

A-006

# 局所探索を用いた集中型アクセスポイント選択アルゴリズム

## A centralized local search algorithm for access point selection in wireless LAN

中村 允彦†  
Masahiko Nakamura

藤原 暁宏‡  
Akihiro Fujiwara

### 1. はじめに

無線 LAN においては、資源を有効に利用するために、各無線ステーション (STA) が無線アクセスポイント (AP) をどの様に選択するかという手法が多く研究されている。しかし、この AP 選択において、最適なスループットを求める問題は計算量の多い問題であり、STA 数が増加すると最適なスループットを求めることは困難である。本研究では、従来の手法である MLT[1] に加えて、最適化手法の 1 つである局所探索を用いることにより、最適に近いスループットを実現する集中型 AP 選択アルゴリズムを提案する。また、提案アルゴリズムについての実験的評価を行い、既存の AP 選択アルゴリズムとの比較を行う。

### 2. 準備

#### 2.1 スループットモデル

AP が複数存在する無線 LAN 網において、無線資源を有効かつ公平に利用するためには、STA は AP ごとに期待できるスループット  $\Phi$  を事前に予測する必要がある。そこで、文献 [1] では、一般の無線 LAN 環境において、STA が AP に接続した場合のスループットは式 (1) で求められることが示されている。ここで、以下では、STA の集合を  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{m-1}\}$ 、AP の集合は  $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{n-1}\}$  と定義し、 $t_T$  はデータサイズが  $Data [bits]$  のパケットを受信するときに要する時間、 $P_{i,j}$  は  $STAs_i$  と  $APa_j$  ( $0 \leq i \leq m-1$ ,  $0 \leq j \leq n-1$ ) 間の電波状況 (パケットエラーレート, PER: Packet Error Rate) を表す。また、 $N_j$  は  $APa_j$  に接続している STA の数を表しており、スループットは AP への STA の接続台数に反比例することがわかる。

$$\Phi = \frac{Data \cdot (1 - P_{i,j})}{t_T \cdot N_j} \quad (1)$$

#### 2.2 MLT (Maximizing Local Throughput)

ここでは、提案アルゴリズムの暫定解を求めるために用いた分散型 AP 選択手法である MLT (Maximizing Local Throughput) [1] について簡単に説明を行う。

MLT では、各 STA が最も高いスループットを期待できる AP を選択する。そのため、事前に全 AP に対してスループットを予測しなければならない。式 (1) のうち STA がどの AP に接続したとしても  $t_T$  および  $Data$  は同じであるため、 $STAs_i$  が  $APa_j$  に接続したとき、期待できるスループットは式 (2) で表される重み関数  $W_{i,j}$  の値に依存する。

$$W_{i,j} = \frac{1 - P_{i,j}}{N_j} \quad (2)$$

MLT による  $STAs_i$  の AP 選択は以下の 3 ステップで実行される。

**Step 1:** 各  $STAs_i$  ( $0 \leq i \leq n-1$ ) について、各  $APa_j$  に対して、 $W_{i,j}$  を計算する。

**Step 2:** 各 STA において、 $W_{max} = \max\{W_{i,j} \mid 0 \leq j \leq n-1\}$  を計算する。

**Step 3:** 各  $STAs_i$  は、 $W_{max} = W_{i,j}$  となる  $APa_j$  に対して  $STAs_i$  は接続を行う。

### 2.3 スループット定義

**平均スループット:** 平均スループット  $T_{avg}$  は、アクセスポイント選択問題の出力より式 (3) で定義される。

$$T_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{Data \cdot (1 - P_{i,j})}{t_{Data} \cdot N_j} \quad (3)$$

**最小スループット:** 最小スループット  $T_{min}$  は、アクセスポイント選択問題の出力より式 (4) で定義される。

$$T_{min} = \min \left\{ \frac{Data \cdot (1 - P_{i,j})}{t_{Data} \cdot N_j} \mid 0 \leq i \leq n-1 \right\} \quad (4)$$

### 3. 提案アルゴリズム

#### 3.1 局所探索を用いた AP 選択アルゴリズム

本節では、局所探索を用いた AP 選択アルゴリズムの概要を示す。局所探索とは、なんらかの方法で得られた可能解  $M$  を暫定解とし、この暫定解に対して、その近傍  $N(M)$  (暫定解に変更を加えることによって得られる解の集合) を定義し、 $N(M)$  中の可能解の中で  $M$  より良い目的関数値を持つ解があれば、その解を  $M$  に代入していく方法である。本アルゴリズムでの近傍  $N(M)$  は、STA の集合  $S$  から  $k$  個の STA を選択し、それらの接続先 AP を変更することで得られる解の集合とする。また、目的関数値は、全 STA の平均スループット、および、全 STA 中の最小スループットであるとする。ここで、 $k$  の数に応じて局所探索の種類を  $k$ -OPT と定義する。

次に、アルゴリズムで用いる局所探索の方法を示す。まず、既存の AP 選択手法である MLT を用いて、暫定解を求める。この暫定解は AP 選択問題の定義より、STA と AP の対  $(s_0, a_{j_0}), (s_1, a_{j_1}), \dots, (s_{m-1}, a_{j_{m-1}})$  により構成されている。次に、 $m$  個の STA の中から  $k$  個の STA を選択する。この選択した接続先 AP については、全解探索を行う。この全解探索において、暫定解より良い解が得られれば、暫定解を更新する。この作業を新たな暫定解が得られなくなるまで繰り返すことにより局所探索を実行する。

以下に局所探索を用いたアルゴリズムの詳細を示す。**局所探索を用いた AP 選択アルゴリズム**

**入力:**  $m$  台の STA の集合  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{m-1}\}$ 、および、 $n$  台の AP の集合  $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{n-1}\}$ 。また、各  $s_i$  と  $a_j$  間のパケットエラーレートを表す変数  $P_{i,j}$  ( $0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$ )、および、 $k$ -OPT の近傍の個数を表す値  $k$  ( $1 \leq k \leq m$ )。

**出力:** STA と AP の  $m$  個の対からなる組み合わせ  $(s_0, a_{j_0}), (s_1, a_{j_1}), \dots, (s_{m-1}, a_{j_{m-1}})$ 。

**Step 1:** MLT により暫定解  $M$  を求め、 $M$  より  $T_{avg}$ 、または、 $T_{min}$  を計算し、 $M$  の目的スループット  $T$  を得る。

†九州工業大学大学院 情報工学研究科 情報システム専攻  
‡九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科

**Step 2:**  $M$  の中から  $k$  個の STA を選択する。(組み合わせの個数は  $\frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-k)}{k!}$  である。) その選択の全組み合わせに対して、以下の作業を行う。

**Step 2.1:** 選択した各 STA の接続先 AP を  $APa_j$  ( $0 \leq j < n-1$ ) とすることにより、 $n^k$  種類の組み合わせが得られる。その全組み合わせに対して、以下の作業を行う。

**Step 2.1.1:**  $k$  個の STA の接続 AP 決定後、全 STA に対し  $W_{i,j}$  を計算する。

**Step 2.1.2:**  $w = T_{avg}$ , または、 $w = T_{min}$  を計算する。

**Step 2.1.3:**  $w$  と暫定解  $T$  を比較し、 $w > T$  ならば、 $T = w$  とし、また、この時の STA と接続先 AP の対を  $M$  に代入し、暫定解を更新する。

**Step 3:** 暫定解が更新されなければ終了し、更新されれば、Step 2 に戻る。

ここで、STA=4, AP=2,  $k=2$  の場合の AP 選択問題の例を以下に示す。MLT により暫定解  $M = \{(s_0, a_{10}), (s_1, a_{11}), (s_2, a_{02}), (s_3, a_{13})\}$  が得られたとし、目的スループット  $T$  が得られたとする。 $k=2$  より、 $M$  の中から 2 個の STA を選択する。まず、STA  $\{s_0, s_1\}$  を選択し、それぞれの接続先 AP の全組み合わせ  $\{(s_0, a_0), (s_1, a_0)\}, \{(s_0, a_0), (s_1, a_1)\}, \{(s_0, a_1), (s_1, a_0)\}, \{(s_0, a_1), (s_1, a_1)\}$  のそれぞれの場合に対し、そのときの目的スループットを計算する。この値が  $T$  より大きければ、この値を  $T$  に代入し、その時の STA とその接続先 AP の対を  $M$  に代入し、更新する。もし、計算した目的スループットが  $T$  と等しい、もしくは、小さければ、更新しない。そして、 $M$  の中から 2 個を選択する残りの全組み合わせ  $\{s_0, s_2\}, \{s_0, s_3\}, \{s_1, s_2\}, \{s_1, s_3\}, \{s_2, s_3\}$  のそれぞれに対して、以上の作業を行う。さらに、これらの作業を 1 サイクルとして、暫定解が更新されなくなるまで繰り返す。

#### 4. 実験

本研究では、提案手法である局所探索を用いたアルゴリズムを、C 言語と MPI を用いてクラスタ処理環境に並列プログラムとして実装し、従来手法である MLT との比較を行った。

##### 4.1 シミュレーション方法

提案 AP 選択機構の評価方法として、シミュレーションモデルについて説明する。本実験では、図 1 のように AP を設置し、図 1 のエリア 1 に STA をランダムに 100 通りの配置を用意し、両アルゴリズムを適用した。また、MLT は、STA の接続 AP を決定する順番を 100000 通り用意し、さらに、各順序組み合わせにおいて、定常状態にするためローミングを 10 回行い、各順序組み合わせに対する解の中で、最も目的スループットが高い解を出力するよう実装した。STA 数は 20 台と 40 台で、提案アルゴリズムにおいて平均スループットを最適化する場合と最小スループットを最適化する場合について、局所探索を用いてスループットの最大化を行った。この実験結果に対して、全 STA の平均スループット、全 STA 中の最小スループットを用いて提案アルゴリズムの有効性の評価、及び、MLT で得られた解との比較を行った。ただし、STA は配置後、位置を移動しないものとした。

##### 4.2 実験結果および考察

図 2, 3 に局所探索を用いた AP 選択アルゴリズムの実験結果の一部を示す。図 2 により表される平均スループットについては、局所探索を用いて MLT より更により解が得られた。一方、図 3 により表される最小スループットについては、それほど解の改善を行うことはできなかった。この結果により、最小スループットについては、MLT により最適解に近い解が既に得られているものと考えられる。

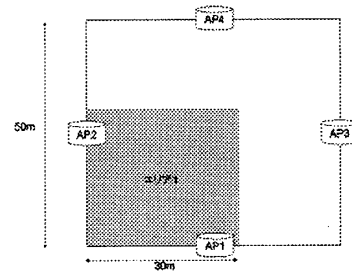


図 1: AP の配置イメージ

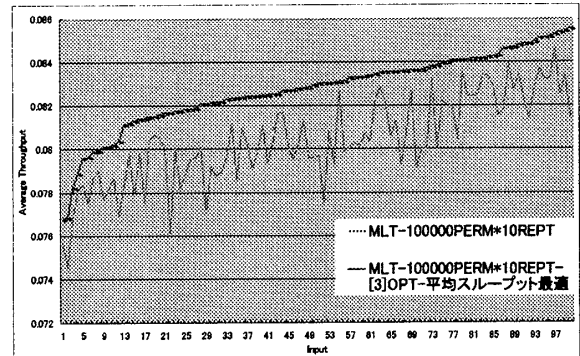


図 2: 平均スループット (STA=40, AP=4)

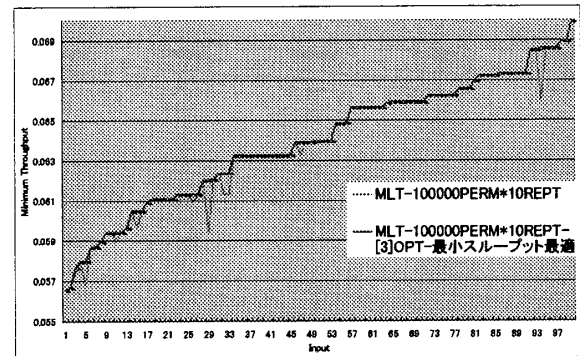


図 3: 最小スループット (STA=40, AP=4)

プットについては、それほど解の改善を行うことはできなかった。この結果により、最小スループットについては、MLT により最適解に近い解が既に得られているものと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、無線 LAN 環境における集中型 AP 手法に関する提案と考察を行なった。今後の課題としては、局所探索の初期解として用いるアルゴリズムとして、より平均スループット最適化に適したアルゴリズムやより最小スループット最適化に適したアルゴリズム等を用いることなどが挙げられる。

#### 参考文献

[1] 阿部貴充, 福田豊, 尾家祐二. Wireless LAN におけるアクセスポイント選択方式の提案をその評価. 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. NS2002-272, IN2002-245, pp. 73-78, 2003.