

# 端末位置情報とフレーム単位での AP 選択的利用による 無線 LAN スループット向上手法の基礎評価

伊藤 達哉<sup>1</sup> 村上 航大<sup>1</sup> 石原 進<sup>1</sup>

**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。本稿では、過去に提案した単一チャ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 [4] の改善と詳細なシミュレーション評価を行った。提案手法では AP を管理/制御する集約器を導入し、全ての AP は集約器を通してネットワークに接続される。また集約器は可視光通信によって端末の位置を取得し、その位置情報を用いて単一チャネル上で電波干渉を受けず同時にエラーなく通信可能な AP の組み合わせを導出する。集約器はこの結果に基づき、より多くのフレームが同時に通信されるよう下り方向のフレームのスケジューリングを行う。シミュレーション評価により、提案手法は一般的な無線 LAN に比べ 10% 程度スループットが向上することを示した。

**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 が同一のチャネルを用いて近くで通信を行うと高いスループットを得ることは困難であるが、そのような AP 同士のチャネルが異なるように設定することで干渉を回避し通信容量を向上できる。しかしチャ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

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

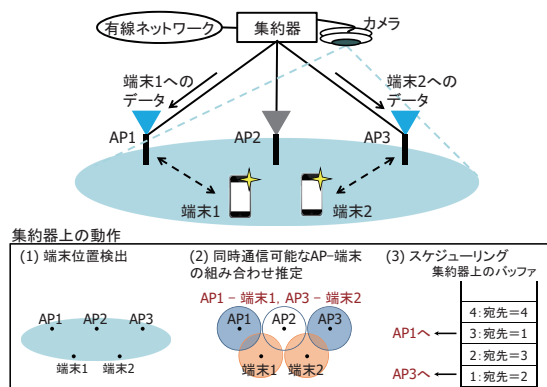


図 1 位置情報利用通信 AP 動的変更システム

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では、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] を提案した。本稿では、この手法について改善と詳細なシミュレーション評価を行った。提案システム (図 1) では、端末へフレームを送信する際に使用する AP を変更できるように、複数の AP を集約して制御する装置 (以下、集約器) を導入する。集約器は下り方向の端末宛のフレームを端末へ送信する際に、送信に使用する AP を配下の AP の中から選択して使用する。集約器はカメラを、端末は光源を備えており、カメラで端末が発する光を撮影することで集約器は端末の位置を取得する [3]。端末や AP の位置に基づき、干渉が起きない範囲でより多くのフレームを同時に送信することでスループットの向上を図る。

以下、第 2 章で関連研究について述べた後、第 3 章では位置情報利用通信 AP 動的変更システムの詳細を述べる。4 章では同システムのシミュレーションによる基礎評価について述べる。5 章でシステムの問題点と改善案について述べ 6 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に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 間での負荷分散手法を改めてのべ、詳細なシミュレーション評価について示す。

## 3. 位置情報利用通信 AP 動的変更システム

本章ではまず、[4] で提案した位置情報利用通信 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を説明する。その後、システム構成を述べ、その重要構成要素で

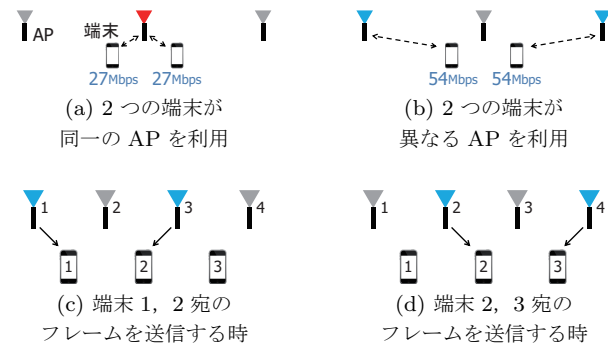


図 2 スループット向上基本戦略

ある集約器による位置情報に基づいた干渉関係推定と、その結果に基づくフレーム送信スケジューリングの手法について述べる。

### 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 2(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 2(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 2(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 2(d) のように端末 2 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

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—を提案する。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。これにより、検査フレーム等のトラフィックを生じずに、負荷分散および同時通信フレーム数の増加を行え、スループット向上が期待できる。

### 3.2.1 システム概要

図 3 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の有無を、電波伝搬モデルと位置情報から計算した SINR を利用して推定する。ノードが発した電波は電波伝搬モデルにしたがって減衰し他のノードに到達する。電波を受信したノードは、SINR (所望波・ノイズ・干渉波の比) の値が、あらかじめ設定した閾値を上回れば正しくフレームを受信できる。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、SINR が閾値を下回ると得べきフレームを正しく復号できない。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。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

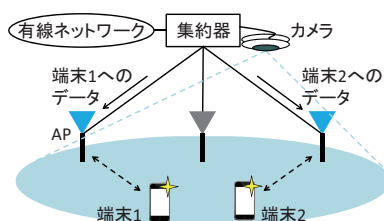


図 3 位置情報に基づく AP 選択システム

ら AP への ACK 送信に対して、干渉が起きなければそれから複数のフレームの同時通信が可能となる。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 SINR が閾値より小さくなるような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。実際には端末側から AP 方向への通信 (上り) が発生するが、本稿ではまず実現の容易な AP から端末への通信 (下り) のみの場合について議論する。5 章で上りの通信を含む場合の実現手法について考察する。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、後述のアルゴリズムに従って選択された 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 が帰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。

### 3.2.4 送信フレーム・送信 AP 選択アルゴリズム

集約器上のバッファから送信フレームを選択する方針としてまず考えられるのは、到着した順序で送信フレームを選択し端末へ送信していく方法である。しかし、必ずしも干渉せずに同時に送信できるフレームが連続して到着するとは限らない。そこで、より高いスループットを得るために、より多くのフレームが同時に送信できるようにフレームを優先的に選択するアルゴリズムを考える。しかし、この方法では同時送信が困難な位置に存在する端末を宛先として持つフレームが、いつまでも送信されずにバッファに残ってしまう恐れがある。そのため、最も早く到着したフレームの到着時刻から一定時間内に到着したフレームを送信候補とし、その候補の中で同時送信可能な送信フレームを選択することで、この問題を回避する。以後この一定時間を、送信候補選択期間と呼ぶ。

筆者らは [4] でフレームを選択するアルゴリズムを 3 つ提案しているが、本稿では、送信フレームの選択アルゴリズムとして到着順序優先法を用いる。このアルゴリズムは集約器への到着順序が早いフレームを優先して選択するという基本的なアルゴリズムである。

### 3.2.5 AP のランダムバックオフの無効化

IEEE 802.11DCF ではランダムバックオフにより、各 AP ごとにランダムな待ち時間を設定しフレームの送信開始タイミングをずらすことで、同時送信による電波干渉を回避している。しかし、提案手法では同時に送信しても干渉が起きないスケジュールを行うため、この機能は必要が



ない。また、同時送信によるスループット向上の恩恵を得るためには、この機能が邪魔である。そのため、AP についてはランダムなバックオフを行わず、AP の通信前の待ち時間を常に一定に設定する。Shrivastava らの手法 [2] を参考にし、待ち時間は使用する物理層の Contention Window (CW)  $mim$  の半分の値とする。待ち時間を 0 にしない理由は、0 にすると下りトラフィックが尽きない限り、端末が上り通信をしようとしても通信することができないためである。なぜなら、端末はランダムバックオフを行いランダムな時間待機するため、一切待ち時間のない AP に通信権を独占されてしまうためである。また、下りトラフィックに関しては、集約器のスケジュールによって干渉が発生しないため、待ち時間は小さくても問題ない。なお、本稿での評価では、下り方向のトラフィックのみが発生する前提で評価する。

#### 4. シミュレーション評価

提案手法を用いる場合と、一般的な無線 LAN を想定した場合について、シミュレーションを行いスループットを比較し、提案手法を評価した。電波伝搬モデルには、Two-Ray Ground Reflection Model を使用した。

##### 4.1 シミュレーションシナリオ

50m × 50m の正方形の部屋にランダムに合計 225 台の端末を配置する。AP は格子状に均一に設置、また、AP の個数を 1~225 個の間で変化させる (図 4)。AP と端末を設置する高さはそれぞれ 2.5m と 1.5m とした。サーバからランダムな端末へ平均負荷が 540Mbps になるよう 1500bytes のフレームを送信する。AP と端末間の通信には IEEE 802.11a/g を用い通信レートは 54Mbps 固定とする。オートレート制御は行わない。提案手法では干渉を推定する際、あらかじめ設定した SINR の閾値を利用する。閾値は、フレームを送信した際にフレームロス率が 10% となる SINR の値を設定した。また、提案手法はフレームをロスした際に再送を行わないものとする。一般的な無線 LAN を想定したシナリオでは、AP の設置密度が高密度な場合と低密度な場合それぞれに適した、大小 2 通りのキャリアセンス閾値を用いてシミュレーションを行った。その他のパラメータは表 1 に従う。ネットワークシミュレータには Qualnet 5.1[9] を用い 10 パターンのシミュレーションを行った。この Qualnet には [11] に従い、シミュレータ上の IEEE 802.11 DCF に修正を加えている。

##### 4.2 シミュレーションの結果と考察

図 5 に AP が各個数の時の無線 LAN 全体の平均スループットを示す。提案手法では AP 数が増加すればするほどスループットが向上していることがわかる。AP の低密度な設置に適した設定の無線 LAN (以下、低密度設定の無線

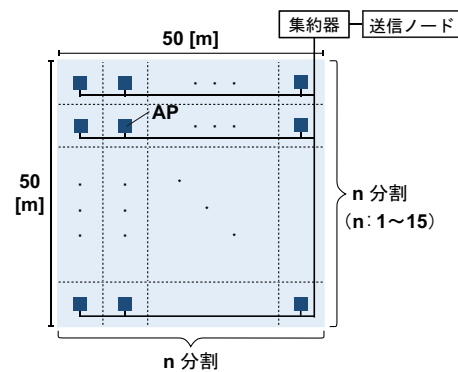


図 4 シミュレーションシナリオ

表 1 シミュレーションパラメータ

通信周波数	2.4 [GHz]
送信電力	10 [dBm]
キャリアセンス閾値	-87, -65 [dBm]
固定バックオフ値	7 [slot]
SINR 閾値	25.63 [dB]
送信候補選択期間	10 [ms]

LAN) では、AP 数が 1 台から 9 台にかけてスループットが減少している。これは、高密度な AP 設置が、多数のフレームロスを引き起こしたことが原因と考えられる。9 台以降は AP が増加するに従って微量ではあるがスループットが増加している。これは AP が高密度に存在するにしたがって、各端末のより近くに AP が存在する確率が高くなり、各端末の SINR が向上し通信品質が向上したためと予想できる。一方、AP の高密度な設置に適した設定の無線 LAN (以下、高密度設定の無線 LAN) では、AP 数が AP 数が 1 台から 9 台にかけて急激にスループットが減少している。これは、各 AP が互いに隠れ端末の関係にあり、フレームロスが頻発したためと考えられる。9 台以降はスループットが向上し、AP が 100 台程度で 50Mbps を達成している。提案手法を用いた場合、AP を高密度に設置しても安定して高いスループットを得ることができた。しかし、AP の設置密度に対して、キャリアセンス閾値を適切に設定した無線 LAN のスループットと比較すると、提案手法のほうが下回る結果となった。

図 6 に各端末のスループットの公平性の平均を示す。提案手法は高い公平性で通信が行えていることがわかる。これは 3.2.4 で示した、公平な送信フレームの選択機能により、達成できている。一方、低密度設定の無線 LAN や高密度設定の無線 LAN では、公平性が低い。これは、端末をランダムに設置したため、同一の AP を共有する端末数のばらつきが原因で、各端末のスループットの差を産んだと予想できる。提案手法を用いることで、端末に対してより公平性の高い通信を提供できる結果となった。

今後は、AP の設置密度によって適切にキャリアセンス閾値を調節する手法 [10] などとの、比較評価が必要である。

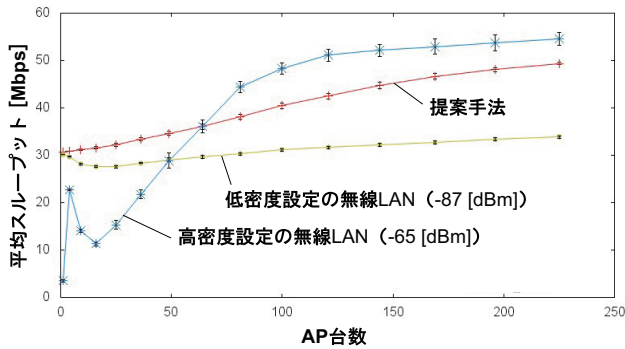


図 5 無線 LAN 全体の平均スループット

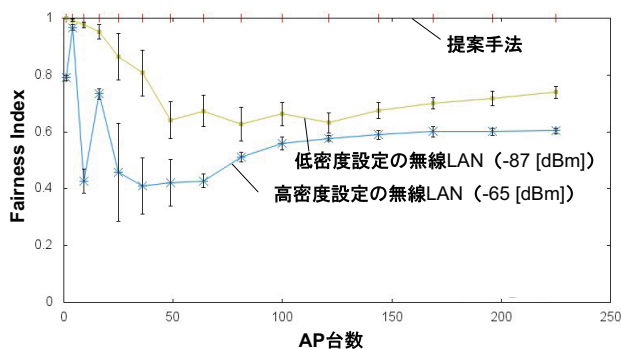


図 6 各端末のスループットの公平性 (Jain's Fairness Index)

## 5. 実環境で運用するための課題

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。

### 5.1 通信レートの動的変更

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。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。

### 5.2 異なる通信レートの利用による通信利用率の低下

本稿では、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、一回のスケジューリングで各 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、一回のスケジューリングにおいて、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。

### 5.3 複数の AP の送信タイミングの同期

提案手法のように複数の AP が同時に通信を行うためには、互いにキャリアセンスすることのない精度の同時通信が必要である。そのため、集約器と AP それぞれの時刻の同期が必須である。

### 5.4 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。

### 5.5 Two-Ray Ground Reflection Model による評価

提案手法は屋内での利用を想定している。屋内のような障害物が多く存在する環境では、電波の反射が多く起きるため本稿で利用した Two-Ray Ground Reflection Model のような地面の反射波のみを考慮したモデルによるシミュレーションの結果は、実環境の結果と大きく異なると予想される。したがって高精度な電波伝搬モデルを使用したシミュレーション評価、あるいは実装による実環境評価が必要である。

## 6. まとめ

本稿では、光信号を利用した端末位置検出と複数 AP の協調によって無線 LAN 全体のスループットを向上するシステム、位置情報利用通信 AP 動的変更システムを提案した。本システムは、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。提案手法の評価をシミュレーション結果に基づいて行い、単一チャネルを使用する複数の AP が存在し、下りのトラフィックのみが存在する状況において、各端末が最も近い AP を選択する一般的な無線 LAN と比べ平均スループットが高くなることを確認できた。同一チャネルを使用する AP が高密度に設置され AP 間干渉が多発するような環境でも、提案手法では高いスループットを得ることが期待できる。

今後は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。

## 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).
- [11] 財団法人機会システム振興協会.: 安全運転支援システムの通信系シミュレータに関するフィージビリティスタディ報告書, (2009)