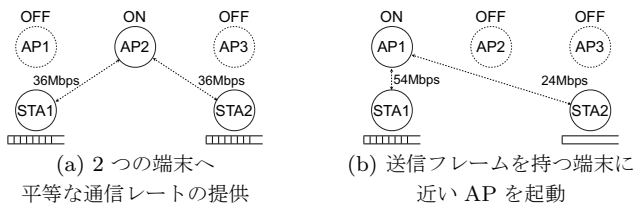


図 7 端末保有送信フレーム数に基づく
 起動 AP 変更による QoS 制御

● 端末位置に基づく AP のスリープ制御

超多数の AP の設置は、導入と維持共にコストが高い。光通信によってリアルタイムに端末の位置がわかれば、端末の存在しないエリアでは AP をスリープさせることで、待機電力を削減できる。また端末位置に基づいて、常に端末付近の AP を起動しておくため、移動端末に対して高品質な通信リンクを提供し続けることが可能である。

● 光による端末情報の通知

端末の位置以外にも、端末自身の現在の状況を光を用いてリアルタイムで取得することができれば、様々な通信制御への応用が考えられる。例えば、前述した通信レート制御では位置情報を用いる案を示したが、端末が点滅光を用いて現在受信している電波強度も示せば、さらに正確な推定が行える。他にも端末の送信バッファのキューの長さを示すことで QoS 制御への利用も考えられる。図 7(a) では、STA1 と STA2 は同じ数の送信待ちフレームをバッファに保持しているため、ネットワーク側は両端末と等距離に存在する AP を起動することで、平等なリンク品質を与えている。しかし、図 7(b) のように STA2 のバッファが空の場合、送信待ちフレームを保持している STA1 に優先的に高品質なリンクを与えるようネットワーク側が起動している AP を切り替えることで、ネットワーク全体のスループットが向上する。

5. まとめ

本稿では、同一チャネルで通信する AP が高密度に存在する環境を想定し、複数の AP の協調制御による無線 LAN 全体の通信容量向上手法について議論した。まず、過去に筆者らが提案した複数 AP の協調制御を行うシステムと、同システムを実環境下で利用するための問題点・改善策について述べた。同システムは、i) 光点滅信号によって、無

線電波通信資源を使わないで端末の位置を把握 [3], ii) 端末の位置, AP の位置, 電波の到達範囲の推測に基づいて、互いに干渉しない宛先端末と AP の組み合わせの発見, iii) 上記 ii) に基づいて、複数の AP から各フレームの送信に使用する AP と送信タイミングの決定を行う。実環境下での利用には現実的な電波伝播モデルに基づく干渉推定が必要である。さらに、上りトラフィックの発生を考慮し再送処理やフレーム送信処理をより柔軟に行えるよう改善する必要がある。

次に、無線電波通信とは異なる光通信を複数 AP の協調制御に利用する新たな戦略について議論した。光によって AP 側で取得した端末位置情報に基づく、AP のキャリアセンスレベルや通信レート、スリープ制御や、端末の送信待ちフレーム数に基づく通信レート優先制御について述べた。今後はこれらの案が実現可能かを、条件を限定した上で実証していきたい。また光により通知される情報の誤差や、それが各通信制御に与える影響の調査も必要である。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究 A「超多端末モバイルを支える無線資源極限利用アーキテクチャの実証的基礎研究(課題番号 24240009)」の助成によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] Zhu Y., Niu Z., Zhang Q., et al.: A Multi-AP Architecture for High-Density WLANs: Protocol Design and Experimental Evaluation, *Proc. SECON '08*, pp.28-36 (2008).
- [2] Shrivastava V., Ahmed N., Rayanchu S., et al.: CENTAUR: realizing the full potential of centralized wlangs through a hybrid data path, *Proc. MobiCom 2009*, pp.297-308 (2009)
- [3] 石川晃平, 石原進: 点滅光を利用した指向性無線通信システムのための点滅光源検出手法の基礎評価, *DICOMO2012 シンポジウム論文集*, pp. 1986-1994 (2012).
- [4] 伊藤, 他: 光信号による端末位置検出と複数 AP の協調による無線 LAN のスループット向上手法の基礎評価, *DICOMO2013 シンポジウム論文集*, pp. 1626-1633 (2013).
- [5] Kumar A. and Kumar V.: Optimal Association of Stations and APs in an IEEE 802.11 WLAN, *Proc. National Conference on Communications (NCC)*, pp.1-5 (2005).
- [6] Bejerano Y., Han S.-J. and Li L. E.: Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Associatino Control, *Proc. Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol.15, No. 3, pp.560-573 (2007).
- [7] Gong H., Nahm K. and Kim J. W.: Distributed Fair Access Point Selection for Multi-Rate IEEE 802.11 WLANs, *Proc. CCNC 2008*, pp.528-532 (2008).
- [8] Kasbekar G. S., Nuggehalli P. and Kuri J.: Online Client-AP Association in WLANs, *Proc. WiOPT 2006*, pp.1-8 (2006).
- [9] Qualnet: <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet> (accessed 2013-11-25)
- [10] Zhou, Z., Zhu, Y., Niu, Z. and Zhu, J.: Joint tuning of physical carrier sensing, power and rate in high-density WLAN, *Proc. APCC 2007*, pp.131-134 (2007).