

コンシューマ・システム論文

# 複数の無線通信サービスが混在した環境における使用アプリケーションを考慮した基地局割り当て手法

亀田 栄一<sup>1,a)</sup> 篠宮 紀彦<sup>1,b)</sup>

**概要:** LTE が普及し、回線速度が向上している一方で、アプリケーションが必要とするデータ通信量も増加しているため、今後、公衆 WiFi サービスの利用率は高まると考えられる。しかし、公衆 WiFi 基地局の処理負荷およびネットワークトラフィック負荷の増加により、RTT (ラウンドトリップタイム) は長くなる可能性がある。一方、ユーザが使用しているアプリケーションによって、必要とされる RTT は異なる。そこで、使用しているアプリケーションが必要とする RTT と、端末がある基地局に接続した時、実際に得られる RTT との差を RTT ギャップと定義する。本研究では、複数の端末が接続先のサービスを決定する問題をグラフ理論によって定式化し、ハンガリアン法を活用した接続先決定ロジックにより、使用しているアプリケーションが要求する RTT を考慮し、システム全体として RTT ギャップを低減する手法を提案する。

**キーワード:** WiFi サービス, ラウンドトリップタイム, 割り当て問題

## A station assignment method considering applications being used in a mixed environment of different wireless communication services

KAMEDA EIICHI<sup>1,a)</sup> NORIHIKO SHINOMIYA<sup>1,b)</sup>

**Abstract:** While the LTE has been in widespread use and the line speed for data communications has also been improved, the exploding data traffic that evolving applications require is thought to increase the utilization factor of public WiFi services from now on. The round trip time (RTT), however, might become longer for reasons of throughput degradation on a public WiFi station or increasing heavy network load. On the other hand, the required RTT is totally dependent on the application which a user is working on. This paper defines a RTT gap that is the difference between the required RTT for a user's application and the actual RTT obtained when a mobile terminal gets connected to a station. The paper firstly formulates a problem to assign some mobile terminals with the different communications services by means of graph theory, and it also proposes a method to reduce the RTT gap in the whole system with considering the required RTT for user's applications based on a connection service determination logic by Hungarian method.

**Keywords:** WiFi Service, Round-Trip Time, Assignment Problem

### 1. はじめに

LTE 回線が徐々に普及し、回線速度は向上しているが、

スマートフォンなどで使用されるアプリケーションが必要とするデータ通信量も増加しているため、今後、人が集中する場所や時間帯などの条件により、ユーザが体感するレスポンスタイムは長くなる可能性がある。これを回避するため、各キャリアは、3G 回線や LTE 回線から、固定の公衆 WiFi サービスへのオフロード対応を行っている。現在は、公衆 WiFi サービスへの接続切り替えがスムーズにい

<sup>1</sup> 創価大学工学研究科  
Graduate school of engineering, Soka University  
1-236 Tangi-cho, Hachioji-city, Tokyo, 192-8577 Japan  
<sup>a)</sup> e07d5203@soka.ac.jp  
<sup>b)</sup> shinomi@soka.ac.jp

かないなどの理由で、十分に活用されていない場合もあるが、今後も公衆 WiFi サービスの利用率は高まると考えられる。

しかし、公衆 WiFi サービスの利用率が高まると、次に示す 2 つの要因によってレスポンスタイムの悪化を招く可能性がある。まずはじめに、公衆 WiFi サービスの利用端末数が増加すると、公衆 WiFi 基地局のハードウェアとしての処理負荷や、バックボーンネットワークのトラフィック負荷により、公衆 WiFi 基地局経由のアクセスのレスポンスタイムが悪化する可能性がある。次に、電波干渉によるレスポンスタイムの悪化である。駅やイベント会場などでは、ユーザが個々に所有する移動型の WiFi アクセスポイントの増加により、公衆 WiFi 基地局を含めたアクセスポイント同士の電波干渉によってレスポンスタイムの悪化を招く可能性がある。これらの問題のうち、本研究では、前者の公衆 WiFi 基地局における通信量増大によるレスポンスタイムの悪化について、その回避策を提案する。

公衆 WiFi 基地局におけるレスポンスタイムの悪化については、現在様々な研究が行われている。[1] では、データアップロードを最適化するための通信制御方式を提案している。[2] では、通信品質が劣化した状態におけるアプリケーションレベル通信遅延低減方式を提案している。しかし、このような通信方式に関する技術が進展することと平行して、アプリケーションが必要とするデータ通信量は増大し、必要とするレスポンスタイムは短くなり、いたちごっこの状態にある。よって本研究では、ユーザが利用できる通信環境が変わらない場合における、基地局と端末の最適な組み合わせについて考える。

あるエリアにおいて、ユーザが利用できる無線通信サービスの基地局数、各基地局における端末収容数やラウンドトリップタイム（以下、RTT）、利用可能帯域などの条件が変わらない場合、対象エリアにいるユーザ全体のレスポンスタイムの悪化を防ぐには、各端末が要求するレスポンスタイムを必要最小限満たすことのできる基地局に接続させることが望ましい。RTT が短い基地局に対して、短い RTT を必要としない端末が接続されることにより、本来短い RTT を必要とする端末が、条件を満たす基地局に接続できない、という状況が起こりえる。このミスマッチを解消することが、対象エリアにいるユーザ全体のレスポンスタイムを向上させることに繋がると考えられる。本研究では、このミスマッチの解消を研究の目的とする。

ミスマッチ解消の手段として、各端末で使用されているアプリケーションに応じて、必要とされる RTT が異なる点に着目する。端末で使用されているアプリケーションが必要とする RTT を元に、接続先の基地局を決定するロジックを実現することにより、過剰なサービス割り当てを削減できると考えられる。

なお、接続先決定ロジックにおいては、個々の端末が独

立して接続先を決定するのではなく、端末で使用されているアプリケーションを元に、サーバが各端末にとって最適な接続先を算定し、端末に制御情報を伝達する。

2 章では、本研究で着目する RTT ギャップについて定義し、接続先決定ロジックを割り当て問題として定式化する。3 章では、関連研究における本研究の位置づけを述べる。4 章では、本研究で提案するシステムについて説明する。5 章では、本システムのシミュレーション実験の結果に述べ、評価する。6 章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 割り当て問題への定式化

### 2.1 RTT ギャップの定義

モバイル端末を使用しているユーザが体感するレスポンスタイムは、モバイル端末がある基地局に接続した場合に得られる RTT が、端末上で使用されているアプリケーションが必要とする RTT より長くなった場合に、悪化すると考えられる。そこで、使用しているアプリケーションが必要とする RTT（必要 RTT）と、端末がある基地局に接続した場合に得られる RTT（接続時 RTT）との差を、RTT ギャップと定義し、対象エリア内の端末全体の RTT ギャップを低減させることを検討する。RTT ギャップ ( $G_{RTT}$ ) は、必要 RTT ( $RTT_{need}$ ) および接続時 RTT ( $RTT_{link}$ ) より、式 1 で表される。

$$G_{RTT} = RTT_{need} - RTT_{link} \quad (1)$$

### 2.2 アプリケーションが必要とする RTT

アプリケーションが必要とする RTT は、アプリケーションの種類によって異なる。ただし、異なるアプリケーションであっても、たとえば同じ「通話を目的としたアプリケーション」であれば、同様の RTT が必要と考えられる。そこで、ここではアプリケーションを以下の 3 種類に分類し、それぞれの必要 RTT を算出する

- 通話アプリケーション
- ブラウザ
- その他（リアルタイム性を必要としないアプリケーション）

#### 2.2.1 通話アプリケーション

通話アプリケーションについては、総務省が「050 IP 電話」の遅延の基準を「400ms 未満」と定めている [3]。この値は、対象端末から相手端末までの到達時間の基準である。よって、対象端末からアクセス回線までの間で必要な RTT は、400ms の半分の 200ms 程度と考えることができる。

#### 2.2.2 ブラウザ

主なポータルサイトのトップページのデータ量を表 1 に示す。多くのサイトのトップページが 1,500kB 以下で

サイト名	URL	データ量 (kB)
Yahoo!	m.yahoo.co.jp	467
goo	www.goo.ne.jp	730
MSN	jp.msn.com	580
Infoseek	www.infoseek.co.jp	1,390
Excite	a.excite.co.jp	1,463
はてな	www.hatena.ne.jp	1,480
ライブドア	www.livedoor.com/lite	573
価格 com	s.kakaku.com	817
amazon	www.amazon.co.jp	608
朝日新聞	www.asahi.com	1,073
読売新聞	www.yomiuri.co.jp	1,004
日経新聞	www.nikkei.com	1,147
毎日新聞	sp.mainichi.jp	3,337
産経新聞	sankei.jp.msn.com/smp	656

表 1 ポータルサイトにおけるトップページのデータ量

あるため、ここでは 1,500kB のサイトに接続した場合について考える。また、Forrester Consulting の報告によると、約半数のユーザが 2 秒以下のレスポンスタイムを期待している [4]。x[kB] のデータを y[ms] で表示させるために必要なスループット T[Mbps] は、式 2 で表せることから、1,500kB のサイトを 2,000ms で表示させるために必要なスループットは、6Mbps である。

$$T = x * 8 / y \quad (2)$$

さらに、TCP におけるウィンドウサイズが 64kB の場合、T[Mbps] のスループットを実現するために必要な RTT R[ms] は、式 3 で表せることから、6Mbps を実現するために必要な RTT は、85ms となる。

$$R = 64 / T * 8 \quad (3)$$

### 2.2.3 各アプリケーションの必要 RTT

以上のことから、各アプリケーションにおいて必要な RTT を表 2 のように定義する。

アプリケーションの種類	必要 RTT
通話アプリケーション	200ms
ブラウザ	85ms
その他	制限なし

表 2 アプリケーションが必要とする RTT

## 2.3 接続時 RTT

ある端末がある基地局に接続した場合に得られる RTT は、実際にその基地局に接続しないと正確には把握できない。しかし、各端末がすべての基地局に接続して RTT を計ることは現実的ではない。そこで本研究では、PathQuick

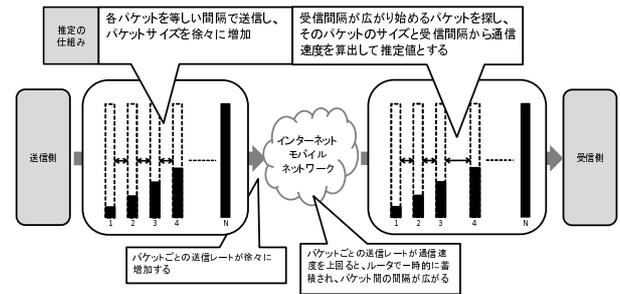


図 1 PathQuick の仕組み [5]

の技術を利用して、各基地局における RTT を定期的に把握することとする。PathQuick は、各パケットを等しい間隔で送信し、パケットサイズを徐々に増加させていくことにより、受信間隔が広がり始めるパケットのサイズと受信間隔から、通信速度を算出する手法である [5]。PathQuick の仕組みを図 1 に表す。PathQuick によって算出されたスループットを元に、式 3 を使用して各基地局からアクセス回線までの RTT を算出する。

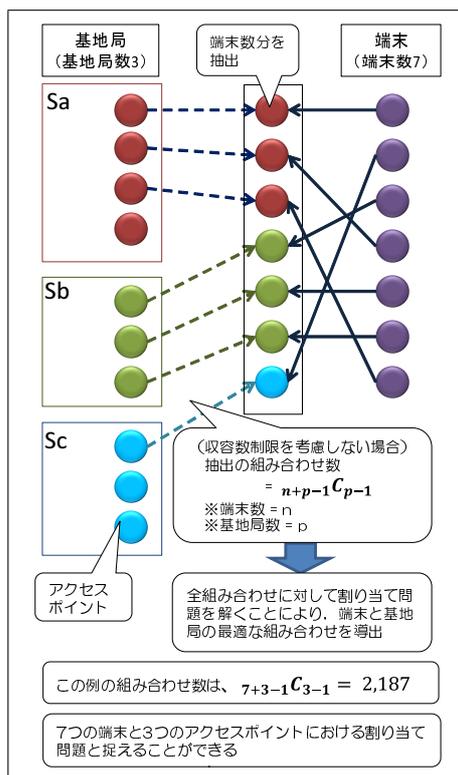
ただし、基地局に接続した場合に得られる RTT は動的に変化すると考えられるが、その都度 PathQuick による値の取得を行うことは、処理時間の観点から考えて現実的では無い。一方、ある基地局の RTT は、その基地局に接続している端末の数に影響されると考えられる。そこで、PathQuick による RTT の取得を定期的に行い、その後の RTT の変化は、接続端末数から計算することとする。今、PathQuick によって得られた、ある基地局の RTT の値を  $RTT_{pq}$  とし、その後その基地局に接続された端末数を  $x$  とした時、その基地局の接続時 RTT ( $RTT_{link}$ ) は、以下のよう表すことができる。

$$RTT_{link} = RTT_{pq} + f(x) \quad (4)$$

$f(x)$  は、端末数の増減による接続時 RTT の変化を示す関数である。WiFi の基地局においては、通信規格 CSMA/CA により、端末数が増加すると待機時間が増加するため、 $f(x)$  は 1 次関数になると考えられる。

## 2.4 割り当て問題への定式化

基地局  $sa$  の収容可能数を  $x$ 、基地局  $sb$  の収容可能数を  $y$ 、基地局  $sc$  の収容可能数を  $z$  とすると、 $sa_1, sa_2, \dots, sa_x, sb_1, sb_2, \dots, sb_y, sc_1, sc_2, \dots, sc_z$  のアクセスポイントが存在すると捉えることができる。収容数の合計を  $m = x + y + z$  とする。今、同じエリア内に端末  $t_1, t_2, \dots, t_n$  が存在しているとする、本研究で考える接続先決定ロジックは、 $m$  個から  $n$  個だけ抽出したアクセスポイントと、 $n$  個の端末における、RTT ギャップの総和が最小となる割り当て問題と捉えることができる。 $m$  個から  $n$  個のアクセスポイントを抽出するすべての組み合



わせに対して、割り当て問題を解くことにより、システム全体の RTT ギャップを最小化する、基地局と端末の組み合わせを導出することができる。この時、収容数制限を考慮しない場合に取り得る組み合わせ数は、端末数  $n$  をアクセスポイント数  $p$  に分類する組み合わせ数と等しく、「 $(n+p-1)C_{(p-1)}$ 」と表すことができる。割り当て問題への定式化の概要を、図 2 に示す。なお、本研究では、割り当て問題の導出手法として、割り当て問題の手法の一つであるハンガリアン法を用いる [6][7][8][9]。

### 3. 関連研究における本研究の位置づけ

WiFi アクセスポイントの選択に関する研究として、[10][11][12][13] がある。[10] では、ネットワークトラフィック負荷の分散のために、チャネル利用率の高いアクセスポイントからチャネル利用率の低いアクセスポイントへ端末を移動させることを検討している。[11] では、各アクセスポイントに接続した場合のスループット、他の端末の通信状況を考慮して、接続するアクセスポイントを選択することを検討している。[12] では、各アクセスポイントの遅延、スループットなどの状態から、端末が接続されるべきアクセスポイントを、ヒューリスティックなロジックにより決定する提案を行っている。[13] では、端末とアクセスポイント間のビーコン情報に、アクセスポイントの負荷に関するフィールドを追加し、端末がアクセスポイントに接続した場合の負荷状況を考慮して、接続するアクセスポイントを選択するシステムを提案している。しかし、[10][11][12][13]

は共に、ユーザが使用しているアプリケーションにより、必要な環境が異なることは考慮されていない。

[14] においては、FTP に代表される TCP トラヒックと、VoIP に代表される UDP トラヒックの違いを考慮した、WiFi アクセスポイントの選択アルゴリズムを提案している。しかし、現在スマートフォンなどの移動端末で一般的に使用されているアプリケーションは、そのほとんどが HTTP による通信を行っており、ユーザが使用するアプリケーションとして UDP が使用されることは少ない。

本研究では、トランスポート層プロトコルの違いではなく、アプリケーションの種類により、必要な RTT が異なることに着目して、アクセスポイントの割り当て問題を考える。

使用しているアプリケーションを考慮した WiFi アクセスポイント選択の研究としては、[15][16] がある。[15] においては、特定のアプリケーションを使用している通信について、伝送レートを元にアクセスポイントを切り替えることにより、QoS を確保することが提案されている。また、[16] においては、端末で使用されているアプリケーションの種類に応じて、電波強度、利用可能帯域、遅延などを元に、適切な経路を選択する方式が提案されている。しかし、これらの提案においては、対象の端末が多数存在する場合の対応については、検討されていない。

本研究では、多数の端末が存在する環境における基地局への接続の組み合わせを割り当て問題として捉え、ハンガリアン法を活用することにより、基地局を適切に端末に割り当てる方式について提案する。

### 4. 提案システム

提案システムは、接続時 RTT 取得部、接続先決定部、端末制御部の 3 つの部分により構成される。本章では、各構成部について説明する。

なお、提案システムの構成としては、分散制御型ではなく、集中制御型を採用している。これは、各基地局に接続した場合に得られる RTT が基地局により異なり、端末側の情報のみでは正確に判断できないためである。本システムにおいては、接続先コントロールサーバが各基地局の情報収集および各端末が接続する基地局の決定を行い、決定結果を端末に配信する。

ここで、コントロールサーバによる情報収集、および決定結果の配信に時間を要することになる。しかし、ユーザがある一定時間以上、同じアプリケーションを使用し続ける状況においては、ある程度の時間ロスは許容できると考えられる。

また、本研究では、LTE や WiFi などの基地局自体には変更を加えず、接続先コントロールサーバと端末のやりとりによって、最適な基地局への割り当てを実現する。

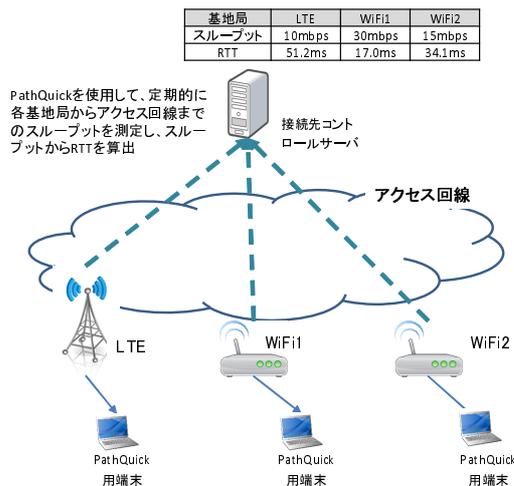


図 3 PathQuick を使用した RTT 算出のシステム構成

#### 4.1 接続時 RTT 取得部

本研究では、各端末が各基地局に接続した場合の接続時 RTT を把握するために、PathQuick を使用して各基地局における RTT を定期的に把握する。

PathQuick を使用した接続時 RTT 取得のシステム構成を図 3 に示す。各基地局に PathQuick 用の端末を常時接続させておく。また、アクセス回線側には、接続先コントロールサーバを設置する。各基地局に接続した PathQuick 用端末から、接続先コントロールサーバに対して定期的にパケットを送信する。接続先コントロールサーバは、受信したパケットの受信間隔を元に、各基地局からアクセス回線へのスループット ( $T_i$ ) を定期的に把握し、スループットを元に式 3 を使用して、各基地局の接続時 RTT を算出する。

#### 4.2 接続先決定部

あるエリアで接続可能な基地局 (LTE もしくは WiFi) として、 $sa$ ,  $sb$ ,  $sc$  があるとして、それぞれの収容可能数を  $x$ ,  $y$ ,  $z$  とする。全体収容数  $m$  は、以下の式 5 で求められる。

$$m = x + y + z \quad (5)$$

また、同エリアに存在している端末を、 $t_1, t_2, \dots, t_n$  とする。全体収容数  $m$  から端末数  $n$  個だけ抽出したアクセスポイントと、 $n$  個の端末において、各基地局に対する各端末の RTT ギャップを元に、割当て問題 (ハンガリアン法) を解き、最適な基地局と端末の組み合わせを算出する。

この時、各端末における必要 RTT は、各端末で使用されているアプリケーションを元に表 2 から算出する。また、RTT ギャップの計算に使用される接続時 RTT は、接続時 RTT 取得部によって定期的に取得された RTT、およびそ

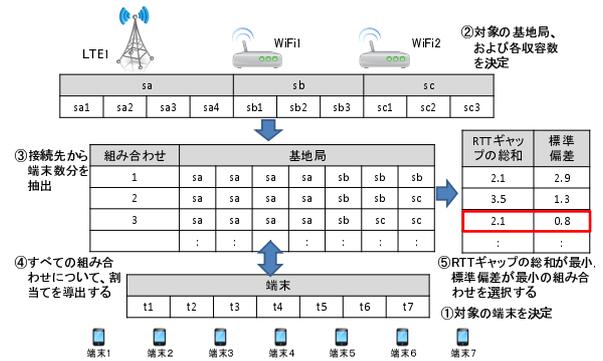


図 4 接続先決定ロジックの流れ

の後に対象基地局に接続された端末数を元に、式 4 に従って算出される。これらの接続時 RTT および必要 RTT を元に、RTT ギャップを算出する。なお、ここで RTT ギャップがマイナスの値であった場合、必要な RTT よりも速い RTT が得られることになるが、システム全体の利用効率の向上に寄与しないため、ここではマイナスの値をすべて 0 に置き換える。

全体収容数  $m$  から、端末数  $n$  を抽出するすべての組み合わせについて、同様の計算を行う。すべての組み合わせで算出された解のうち、RTT ギャップの総和が最小となるものを、全体の最適解として選択する。このとき、複数の解が得られた場合は、標準偏差が一番小さい解を選択する。接続先決定ロジックの流れを図 4 に示す。

#### 4.3 割り当て問題 (ハンガリアン法)

本節では、本研究で使用するハンガリアン法について解説する。ハンガリアン法は、割当て問題における手法の一つである。与えられたコスト行列に対して以下の手順を施すことにより、割当て問題を解くことができる。

- (1) 与えられた行列 (図 5①) に対して、各行の各要素からその行の最小値を引き (図 5②)、さらに各列の各要素からその列の最小値を引く (図 5③)
- (2) すべての 0 をできるだけ少ない数の縦または横の線で覆う (図 5④, ここでは、3 本の線ですべての 0 を覆うことができる)。この時引いた線の本数が、行列の大きさ (図 5 の場合は 4) と同じか、それよりも大きい場合は、各行各列から 0 を 1 つずつ選ぶことができるため、処理を終了する。
- (3) (2) で引いた線の本数が、行列の大きさよりも小さい場合、線が引かれていない要素から、線が引かれていない要素の最小値を引く。また、線が重なっている要素に、線が引かれていない要素の最小値を足す。 (図 5⑤)

以後、終了するまで (2) (3) を繰り返す。以上の操作により、重みを最小化とする組み合わせを導出することができる。

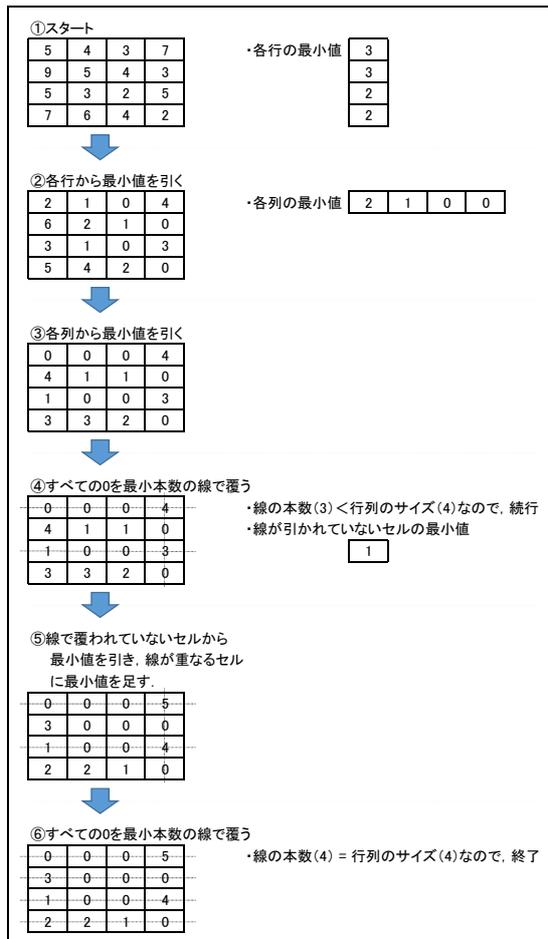


図 5 ハンガリアン法の計算の流れ

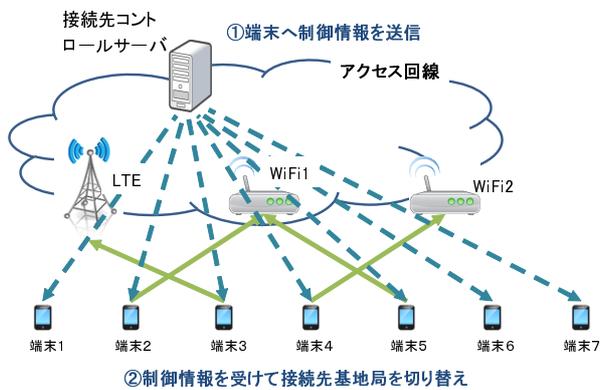


図 6 端末制御のイメージ

本研究では、各端末の各基地局に対する RTT ギャップをコスト行列とし、RTT ギャップを最小化する組み合わせを、ハンガリアン法を用いて導出する。

#### 4.4 端末制御部

4.2 にて算出された組み合わせを元に、接続先コントロールサーバから各端末へ制御情報を送信する。各端末は、受信した制御情報に従って、接続先の基地局を切り替える。端末制御のイメージを、図 6 に示す。

## 5. シミュレーション実験による評価

### 5.1 実験の概要

4 章で述べた提案システム全体のうち、接続先決定部についてシミュレーションプログラムを作成し、実験を行った。

今回の実験においては、新たに接続される端末数が 100 台の場合 (実験 1) と 10 台の場合 (実験 2) のそれぞれで、接続時 RTT の初期値, RTT 増分, 接続端末の収容可能残数の組み合わせにより実験を行った。実験を行った各ケースの概要を表 3 および 4 に示す。いずれも、割り当て先となる基地局数は 3 つとした。

なお、接続時 RTT の初期値  $RTT_{init}$  は、PathQuick に

ケース名	RTT 初期値 (ms)			RTT 増分 (ms)	収容可能残数 (台)
	基地局 1	基地局 2	基地局 3		
case1-1-1	20	40	60	1	40
case1-1-2	20	40	60	1	70
case1-1-3	20	40	60	1	100
case1-2-1	40	60	80	1	40
case1-2-2	40	60	80	1	70
case1-2-3	40	60	80	1	100
case1-3-1	60	80	100	1	40
case1-3-2	60	80	100	1	70
case1-3-3	60	80	100	1	100
case1-4-1	80	100	120	1	40
case1-4-2	80	100	120	1	70
case1-4-3	80	100	120	1	100
case2-1-1	20	40	60	2	40
case2-1-2	20	40	60	2	70
case2-1-3	20	40	60	2	100
case2-2-1	40	60	80	2	40
case2-2-2	40	60	80	2	70
case2-2-3	40	60	80	2	100
case2-3-1	60	80	100	2	40
case2-3-2	60	80	100	2	70
case2-3-3	60	80	100	2	100
case2-4-1	80	100	120	2	40
case2-4-2	60	80	100	2	70
case2-4-3	60	80	100	2	100

表 3 実験 1 の概要

ケース名	RTT 初期値 (ms)			RTT 増分 (ms)	収容可能残数 (台)
	基地局 1	基地局 2	基地局 3		
case3-1-1	100	120	140	1	4
case3-1-2	100	120	140	1	7
case3-1-3	100	120	140	1	10
case3-2-1	120	140	160	1	4
case3-2-2	120	140	160	1	7
case3-2-3	120	140	160	1	10
case3-3-1	140	160	180	1	4
case3-3-2	140	160	180	1	7
case3-3-3	140	160	180	1	10
case3-4-1	160	180	200	1	4
case3-4-2	160	180	200	1	7
case3-4-3	160	180	200	1	10
case4-1-1	100	120	140	2	4
case4-1-2	100	120	140	2	7
case4-1-3	100	120	140	2	10
case4-2-1	120	140	160	2	4
case4-2-2	120	140	160	2	7
case4-2-3	120	140	160	2	10
case4-3-1	140	160	180	2	4
case4-3-2	140	160	180	2	7
case4-3-3	140	160	180	2	10
case4-4-1	160	180	200	2	4
case4-4-2	160	180	200	2	7
case4-4-3	160	180	200	2	10

表 4 実験 2 の概要

よって直前に取得された RTT の当該基地局の値  $RTT_{pa}$ , 当該基地局の RTT 関数  $f(x)$ , および PathQuick 取得時からの接続端末数の増減  $term_{diff}$  により, 式 6 で示される.

$$RTT_{init} = RTT_{pa} + f(term_{diff}) \quad (6)$$

また, RTT 増分は, 各基地局の RTT 関数  $f(x)$  の傾きに相当する.

各端末で使用しているアプリケーションとしては, 「通話アプリケーション」「ブラウザ」「その他」のうちのいずれかをランダムに割り当てた. また, 各アプリケーションにおける必要 RTT は, 表 2 の値を使用した.

シミュレーションプログラムでは, これらの値を元に, 各基地局の収容数全体から端末数分を抽出しうるすべての組み合わせに対して, ハンガリアン法による計算を行い, 全体の中で RTT ギャップの合計が最小になるものの中で, 標準偏差が最小になるものを出力している.

また本実験では, 提案システムでの計算 (解法 1) 以外に, 以下の 2 つのロジックについても, 各ケースにおける計算を行った.

- (1) 一番短い RTT を必要とする端末から順番に, 現時点で接続時 RTT が一番短い基地局に優先的に割り当てる (グリーディ法) (解法 2)
- (2) 各端末をランダムに各基地局に割り当てる (解法 3)

## 5.2 実験の評価

### 5.2.1 RTT ギャップの平均

実験 1 における各ケース・各解法の RTT ギャップの平均を表 5 および図 7 に示す.

すべてのケースにおいて, 3 つの解法のうち解法 1 (本提案システム) の RTT ギャップ平均値が, 一番小さい値を取っている.

解法 2 は, RTT 増分が小さくかつ収容残数が小さいケースでは RTT ギャップ平均値も小さいが, RTT 増分が大きい, もしくは収容残数が大きい場合には RTT ギャップ平均値が大きくなる傾向がある. これは, 解法 2 が現時点での RTT 値を元に接続先を判断しているからである. しかし実際には, 接続端末数によって RTT が変動するため, 結

ケース名	RTT ギャップの平均 (ms)			ケース名	RTT ギャップの平均 (ms)		
	解法 1	解法 2	解法 3		解法 1	解法 2	解法 3
case1-1-1	0.00	0.00	1.44	case2-1-1	0.44	5.40	9.30
case1-1-2	0.00	1.80	2.55	case2-1-2	0.00	27.00	9.84
case1-1-3	0.00	12.60	2.08	case2-1-3	0.00	54.60	7.00
case1-2-1	0.00	0.00	3.31	case2-2-1	6.12	12.60	14.86
case1-2-2	0.00	9.00	5.65	case2-2-2	1.40	34.20	15.38
case1-2-3	0.00	19.80	4.24	case2-2-3	1.40	67.80	14.76
case1-3-1	2.98	5.40	13.90	case2-3-1	13.32	19.80	22.48
case1-3-2	0.66	16.20	8.98	case2-3-2	11.16	41.40	22.38
case1-3-3	0.66	27.00	8.51	case2-3-3	11.16	81.00	23.10
case1-4-1	10.18	12.60	18.14	case2-4-1	20.52	27.00	29.62
case1-4-2	7.78	23.40	16.56	case2-4-2	20.44	54.60	29.78
case1-4-3	7.78	34.20	17.05	case2-4-3	20.44	94.20	28.98

表 5 実験 1 における RTT ギャップの平均

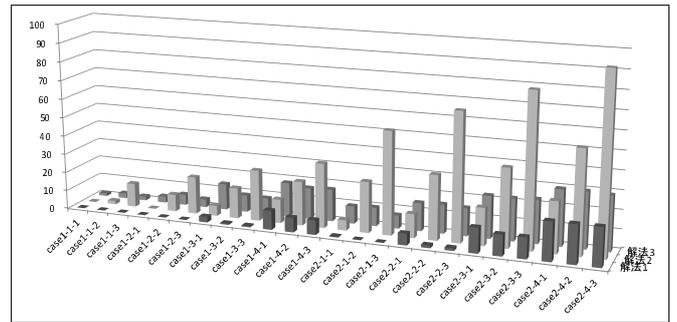


図 7 実験 1 における RTT ギャップの平均 (グラフ)

果として得られる RTT ギャップ平均値は大きくなる. これに比べて, 解法 1 (本提案システム) は, 取り得るすべての組み合わせに対して, 割り当て後の RTT 値も考慮して最適な組み合わせを抽出しているため, RTT ギャップ平均値が一番小さい値を取るようになる. 解法 3 と比べると, すべてのケースで解法 1 のほうが安定的により小さい値を取っている. これらのことから, RTT ギャップの最小化において本提案システムが有効であることが確認できた.

しかし現実的には, 一度の割り当て計算で対象になる端末数は, 100 台までにはならないと考えられる. 次に実験 2 における各ケース・各解法の RTT ギャップの平均を表 6 に示す. 実験 2 においては, 対象台数は 10 台であるが, これを見ると, 台数が少ない場合でも, すべてのケースにおいて解法 1 が他の解法よりも短い値を取っている. これにより, 対象台数が少ない場合でも, RTT ギャップの最小化において本提案システムが有効であることが確認できた.

ケース名	RTT ギャップの平均 (ms)			ケース名	RTT ギャップの平均 (ms)		
	解法 1	解法 2	解法 3		解法 1	解法 2	解法 3
case3-1-1	5.4	5.7	11.5	case4-1-1	6.3	6.9	16.7
case3-1-2	5.4	6.6	9.4	case4-1-2	6.3	8.7	11.1
case3-1-3	5.4	7.5	7.5	case4-1-3	6.3	10.5	16.9
case3-2-1	11.4	11.7	15.6	case4-2-1	12.3	12.9	18.5
case3-2-2	11.4	12.6	11.7	case4-2-2	12.3	14.7	16.3
case3-2-3	11.4	13.5	15.4	case4-2-3	12.3	16.5	14.5
case3-3-1	17.4	17.7	19.3	case4-3-1	18.3	18.9	22.7
case3-3-2	17.4	18.6	23.5	case4-3-2	18.3	20.7	18.9
case3-3-3	17.4	19.5	25.6	case4-3-3	18.3	22.5	22.3
case3-4-1	23.4	23.7	30.3	case4-4-1	24.3	24.9	27.7
case3-4-2	23.4	24.6	28.3	case4-4-2	24.3	26.7	31.7
case3-4-3	23.4	25.5	24.3	case4-4-3	24.3	28.5	33.5

表 6 実験 2 における RTT ギャップの平均

### 5.2.2 基地局割り当てに要する処理時間

実験 1 における解法 1 の計算回数 (ハンガリアン法の実施回数) は, 最大で 5,151 回であり, 処理時間はすべてのケースで 1 秒以下であった. これらの値は, ユーザがある一定時間以上, 同じアプリケーションを使用し続ける状況においては, 十分に有効な値であると考えられる. これらのことから, 処理時間の観点からも本提案システムが有効であることが確認できた.

## 6. まとめと今後の課題

ユーザが使用しているアプリケーションを考慮した RTT

ギャップについて定義し、RTT ギャップを低減させる接続先決定ロジックを割り当て問題として定式化した。また、ハンガリアン法を用いた接続先決定システムを提案し、シミュレーションプログラムによる実験を行い、ハンガリアン法を用いない場合と比較して、RTT ギャップの最小化、処理時間の2つの観点からその有効性を示した。

今後は、複数の端末の接続や離脱が連続して発生するような実際的な環境において、本提案システムの有効性を評価する。また、「接続時 RTT 取得部」、「端末制御部」についてもシミュレーションを行い、全体システムの評価を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 平井弘実, 山口実靖, 小口正人: スマートフォンの無線 LAN 接続時における周辺端末からの情報に基づく協調帯域制御ミドルウェアの提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.340-353 (2014).
- [2] 西川由明, 大芝崇, 金友大, 中島一彰: 無線リンクの高負荷状態におけるアプリケーションレベル通信遅延低減方式の評価実験, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-66, No.24, pp.1-6 (2013).
- [3] 総務省: アナログ電話相当の機能を有する IP 電話用設備に係る現行技術基準(1), 入手先 ([http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000158162.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000158162.pdf)).
- [4] Forrester Consulting: eCommerce Web Site Performance Today, 入手先 ([http://www.damcogroup.com/white-papers/ecommerce\\_website\\_perf\\_wp.pdf](http://www.damcogroup.com/white-papers/ecommerce_website_perf_wp.pdf)).
- [5] 里田浩三, 大芝崇, 吉田裕志: サービス品質向上のためのネットワーク状態推定・予測技術, 電子情報通信学会技術報告, CQ2013-56, Vol.113, No.293, pp.29-34 (2013).
- [6] 森村英典, 牧野都治, 真壁肇, 杉山高一: 統計・OR 活用辞典, 東京書籍株式会社 (1984).
- [7] 伊理正夫, 今野浩, 刀根薫: 最適化ハンドブック, 朝倉書店 (1995).
- [8] Alan Doran, Joan Aldous: よくわかるネットワークアルゴリズム, 日本評論社 (2003).
- [9] Ravindra K. Ahuja, Thomas L. Magnanti, James B. Orlin: NETWORK FLOWS: Theory, algorithms, and Applications, Prentice Hall (1993).
- [10] 齊藤智也, 稲井寛: 無線 LAN における動的アクセスポイント選択方式, 電子情報通信学会技術報告, NS2003-138, Vol.103, No.386, pp.33-36 (2003).
- [11] 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とその評価, 電子情報通信学会技術報告, IN2002-206, Vol.102, No.693, pp.23-28 (2003).
- [12] Gaurav S. Kasbekar, Pavan Nuggehalli, Joy Kuri: Online Client-AP Association in WLANs, Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 2006 4th International Symposium on, pp.1-8 (2006).
- [13] Huazhi Gong, Nahm, K., JongWon Kim: Distributed Fair Access Point Selection for Multi-Rate IEEE 802.11 WLANs, Consumer Communications and Networking Conference, 5th IEEE, pp.528-532 (2008).
- [14] 森岡康史, 東野武史, 塚本勝俊, 小牧省三: 異種サービス混在環境における無線 LAN アクセスポイント選択アルゴリズム, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.2, pp.750-764 (2009).
- [15] 竹内彰次郎, 瀬崎薫, 安田靖彦: IEEE802.11e WLAN network におけるアクセスポイント選択手法, 電子情報通

- [16] 信学会論文誌 (B), Vol.J89-B, No.4, pp.431-442 (2006).  
武智竜一, 岡村亜紀子, 中津川恵一, 浜野有一朗, 佐藤康行: モバイルネットワークにおける最適経路制御, 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol.J89-B, No.2, pp.195-203 (2006).