

最小スループット制御を行うアクセスポイント選択手法

中村 允彦 藤原 暁宏
九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科

概要：本研究では、既存の手法をもとに、無線 LAN 環境における最小スループットを制御するアクセスポイント選択手法として、2つの分散型アクセスポイント選択手法を提案する。1つ目は、スループットに閾値を設け、その値を下回らないように STA 全体の平均スループットを最大化を行うことを目指す CMT(Controlled Minimum Throughput) という手法であり、2つ目は、既存の手法である RSS(Received Signal Strength) を改良し、最小スループットを極端に低下させることなく平均スループットの最大化を目指す IRSS(Improved RSS) という手法である。また、既存手法との比較実験により、1つ目の提案手法については、最小スループットに関してある程度の保証が実現できることを示し、2つ目の提案手法については、既存手法の欠点である最小スループットの極端な低下を回避しながら、平均スループットの増加が実現できることを示す。

Access point selection algorithms with the minimum throughput control

Masahiko Nakamura, Akihiro Fujiwara
Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract: In this paper, we propose two distributed access point selection algorithms that control the minimum throughput of stations. The first algorithm, which is called CMT (Controlled Minimum Throughput), is proposed for controlling the trade-off between the minimum throughput and the average throughput of stations. The second algorithm, which is called IRSS (Improved RSS), is an algorithm based on the common access point selection algorithms, which is called RSS (Received Signal Strength). The algorithm is proposed for avoiding rapid decrease of the minimum throughput, which is often caused by RSS. The experimental results show that the first algorithm achieves some kind of assurances for the minimum throughput. The results of the second algorithm also show that the proposed algorithm achieves increase of the average throughput with avoiding rapid decrease of the minimum throughput.

1 はじめに

近年、IEEE 802.11 に基づいた無線 LAN 技術が広く普及し、次世代のコミュニケーションインフラとして期待されている。この無線 LAN の利用形態には、個々の無線ステーション (STA) が直接通信し合うアドホックモードと、無線 LAN アクセスポイント (AP) を介した通信を行うインフラストラクチャーモードがあるが、現在は、主にインフラストラクチャーモードでの利用が一般的である。このインフラストラクチャーモードでは、AP に接続する STA 数が増加するに伴って、各 STA のスループットが大きく低下することが分かっている [1]。したがって、今後の需要の拡大により、1つの AP に収容すべき STA 数が増加した場合には、無線 LAN 網内に複数台の AP を設置する必要がある。

しかしながら、AP が複数台存在する無線 LAN 網において、各 STA が無線状況のみを指標として接続先の AP を選択すると、STA の配置が1つの AP の周辺に集中している場合は、各 AP の接続 STA 数が偏り、無線資源を有効かつ公平に利用できなくなる。この問題を解消するために、各 STA が AP をどの様に選択するかというアク

セスポイント選択問題に関する手法が多く研究されている [1, 4, 5, 6, 7]。

アクセスポイント選択手法においては、集中型と分散型の2種類のアプローチが存在する。前者は、STA がある指示に従ってアクセスポイント選択を行い、後者は、各 STA が自律的にアクセスポイント選択を行う手法である。集中型のアクセスポイント選択手法としては、局所探索法を用いたアクセスポイント選択手法 [4]、遺伝的アルゴリズムを用いたアクセスポイント選択手法 [5]、及び、マッチングアルゴリズムを用いたアクセスポイント選択手法 [7] などが提案されている。また、分散型アクセスポイント選択手法としては、MLT(Maximizing Local Throughput)[1]、MTT(Maximizing Total Throughput)[6]、IMT(Increasing Minimum Throughput)[6] などが提案されている。

しかしながら、近年のインターネットにおいては、VoIP(Voice over IP)に代表されるような、帯域保証を必要とするアプリケーションが増加している。このようなアプリケーションを無線 LAN 環境で使用するためには、各 STA の最小スループットに対して、最低限の保証を行う必要があり、その上で、各スループットの最大化を目指す必要

がある。

そこで本研究では、既存の手法をもとに、最小スループットを制御するアクセスポイント選択手法として、2つの分散型アクセスポイント選択アルゴリズムを提案する。1つ目は、スループットに閾値を設け、その値を下回らないようにSTA全体の平均スループットを最大化を行うことを目指すCMT(Controlled Minimum Throughput)という手法である。本手法は、設定したスループットを保証し、かつ、平均スループットの最大化を行うという目的のために、各STAは、各APにおける最小スループットが閾値よりも大きくなり、かつ、各APにおける総スループットがより高くなるAPへ接続を行うというアイデアを用いた手法である。

2つ目は、既存の手法であるRSS(Received Signal Strength)を用いて、最小スループットを極端に低下させることなく平均スループットの最大化を目指すIRSS(Improved RSS)という手法である。本手法は、最小スループットを極端に低下させることなく平均スループットを最大化するという目的のために、まずRSSで接続を決定し、以降は、接続を切り替える直前に接続していたAPとのスループットを閾値とし、スループットが閾値以上で、かつ、各APの総スループットがより高くなるAPへ接続を行うというアイデアを用いた手法である。

また、これら2つの提案手法について、計算機による検証実験を行い、既存手法との比較を行う。実験結果より、1つ目の提案手法については、最小スループットに関してある程度の保証が実現できることを示す。また、2つ目の提案手法については、既存手法の欠点である最小スループットの極端な低下を回避しながら、平均スループットの増加が実現できることを示す。

2 準備

2.1 スループットモデル

本節では本研究で用いるスループットモデルについて説明する。まず、STAの集合を $S=\{s_0, s_1, \dots, s_{m-1}\}$ 、APの集合を $A=\{a_0, a_1, \dots, a_{n-1}\}$ と定義する。次に、STA s_i とAP a_j ($0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$) に対して、パケットエラーレート (PER: Packet Error Rate) $P_{i,j}$ を定義する。パケットエラーレート $P_{i,j}$ は、STA s_i とAP a_j 間の電波強度を表し、テストパケット送信時のエラー率である。したがって、パケットエラーレートが高い場合、電波強度が弱いということを表し、 $0 \leq P_{i,j} \leq 1$ である。

このパケットエラーレートを用いて、文献[1]では、IEEE802.11 MAC機構[3]に従い、STA s_i がAP a_j に接続した場合のスループット $\theta_{i,j}$ は、式(1)で表されるということを示している。ここで、 t_T はデータサイズが $Data[\text{bits}]$ のパケットを受信するとき要する時間、 $P_{i,j}$ はSTA s_i とAP a_j ($0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$)間のパケットエラーレートを表す。また、 N_j はAP a_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。

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

ここで、 t_T と $Data$ は無線LAN環境に応じて一定であるので、式(1)は以下の式(2)のように書き換えることができる。

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

ここで、 α は、無線LAN環境に応じて一定であるので、スループット $\theta_{i,j}$ は、 $\frac{1 - P_{i,j}}{N_j}$ を計算することで、求めることができる。

また、本研究では、無線LAN環境において、以下に示す条件を満たすものと仮定する。

- 各STAは、すべてのAPに対するパケットエラーレートの値を知っている
- 各APは、自身に接続しているSTAの台数、及び、パケットエラーレートの値を知っている。また、それらの値から、各APは、自身に接続しているSTAにおける総スループット、及び、最大パケットエラーレートを計算できる
- 各APは、自身に接続しているSTAの台数、自身に接続しているSTAにおける総スループット、及び、最大パケットエラーレートという3つの値を各STAに送信することができる。つまり、各STAはこの3つの値を知っているものとする。

2.2 アクセスポイント選択問題および各スループットの定義

本論文でのアクセスポイント選択問題は以下の様に定義される。

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 $P_{i,j}$ ($0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$)。

出力: STAとAPの対からなる m 個の組み合わせ $(s_0, a_{j_0}), (s_1, a_{j_1}), \dots, (s_{m-1}, a_{j_{m-1}})$ ただし、 a_{j_i} は s_i の接続先APを表す。

これらより、 s_i と a_j 間のスループットを θ_i とすると、 θ_i は以下の式で表される。ただし、 α は正の定数である。

$$\theta_i = \alpha \times \frac{1 - P_{i,j_i}}{N_{j_i}}$$

また、この式より以下の様なスループットが定義される。

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以下の式で定義される.

$$T_{avg} = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \theta_i = \frac{\alpha}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \frac{1 - P_{i,j_i}}{N_{j_i}}$$

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以下の式で定義される.

$$\begin{aligned} T_{min} &= \min\{\theta_i \mid 0 \leq i \leq m-1\} \\ &= \min \left\{ \alpha \times \frac{1 - P_{i,j_i}}{N_{i,j_i}} \mid 0 \leq i \leq m-1 \right\} \end{aligned}$$

2.3 既存の分散型アクセスポイント選択手法

本節では, 前述のアクセスポイント選択問題に対する, 既存の分散型アクセスポイント選択手法を4つ紹介するとともに, 集中型アクセスポイント選択手法を1つ紹介する.

RSS:

RSS[2]では, 各STAは受信電波強度によってAPを選択する. したがって, STA s_i のRSSによるアクセスポイント選択は, 以下の方法で実行される.

Step 1: 各AP a_j ($0 \leq j \leq m-1$) に対して, 受信電波強度 $r_{ss_j} = 1 - P_{i,j}$ を計算する.

Step 2: $r_{ss_{j_i}} = \max\{r_{ss_j} \mid 0 \leq j \leq m-1\}$ となるAP a_{j_i} に対して接続する.

MLT:

MLT[1]では, 各STAは最も高いスループットを期待できるAPを接続対象とする. そのため, 各STAは式(2)に基づき, 期待できるスループットを予測する. このとき, 式(2)において, STAがどのAPを接続したとしても α は同じであるため, STA s_i がAP a_j に接続したとき, 期待できるスループットは式(3)で表される重み関数 mlt_j の値に依存する.

$$mlt_j = \frac{1 - P_{i,j}}{N_j} \quad (3)$$

この式(3)により表される重みを用いて, MLTによるSTA s_i のアクセスポイント選択は以下の3ステップで実行される.

Step 1: 各AP a_j ($0 \leq j \leq m-1$) から N_j を受け取る.

Step 2: 各AP a_j ($0 \leq j \leq m-1$) に対して, mlt_j を計算する.

Step 3: $mlt_{j_i} = \max\{mlt_j \mid 0 \leq j \leq m-1\}$ となるAP a_{j_i} に接続する.

MTT:

MTT[6]では以下の戦略にもとづき全STAの平均スループットを増加させる様にアクセスポイント選択を行う. まず, STA s_i がAP a_j に接続していないと仮定する. このとき, AP a_j のSTA接続台数を N_{j-1} とし, S_j をAP a_j に接続しているSTAの集合とすると, AP a_j の総スループットは, 以下の式(4)で表すことができる.

$$\Theta_j = \frac{\sum_{s_k \in S_j} (1 - P_{k,j})}{N_j} \quad (4)$$

次にSTA s_i がAP a_j に接続した時のAP a_j の総スループットを考えると, 総スループットは以下の式(5)で与えられる.

$$\frac{\Theta_j \times N_j + (1 - P_{i,j})}{N_j + 1} \quad (5)$$

したがって, 式(4), 及び, 式(5)より, STA s_i がAP a_j に接続することにより増加するスループットは, 式(6)で定義される mtt_j により求めることができる.

$$\begin{aligned} mtt_j &= \frac{\Theta_j \times N_j + (1 - P_{i,j})}{N_j + 1} - \Theta_j \\ &= \frac{(1 - P_{i,j}) - \Theta_j}{N_j + 1} \end{aligned} \quad (6)$$

この式(6)により表される重みを用いて, MTTによる, STA s_i のアクセスポイント選択は以下の3ステップで実行される.

Step 1: 各AP a_j ($0 \leq j \leq m-1$) から, N_j と Θ_j を受け取る.

Step 2: 各AP a_j ($0 \leq j \leq m-1$) に対して, mtt_j を計算する.

Step 3: $mtt_{j_i} = \max\{mtt_j \mid 0 \leq j \leq m-1\}$ となるAP a_{j_i} に接続を行う.

IMT:

IMT[6]では以下の戦略に基づき全STAの最小スループットを増加させる様にアクセスポイント選択を行う. まず, AP a_j に接続しているSTAにおける最大の packets error rate を P_{max_j} とし, S_j をAP a_j に接続しているSTAの集合とすると, P_{max_j} は以下の式(7)で表される.

$$P_{max_j} = \max\{P_{k,j} \mid s_k \in S_j\} \quad (7)$$

これより, STA s_i がAP a_j に接続した場合の最小スループットは以下の式で定義される imt_j により求めることができる.

$$imt_j = \frac{1 - P_{max_j}}{N_j} \quad (8)$$

式(8)より表される重みを用いて、IMTによる各STA s_i のアクセスポイント選択は以下の3ステップで実行される。

Step 1: 各AP $a_j (0 \leq j \leq n-1)$ から、 N_j と P_{max_j} を受け取る。

Step 2: 各AP $a_j (0 \leq j \leq n-1)$ に対して、 imt_j を計算する。

Step 3: $imt_{j_i} = \max\{imt_j \mid 0 \leq j \leq n-1\}$ となるAP a_{j_i} に接続を行う。

局所探索:

局所探索を用いたアクセスポイント選択手法 [4] は、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アクセスポイント選択手法である。以下に、局所探索を用いたアクセスポイント選択手法の概要を示す。

まず、既存のアクセスポイント選択手法であるMLTを用いて、暫定解を求める。この暫定解はアクセスポイント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STAの接続先APについては、他のAPに接続した場合について全解探索を行う。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。

以下に最小スループットを最大化する場合の局所探索を用いたアルゴリズムの詳細を示す。アルゴリズムは、以下の3ステップで構成されている。

Step 1: MLTを用いて暫定解 M を求め、 M より最小スループット T_{min} を計算する。

Step 2: 暫定解 M の中から k 個のSTAを選択し、そのSTAの接続先APを変更することにより得られる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AP $a_j (0 \leq j \leq n-1)$ とし、その全組み合わせに対して、以下の作業を行う。

Step 2.1.1: 現在のSTAとAPの組に対して、最小スループット T'_{min} を計算する。

Step 2.1.2: T_{min} と T'_{min} を比較し、 $T'_{min} > T_{min}$ ならば、 $T_{min} = T'_{min}$ とするとともに、この時のSTAと接続先APの対を暫定解 M とする。

Step 3: 暫定解が更新されなければ終了し、そうでなければ、Step 2にもどる。

3 最小スループットに制限を設けたアクセスポイント選択手法

本章では、各STAの最小スループットに対して下限を設け、そのスループット以下にならないように接続を行うことを目的とするアクセスポイント選択手法を提案する。ここでは、この手法をCMT(Controlled Minimum Throughput)と呼び、以下では、アルゴリズムの詳細を示すと共に、既知のアルゴリズムとの比較検証を行う。

3.1 アルゴリズム

CMTは、事前に設定した最小スループットを保証し、かつ、平均スループットを最大化することを目的とする。このCMTは、基本的にはMTTの接続方法を用いて、平均スループットを増加させるという考え方に基づいている。しかしながら、MTTは最小スループットの大きな低下を引き起こすという欠点がある [6]。そこで、CMTでは最小スループットの閾値を設定し、MTTでの接続で得られる最小スループットが設定した閾値を下回る場合は、MTTではなくMLTで接続を行うという方針を用いる。

このアイデアを、もう少し詳しく説明すると、CMTでは上記の戦略に基づき事前に設定したスループットを保証し、かつ、平均スループットの最大化を行う。以下に、CMTで用いられる重み関数を示すが、これらはどれも既存のアクセスポイント選択手法で用いられている指標である。

$$mlt_j = \frac{1 - P_{i,j}}{N_j} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} mtt_j &= \frac{\Theta_j \times N_j + (1 - P_{i,j})}{N_j + 1} - \Theta_j \\ &= \frac{(1 - P_{i,j}) - \Theta_j}{N_j + 1} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{ただし、} \Theta_j = \frac{\sum_{s_k \in S_j} (1 - P_{k,j})}{N_j}$$

$$imt_j = \frac{1 - P_{max_j}}{N_j} \quad (11)$$

$$\text{ただし、} P_{max_j} = \max\{P_{k,j} \mid s_k \in S_j\}$$

以下にCMTの概要を示す。ここでは、保証する最小スループットの閾値を $minT$ と仮定する。まず、MTTでのアクセスポイント選択を考え、式(10)より、STA s_i が各APに接続した場合と接続しない場合の総スループットの差を計算する。また、IMTに基づき、式(11)より、STA s_i が各APに接続した場合の各APにおける最小スループットを計算する。

次に、これらの値を用いて、最小スループットが $minT$ より高く、総スループットがより低下し

ない AP に接続を行う。ただし、接続順序や STA の配置によっては、どの AP に接続しても、上記の条件を満たす接続が得られない場合がある。そこで、このような場合には、MLT と同様に式 (9) により得られる重みが最も高い AP へ接続を行う。以下に各 STA s_i で実行される CMT の詳細を示す。

Step 1 : 各 AP $a_j (0 \leq j \leq n-1)$ に対して、 mlt_j, mtt_j, imt_j を計算する。

Step 2 : 以下のアクセスポイントの集合 A_j を計算する。

$$A_j = \{a_j \mid \min T \leq imt_j\}$$

Step 3 : 集合 A_j に基づき、以下のように接続を行う。

($A_j \neq \phi$ の場合)
以下の式により、 cmt_j を計算し、 $cmt_j = mtt_j$ となる AP a_j に対して接続を行う。

$$cmt_j = \max\{mtt_j \mid a_j \in A_j\}$$

($A_j = \phi$ の場合)
以下の式により、 cmt_j を計算し、 $cmt_j = mlt_j$ となる AP a_j に対して接続を行う。

$$cmt_j = \max\{mlt_j \mid 0 \leq j \leq n-1\}$$

3.2 評価実験

本研究では、提案した CMT を、C 言語を用いて実装した。また、既存の手法である RSS, MLT, MTT, IMT, 及び、集中型のアクセスポイント選択手法である局所探索を用いたアルゴリズムも併せて実装した。次に、これらのアルゴリズムを以下に示す環境において実行し、各スループットの比較、及び、考察を行った。

まず提案アクセスポイント選択手法の評価方法として、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 2 つのネットワークモデルを用意し、それぞれ (a) をモデル 1、(b) をモデル 2 と呼ぶ。また、それぞれのモデルにおいて、灰色のエリアに STA をランダムに配置させ、これを 100 通り用意し、それぞれについて各アルゴリズムを適用する。また、各アルゴリズムにおいて、STA の接続 AP を決定する順番を順列組合せとして 10000 通り用意し、さらに、各順列組合せにおいて、定常状態にするためローミングを 10 回実行する。なお、STA 数はいずれの実験でも 40 台とした。

この 10000 個の実験結果に対して、全順列組合せ中、平均スループット、及び、最小スループットの平均、最良、及び、最悪の場合の値を用いて各アルゴリズムの有効性の評価を行った。ただし、STA は配置後、位置を移動しないものとし、各 AP の性能は同一とした。

次に、CMT、及び、既存の手法の実験結果をそれぞれ示し、それらについて考察を行う。CMT に

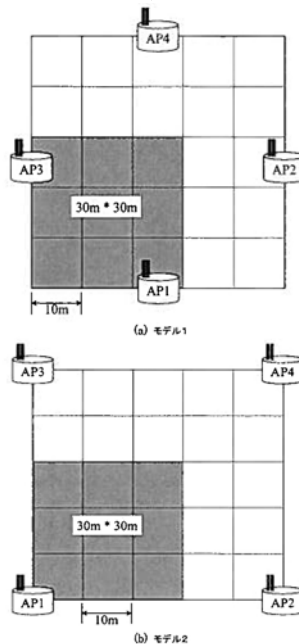


図 1: AP の配置

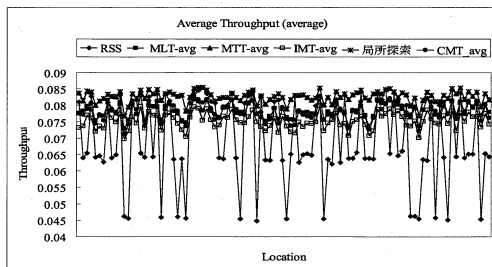
ついては、最小スループットの閾値である $\min T$ の値をいくつか設定して実験を行ったが、効果の分かりやすい値を用いて説明を行う。また、各実験結果のグラフは、各アルゴリズムにより得られる平均スループット、及び、最小スループットを表しており、グラフの縦軸は平均スループット、または、最小スループット、横軸は STA の配置パターンの番号を表している。また、各図の (a), (b), 及び、(c) は、それぞれ順列組み合わせ 10000 通りの平均、最良、及び、最悪の場合を示している。ただし、RSS と局所探索を用いたアクセスポイント選択アルゴリズムの結果は、平均、最良、最悪の場合において、すべて同一である。

モデル 1

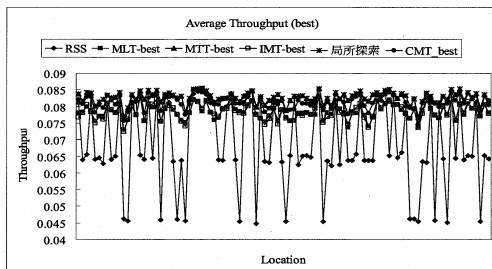
図 2、及び、図 3 は、シミュレーションモデル 1 における各アクセスポイント選択手法の平均スループット、及び、最小スループットの値を表している。CMT においては、 $\min T$ をあらかじめ設定しなければならぬが、予備実験の結果から、ここでは、 $\min T = 0.05$ としている。

図 3 より、ほとんどの場合において、CMT により得られる最小スループットは、設定した $\min T$ の値を上回っていることから、CMT による最小スループット制御ができていているといえる。ただし、図 2 より、最悪の場合、CMT の平均スループットは、MLT と比較するとかなり低下しているが、平均の場合は、MLT とあまり差はないことから、平均スループットが低下してしまう場合は少ないと考えられる。

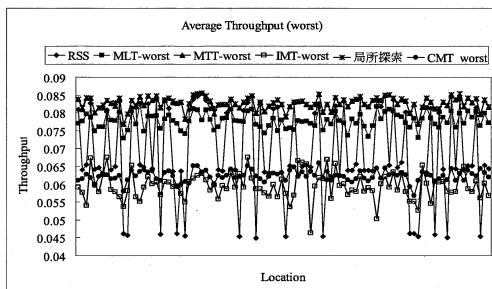
なお、最小スループットに関しては、MLT は、安定して高い値を示している。また、MTT は、平



(a)



(b)



(c)

図 2: CMT 及び既知の手法による平均スループット (モデル 1)

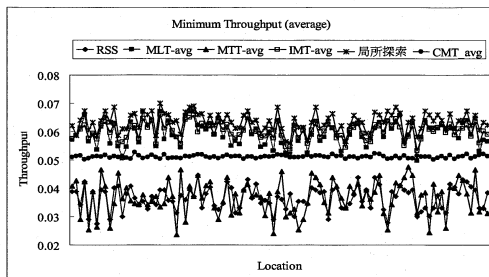
均スループットにおいて、分散型としては最も高い値を示しているが、IMT は最悪の場合、平均スループット、及び、最小スループットがともに低下してしまう。

モデル 2

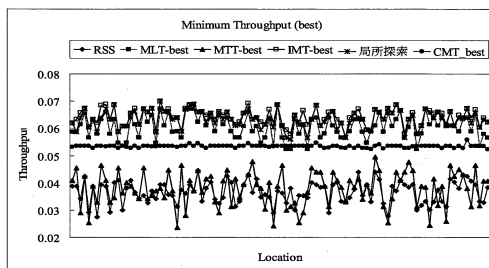
モデル 2 は、灰色のエリアに AP が 1 台しかなく、より大きな偏りが生じる。CMT において、 $minT$ の値は、予備実験の結果から、ここでは $minT = 0.03$ としている。

モデル 2 については実験結果のグラフを省略するが、モデル 1 の場合と同様に、CMT により得られる最小スループットは、ほとんどの場合において、 $minT$ の値を上回っており、CMT による最小スループット制御ができていているといえる。

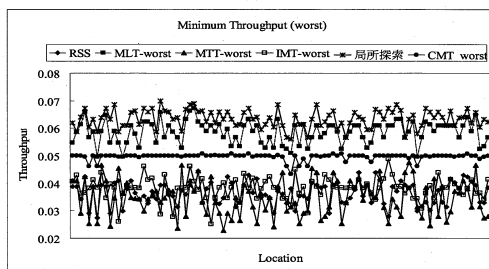
なお、MTT の最小スループットにおいて最悪の場合、最小スループットの値がほとんど 0 となっており、これは MTT の欠点であると考えられる。



(a)



(b)



(c)

図 3: CMT 及び既知の手法による最小スループット (モデル 1)

4 最小スループット増加機能を備えたアクセスポイント選択手法

前章で提案した CMT では、あらかじめ設定した閾値をもとに、最小スループットを制御できることを示した。しかし、この閾値を設定するには、事前に様々な環境において適切な最小スループットの値を調査しなければならない。これは、ある特定の環境においては有効であるが、広範囲にわたる無線 LAN 環境においては、非常に困難である。そこで、本章では、各 STA の最小スループットが、従来の接続手法である RSS を下回らないという条件の下に、平均スループットを増加させることを目的とするアクセスポイント選択手法を提案する。ここでは、この手法を IRSS(Improved RSS) と呼び、アルゴリズムの説明、及び、既知のアルゴリズムとの比較検証を行う。

4.1 アルゴリズム

IRSSでは、RSSをもとに、最小スループットを低下させることなく、平均スループットを増加させることを目的とする。ここで、前章でMTTにおける最小スループットの低下の問題を指摘したが、この問題においては、CMTでは閾値を設定することで解決を図っている。しかしながら、一般的な無線LAN環境において、適切な閾値を動的に求めることは困難である。

そこで、IRSSでは、RSSが最小スループットは他の手法に比べて低いが安定しているという点と、接続が接続順序に関係なく一意に決定されるという点を利用し、RSSで接続を決定した状態から、平均スループットの最大化に優れているMTTを用いて閾値を動的に決定し、直前に接続していたAP間のスループットを下回らないように接続を決定するというアイデアを用いる。

以下に、IRSSで用いられる重み関数を示すが、これらはどれも既存のアクセスポイント選択手法で用いられた指標である。

$$rss_j = 1 - P_{i,j} \quad (12)$$

$$mlt_j = \frac{1 - P_{i,j}}{N_j} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} mtt_j &= \frac{\Theta_j \times N_j + (1 - P_{i,j})}{N_j + 1} - \Theta_j \\ &= \frac{(1 - P_{i,j}) - \Theta_j}{N_j + 1} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\text{ただし, } \Theta_j = \frac{\sum_{s_k \in S_j} (1 - P_{k,j})}{N_j}$$

以下にIRSSの概要を示す。まず、STA s_i が未接続の場合、RSSと同様に受信電波強度によりAPを選択する。STA s_i が既にいずれかのAPに接続している場合、現在接続しているAPへの重みを式(13)により計算し、その重みを閾値 TH とおく。言い換えると、MLTによるスループットの値を動的な閾値に設定している。加えて、MTTでアクセスポイント選択を考え、式(14)より、STA s_i が各APに接続した場合と接続しない場合の総スループットの差を計算する。これらの値を用いて、各 mlt_j が TH 以上で、かつ、総スループットがより低下しないAPへ接続を行う。以下に各STA s_i で実行されるIRSSの詳細を示す。

Step 1: 各AP $a_j (0 \leq j \leq n-1)$ に対して、 rss_j, mlt_j, mtt_j を計算する。

Step 2: STA s_i の接続状況に応じて、以下のように接続を行う。

(STA s_i が未接続の場合)

以下の式を満たすAP a_{j_i} に対して接続を行う。

$$rss_{j_i} = \max\{rss_j \mid 0 \leq j \leq n-1\}$$

(STA s_i が接続済の場合)

現在接続しているAP a_j に対して mlt_j を計算し、 $TH = mlt_j$ とおく。

次に、以下の式より、 $irss_j$ を計算し、 $irss_j = mtt_j$ となるAP a_j に対して接続を行う。

$$\begin{aligned} irss_j & \\ &= \max\{mtt_j \mid TH \leq mlt_j, 0 \leq j \leq n-1\} \end{aligned}$$

4.2 評価実験

本節では、IRSS、及び、既存の手法の実験結果をそれぞれ示し、それらについて考察を行う。実験方法、及び、評価方法はCMTの場合と同様である。

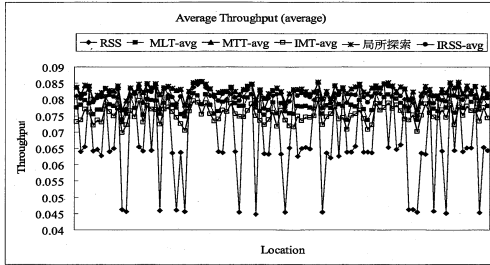
図4、及び、図5は、シミュレーションモデル1における各アクセスポイント選択手法の平均スループット、及び、最小スループットの値を示している。図5からわかるように、提案アルゴリズムの最小スループットは、他のアルゴリズムと比較してそれほど高い値ではないが、極端に低下することはない。また、図4より、平均スループットにおいて最も高い値を示すMTTと比べ、平均、及び、最悪の場合には、IRSSの結果は若干低い値を示すが、MLTとの比較では、ほとんど場合において安定してより高い値を示している。

モデル2については実験結果のグラフを省略するが、IRSSの結果は、モデル1の結果と類似しており、最も高い値を示すMTTと比べると、平均スループットは若干低い値を示すが、安定して高い値を示すことがわかる。IRSSの最小スループットは、他のアルゴリズムと比較してそれほど高い値ではないが、極端に低下することはない。

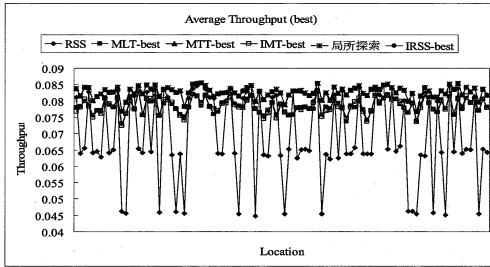
5 まとめ

本研究では、以下の2つの分散型アクセスポイント選択アルゴリズムを提案した。まず、1つ目の提案手法は、スループットに閾値を設け、その値を下回らないように各STA全体の平均スループットを最大化を行うCMTであり、2つ目の提案手法は、既存の手法であるRSSを用いて、最小スループットを極端に低下させることなく平均スループットを最大化を行うIRSSである。また、これら2つの提案手法について、シミュレーション実験を行い、1つ目の提案手法では、最小スループットの保証を実現できることを示し、また、2つ目の提案手法では、既存の手法において改善すべき点である最小スループットの極端な低下を避け、平均スループットを最大化することができることを示した。

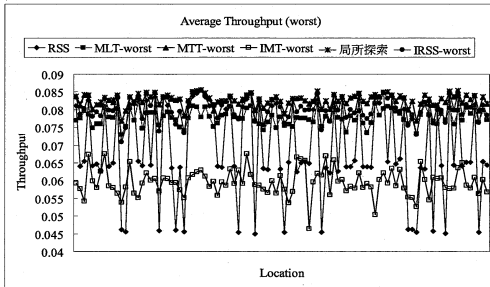
今後の課題としては、今回用いたシミュレーションモデルではなく、より実環境に近いモデルにおいても十分に適用できるようなアルゴリズムの提案、及び、本研究で用いているスループットモデルでのパラメータだけではなく、より詳しい無線LAN環境におけるパラメータの採用等が挙げられる。



(a)

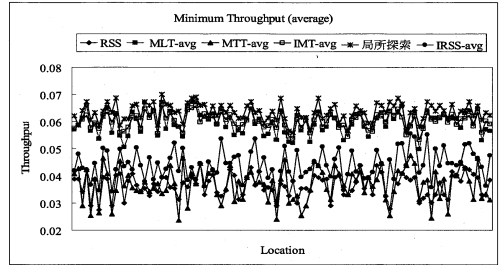


(b)

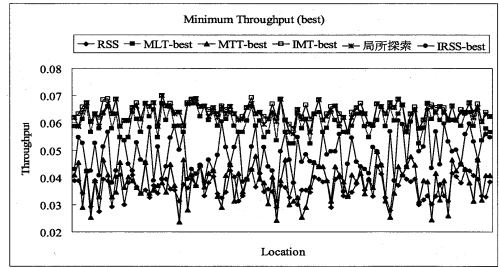


(c)

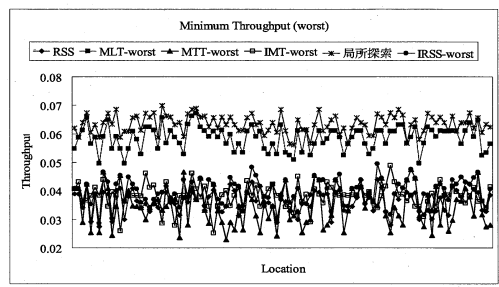
図 4: IRSS 及び既知の手法による平均スループット (モデル 1)



(a)



(b)



(c)

図 5: IRSS 及び既知の手法による最小スループット (モデル 1)

参考文献

- [1] Y. Fukuda, T. Abe, and Y. Oie. Decentralized access point selection architecture for wireless LANs. *Wireless Telecommunications Symposium*, 2004.
- [2] Matthew S. Gasr. *802.11 Wireless Networks; The Definitive Guide*. O'REILLY, 2002.
- [3] IEEE. Information technology. *Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN medium access control MAC and physical layer PHI specification*, Vol. IEEE Standard 802.11, , 1999.

- [4] 中村允彦. 無線 LAN 環境における集中型アクセスポイント選択手法に関する研究. 九州工業大学大学院卒業論文, 2005.
- [5] 伊豆田慎. 無線 LAN 環境における遺伝的アクセスポイント選択手法に関する研究. 九州工業大学大学院修士論文, 2006.
- [6] 伊豆田慎, ミツ汐圭. 重み付けを用いた分散型アクセスポイント選択アルゴリズム. 情報科学技術フォーラム (FIT), 2005.
- [7] 稲光翔. 無線 LAN 環境におけるマッチングアルゴリズムを用いた集中型アクセスポイント選択手法に関する研究. 九州工業大学大学院修士論文, 2006.