Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

コンシューマ・システム論文

# 複数無線通信サービス環境におけるアプリケーション特性とネットワーク指標を考慮した基地局割り当て手法

亀田 栄一[1,a)]　小林 英雄[1,b)]　篠宮 紀彦[1,c)]

**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 基地局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，スループット（TP）やラウンドトリップタイム（RTT）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 TP や 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 TP または RTT と，端末がある基地局に接続した時に実際に得られる TP または RTT から，端末満足度を定義する．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 TP または RTT を考慮し，システム全体として端末満足度を最大化させる手法を提案する．

**キーワード**：WiFi サービス，RTT，スループット，割り当て問題，アプリケーション

# A station assignment method considering application characteristics and network indexes in heterogeneous wireless communication services

Eiichi Kameda[1,a)]　Hideo Kobayashi[1,b)]　Norihiko Shinomiya[1,c)]

***Abstract:*** While the LTE has been in widespread use and the line speed for data communications has also been improved, the exploding data traffic required by evolving applications is thought to increase the utilization factor of public WiFi services from now on. The throughput (TP) and the round trip time (RTT), however, might become longer for reasons of increasing heavy processing load on a public WiFi station or network load. On the other hand, the required TP or RTT are totally dependent on the application which a user is working on. This paper defines a degree of satisfaction of terminal that is the difference between the required TP or RTT for a user's application and the actual TP or 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 maximize the degree of satisfaction of terminal in the whole system with considering the required TP or RTT for user's applications based on a connection service determination logic by Hungarian method.

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

## 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

[1] 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
[a)] e07d5203@soka-u.jp
[b)] e15m5212@soka-u.jp
[c)] shinomi@soka.ac.jp

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

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 基地局へのオフロード対応を行っている．現在は，公衆 WiFi 基地局への接続切り替えがスムーズにい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 基地局の利用率は高まると考えられる．

しかし，公衆 WiFi 基地局の利用率が高まると，公衆 WiFi 基地局の通信量増大によるレスポンスタイムの悪化や，電波干渉によるレスポンスタイムの悪化が発生する可能性がある．我々は，これらの問題のうち，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を，研究の対象としている．

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，レスポンスタイムが悪化するという，際限の無い競争が繰り返されている．よって本研究では，通信インフラの設備投資，技術革新によってではなく，LTE 基地局および WiFi 基地局への端末の最適な割り当てを行うことにより，レスポンスタイムの悪化を防ぐことを考える．

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，スループット（以下，TP），ラウンドトリップタイム（以下，RTT）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，各端末の要求を必要最低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．過剰な資源割り当てや，資源不足など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満足度を向上させることに繋がると考えられる．

[3] では，端末で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 が異なることに注目し，端末で使用しているアプリケーションを基に算出した必要 RTT と，ある基地局に接続した場合に得られる RTT との差を最小とするような，基地局と端末の割り当て方法を提案している．しかし，ユーザの満足度を算出する指標として RTT のみを使用しており，TP によるユーザ満足度への影響は考慮がされていないという問題があった．あるアプリケーションが扱うデータ量や，サーバ・クライアント間での通信頻度によっては，RTT よりも TP が重要であるものが存在する．そこで本研究では，アプリケーション毎の特性を考慮した適切な指標により，ユーザ満足度を設定することを検討する．

また [3] におけるシミュレーション実験では，あるタイミングでの新規参入端末の割り当てを 1 度だけ行っている．しかし，現実には，あるエリアにおける端末の参入と離脱は連続的に発生しており，そのような実際的な環境における提案システムの評価は行っていなかった．また，既存端末は，割り当て処理の対象外としていた．しかし，他の端末の参入や離脱により，既存端末にとっても，接続されるべき最適な基地局が変化する可能性がある．本論文では，既存端末も含めた割り当て処理を定期的に繰り返すことにより，端末の参入と離脱が連続的に発生している実際的な環境でのシミュレーション実験を行った．

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基に，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，本研究で着目する端末満足度について定義し，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ついて述べ，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 端末満足度の定義

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 TP や 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 TP や RTT より悪化した場合に，低下すると考えられる．

ここで，各アプリケーションにおいてユーザ満足度に影響を与えるネットワーク指標について考える．なお，すべてのアプリケーションにおいて，TP と RTT の両方がユーザ満足度に影響を与える可能性があるが，ここでは，アプリケーションの種類に応じて，TP と RTT のどちらかのみをユーザ満足度に影響を与えるネットワーク指標とする．

厳密なリアルタイム性を要求されるアプリケーションにおいては，端末と対象サーバ間の RTT が重要である．RTT の値が大きいと，端末と対象サーバ間での通信においてタイムラグが発生することになり，ユーザの満足度を低下させることになる．厳密なリアルタイム性を要求されないアプリケーションにおいては，ある一定時間内に対象サーバから端末まで送信できるデータ量を示す TP が重要であると言える．これらを踏まえ，各アプリケーション分類におけるネットワーク指標を表 1 のように設定した．

なお，通話アプリケーションについては，ここでは音声のみの通話を対象とする．

本研究では，各アプリケーションをネットワーク指標を基にグループ $G_{TP}$ とグループ $G_{RTT}$ に分類し，それぞれのアプリケーションを使用している端末のユーザ満足度

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

表 1　各アプリケーション分類におけるネットワーク指標

| アプリケーション | ネットワーク指標 |
|---|---|
| ブラウザ | TP |
| 動画ストリーミング | TP |
| 通話アプリケーション | RTT |
| その他 | - |

（端末満足度）を，式 1 と定義する．

$$S_i = \begin{cases} \dfrac{TP_{link}}{TP_{need}} & (APP_i \in G_{TP}) \\ \dfrac{RTT_{need}}{RTT_{link}} & (APP_i \in G_{RTT}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで，$S_i$ は端末 $i$ の満足度，$APP_i$ は端末 $i$ で使用されているアプリケーション，$TP_{need}$ はアプリケーションが必要とする TP（必要 TP），$TP_{link}$ は端末がある基地局に接続した場合に得られる TP（接続時 TP），$RTT_{need}$ は使用しているアプリケーションが必要とする RTT（必要 RTT），$RTT_{link}$ は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）を，それぞれ示す．

本研究では，端末満足度をできるだけ 1 に近づけることを目標とする．例えば，$G_{TP}$ に分類されるアプリケーションにおいて，必要 TP が 1Mbps，接続時 TP が 0.5Mbps の場合，端末満足度は 0.5 となる（例 1）．また，$G_{RTT}$ に分類されるアプリケーションにおいて，必要 RTT が 40ms，接続時 RTT が 80ms の場合，端末満足度は 0.5 となる（例 2）．例 1，例 2 ともに，端末満足度が 0.5 となるが，理想に対する満足度の比率という意味から，TP の 0.5 と RTT の 0.5 を同等とみなすこととする．

なお [3] では，必要 RTT と接続時 RTT との差（RTT ギャップ）を，低減するべき目標関数として扱っていた．しかし，求められる RTT の値が小さいアプリケーションに比べ，求められる RTT の値が大きいアプリケーションのほうが，RTT ギャップが大きくなる傾向があるため，各アプリケーションを平等に扱っていることにはならないという問題があった．そこで，本研究では，実際に得られる値と必要な値の比率を扱うこととする．

### 2.2 $G_{TP}$ に属するアプリケーション

#### 2.2.1 必要 TP

まず，ブラウザにおいて必要な TP について考える．主なポータルサイトのトップページのデータ量を表 2 に示す．多くのサイトのトップページが 1,500kB 以下であるため，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]．$x$[B] のデータを $y$[s] で表示させるために必要な TP $T$[bps] は，式 2 で表せすことができる．

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

表 2　ポータルサイトにおけるトップページのデータ量

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

1,500kB のサイトを 2,000ms で表示させるために必要な TP は，6Mbps である．よって，ブラウザにおける必要 TP は，6Mbps とする．

次に，動画ストリーミングアプリケーションにおいて必要な TP について考える．現在日本で多く利用されている動画ストリーミングサービスが公表している通信条件を，表 3 に示す．これらの内容を踏まえ，動画ストリーミングにおける必要 TP は，2Mbps とする．

表 3　動画ストリーミングサービスにおける通信条件

| サービス名 | 通信条件 |
|---|---|
| hulu | 1Mbps |
| U-NEXT | 2Mbps |
| 楽天 SHOWTIME | 1Mbps |

#### 2.2.2 接続時 TP

ある端末がある基地局に接続した場合に得られる TP 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 TP を計ることは現実的ではない．そこで本研究では，PathQuick の技術を利用して，バックボーンネットワークからアクセスネットワークを経由した各基地局までの TP 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，TP を算出する手法である [5]．PathQuick の仕組みを図 1 に表す．

ただし，基地局に接続した場合に得られる TP 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ない．一方，ある基地局の TP 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 TP の取得を定期的に行い，その後の TP の変化は，接続端末数から計算することとする．今，PathQuick に

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

よって得られた，ある基地局の TP の値を $TP_{pq}$ とし，その後にその基地局に接続された端末数を $x$ とする．また，当該基地局に接続される端末数による当該基地局の TP の変化を表す TP 関数を $f_{tp}(x)$ とする．この時，当該基地局の接続時 TP($TP_{link}$) は，式 3 で表すことができる．

$$TP_{link} = TP_{pq} + f_{tp}(x) \tag{3}$$

なお，周波数チャネルが重なるような隣接する公衆 WiFi 基地局間では，一方の公衆 WiFi 基地局に接続された端末が，他方の公衆 WiFi 基地局の TP にも影響を与えることが想定される．しかし周波数チャネルの重なりは最小限に抑えるよう，ある程度計画的に配置されているものとし，前述のような影響は限定的であると考え，ここでは無視して考えている．

### 2.3 $G_{RTT}$ に属するアプリケーション

#### 2.3.1 必要 RTT

通話アプリケーションに必要な RTT について考える．通話については，総務省が「050 ＩＰ電話」の遅延の基準を「400ms 未満」と定めている [6]．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．対象端末から目的のサーバまでの間で必要な RTT は，400ms の半分の 200ms 程度と考えることができる．よって，通話アプリケーションの必要 RTT は，200ms とする．

#### 2.3.2 接続時 RTT

バックボーンネットワークからアクセスネットワークを経由した各基地局までの RTT を，ping を使用して定期的に把握しておく．また接続時 TP と同様に，頻繁に正確な RTT を取得することは難しいため，ping による RTT 取得後の RTT の変化は，接続端末数から計算することとする．今，ping によって得られた，ある基地局の RTT の値を $RTT_{ping}$ とし，その後にその基地局に接続された端末数を $x$ とする．また，当該基地局に接続される端末数による当該基地局の RTT の変化を表す RTT 関数を $f_{rtt}(x)$ とする．この時，当該基地局の接続時 RTT($RTT_{link}$) は，式 4 で表すことができる．

$$RTT_{link} = RTT_{ping} + f_{rtt}(x) \tag{4}$$

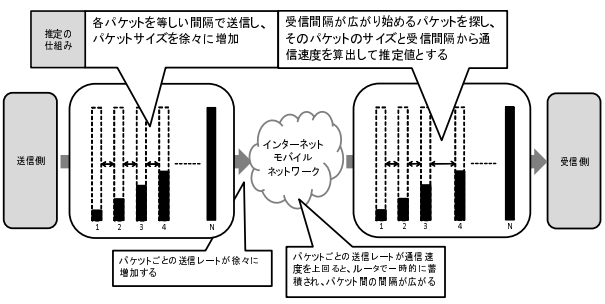



図 1　PathQuick の仕組み

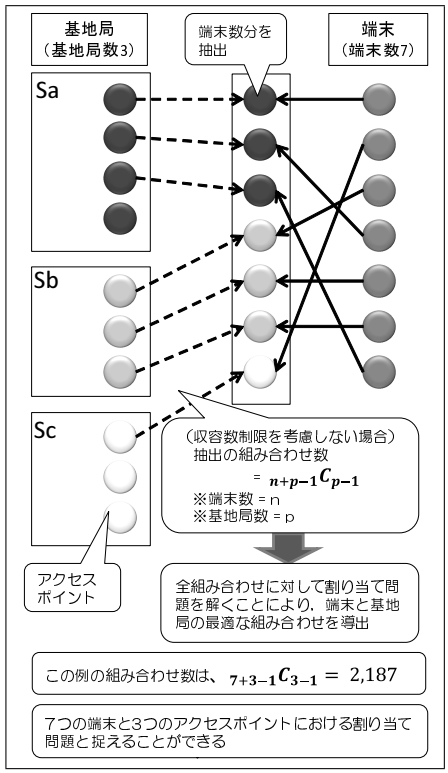



図 2　割り当て問題への定式化

### 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，$sa_1$，$sa_2$，$...sa_x$，$sb_1$，$sb_2$，$...sb_y$，$sc_1$，$sc_2$，$...sc_z$ 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 $t_1$，$t_2$，$...t_n$ が存在しているとすると，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，端末満足度の調和平均が最大となる割り当て問題と捉えることができる．割り当て問題とは，2 部グラフの重みを最大（もしくは最小）にする完全マッチングを解く問題であり，これはグラフ理論の手法の 1 つである．$m$ 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，システム全体の端末満足度を最大化する，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，「$_{(n+p-1)}\mathrm{C}_{(p-1)}$」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，ハンガリアン法を用いる [7][8][9][10]．

## 3. 関連研究における本研究の位置づけ

本章では，関連研究における本研究の位置づけを述べる．なお，「WiFi 基地局」について「アクセスポイント」と表現している関連研究もあるが，ここでは本研究で示すアク

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

セスポイントと区別するため，表現を「WiFi 基地局」で統一している．

WiFi 基地局の選択に関する研究として，[11][12][13][14] がある．[11] 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 WiFi 基地局からチャネル利用率の低い WiFi 基地局へ端末を移動させることを検討している．[12] では，各 WiFi 基地局に接続した場合の TP，他の端末の通信状況を考慮して，接続する WiFi 基地局を選択することを検討している．[13] では，各 WiFi 基地局の遅延，TP などの状態から，端末が接続されるべき WiFi 基地局を，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．[14] では，端末と WiFi 基地局間のビーコン情報に，WiFi 基地局の負荷に関するフィールドを追加し，端末が WiFi 基地局に接続した場合の負荷状況を考慮して，接続する WiFi 基地局を選択するシステムを提案している．しかし，[11][12][13][14] 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．

使用しているアプリケーションを考慮した WiFi 基地局選択の研究としては，[15][16][17][18] 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，伝送レートを基に WiFi 基地局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，遅延などを基に，適切な経路を選択する方式が提案されている．[17] 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 基地局の選択アルゴリズムを提案している．[18] においては，AHP 手法を使用することにより，TP と RTT の両方を考慮して，各端末にとって最適な WiFi 基地局に接続させることを検討している．

しかし，これらの提案はすべて，1 台ずつ接続先を決定する手法であり，同時に複数の端末を接続させた場合に，端末全体としての最適な割り当てにならない場合があるという問題がある．

本研究では，同時に複数の端末が基地局に接続する場合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，基地局情報取得部，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 TP や 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．

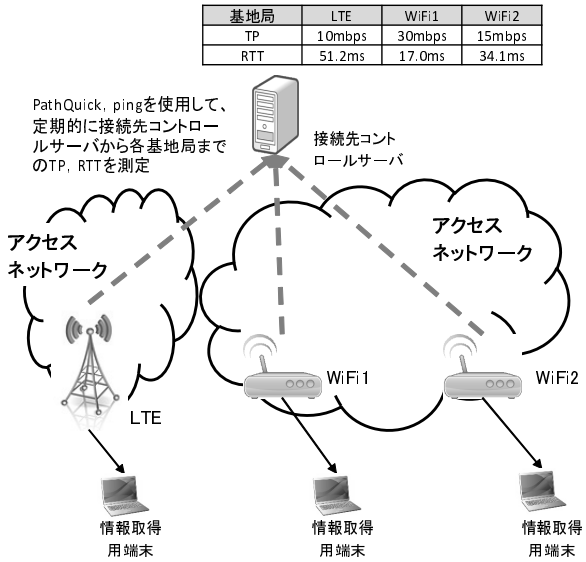



図 3　PathQuick，ping を使用した基地局情報取得のシステム構成

ここで，接続先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，ある程度の遅延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．

### 4.1 基地局情報取得部

本研究では，PathQuick および ping を使用して，各端末が各基地局に接続した場合の接続時 TP および接続時 RTT を定期的に把握する．

PathQuick，ping を使用した基地局情報取得のシステム構成を図 3 に示す．各基地局に基地局情報取得のための専用端末を常時接続させておく．また，アクセスネットワークの外部に，接続先コントロールサーバを設置する．接続先コントロールサーバから各基地局に接続した情報取得用端末に対して定期的にパケットを送信する．情報取得用端末は，受信したパケットの受信間隔を基に，アクセスネットワークを経由した各基地局への TP($TP_{pq}$) を定期的に把握する．また，接続先コントロールサーバから各基地局に対して定期的に ping パケットを送信し，各基地局までの RTT($RTT_{ping}$) を定期的に算出する．

### 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）

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

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．

$$m = x + y + z \tag{5}$$

また，同エリアに存在している端末を，$t_1$，$t_2$，$...t_n$ 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端末満足度を基に，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 TP もしくは必要 RTT は，各端末で使用されているアプリケーションに基づいて，2.2.1 項および 2.3.1 項の値を設定する．

また，接続時 TP および接続時 RTT は，基地局情報取得部によって定期的に取得された $TP_{pq}$，$RTT_{ping}$ およびその後に対象基地局に接続された端末数を基に，式 3 および式 4 に従って算出される．これらの値を基に，端末満足度を算出する．

なお，ここで端末満足度が 1 以上の時は，ユーザが体感するレスポンスタイムは自身が望むものよりもよくなるが，これはシステム全体の利用効率には寄与しない．よってここでは，端末満足度が 1 以上の場合は，すべて 1 に置き換える．また，アプリケーションの種類が「その他」の場合，接続時 TP，接続時 RTT の値に寄らず，必ず端末の要求は満たされると見なし，端末満足度は 1 とする．

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，端末満足度の調和平均が最大となるものを，全体の最適解として選択する．ここで，複数の最適解が得られた場合は，全端末における端末満足度の最低値が最大の組み合わせを採用する．接続先決定ロジックの流れを図 4 に示す．

本システムでは，上記の割り当て処理を既存端末も含めた対象エリア内の全端末に対して，一定間隔で定期的に実行する．この時，これまで接続されていた基地局とは異なる基地局に割り当てられる（ハンドオーバー）既存端末が発生する可能性があるが，ここではハンドオーバーによる通信断が無視する．

なお本研究では，上記の最適解の算出において，割り当て問題の手法の一つであるハンガリアン法を使用する．

### 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．

4.2 節で述べた，$n$ 個だけ抽出したアクセスポイントと，$n$ 個の端末の，それぞれの組み合わせにおける端末満足度を，サイズ $n \times n$ の行列で表すことができる．これを割り当て問題において入力される行列と見なす．ここで行列の

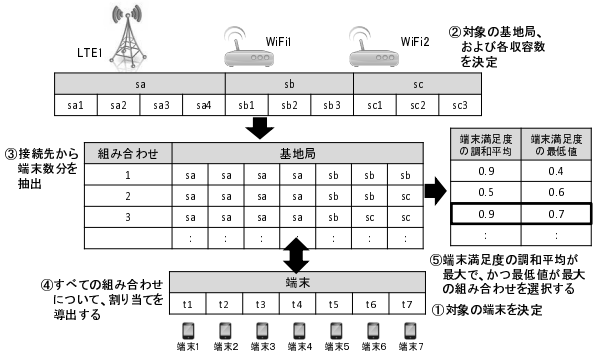



**図 4** 接続先決定ロジックの流れ

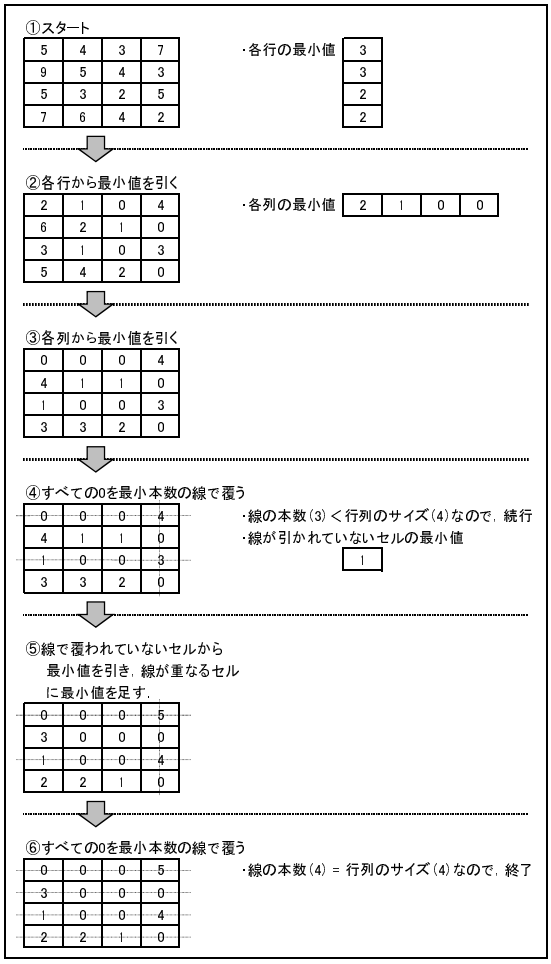



**図 5** ハンガリアン法の計算の流れ

各行は各アクセスポイントを表し，各列は各端末を表している．本研究で使用するハンガリアン法は，与えられた行列に対して以下の手順を施すことによって，割り当て問題を解く手法である．

(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

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

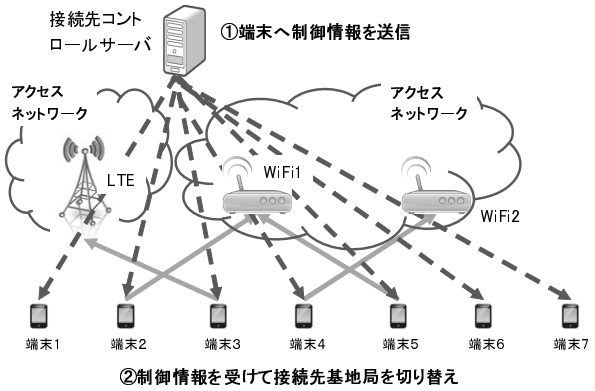



**図 6** 端末制御のイメージ

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．

本研究では，各端末の各アクセスポイントに対する端末満足度にマイナス 1 をかけたものを行列で表し，端末満足度を最大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 節にて算出された組み合わせを基に，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，あるエリアにおいて接続可能な 3 つの基地局が存在していると仮定し，表 4 に示す 4 つのケースで端末の割り当てを行った．

| ケース | 基地局 1 | | 基地局 2 | | 基地局 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | TP 初期値 | RTT 初期値 | TP 初期値 | RTT 初期値 | TP 初期値 | RTT 初期値 |
| 1 | 10Mbps | 100ms | 10Mbps | 100ms | 15Mbps | 50ms |
| 2 | 10Mbps | 100ms | 15Mbps | 75ms | 20Mbps | 50ms |
| 3 | 10Mbps | 50ms | 15Mbps | 75ms | 20Mbps | 100ms |
| 4 | 20Mbps | 100ms | 15Mbps | 50ms | 10Mbps | 75ms |

**表 4** 各基地局の TP 初期値・RTT 初期値

各ケースにおける TP 初期値は PathQuick によって取得された値に，RTT 初期値は ping によって取得された値にそれぞれ相当する．各基地局の TP 関数および RTT 関数は 1 次関数と見なし，全ての基地局において端末 1 台あたりの TP の増分を −0.05Mbps，RTT の増分を 2ms とした．これらは，それぞれ TP 関数および RTT 関数の傾きに相当する．

ここで各ケースの特徴をまとめると以下の通りである．

**ケース 1**

1 つの基地局だけ値が異なる．TP と RTT に正の相関関係がある．

**ケース 2**

全ての基地局の値が異なる．TP と RTT に正の相関関係がある．

**ケース 3**

全ての基地局の値が異なる．TP と RTT に負の相関関係がある．

**ケース 4**

全ての基地局の値が異なる．TP と RTT に相関関係がない．

同エリアには，当初 100 台の端末が存在し，3 つの基地局にランダムに割り当てられているとする．また，一定間隔毎に 0 台〜10 台の離脱端末と，10 台〜20 台の新規参入端末が発生することとし，その度に割り当て計算（イテレーション）を行う．イテレーションを 20 回繰り返して 1 回のシミュレーションとする．これらの一連のシミュレーションを 20 回実施し，各回の平均を取った．

シミュレーションプログラムでは，各基地局の収容可能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，全組み合わせの中で端末満足度の調和平均が最大となる組み合わせの中で，最低値が最大になる組み合わせを選択している．各基地局の収容可能数は，全て 150 台とした．

各端末で使用しているアプリケーションとしては，「ブラウザ」「動画ストリーミング」「通話アプリケーション」「その他」のうちのいずれかをランダムに割り当てた．各アプリケーションにおける必要 TP および必要 RTT は，表 5 の通りとする．本実験では，まず解法 1 として，20 回のすべてのイテレーションにおいて，新規参入端末のみを対象に割り当て計算を行った．次に，解法 2 として，イテレーションの 5 回，10 回，15 回，20 回では既存端末も含めた

| アプリケーション | グループ | 必要 TP | 必要 RTT |
|---|---|---|---|
| ブラウザ | $G_{TP}$ | 6Mbps | - |
| 動画ストリーミング | $G_{TP}$ | 2Mbps | - |
| 通話アプリケーション | $G_{RTT}$ | - | 200ms |
| その他 | - | - | - |

**表 5** 各アプリケーションの必要 TP・必要 RTT

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

全端末での割り当て計算を行い，それ以外の回では新規参入端末のみを対象とした割り当て計算を行った．

また，提案システムでの計算（解法 1，解法 2）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) [18] で提案されている手法（解法 3）

(2) 各端末をランダムに基地局に割り当てる手法（解法 4）

なお，解法 3 は，各基地局の TP および RTT から、AHP を使用して取得した目的関数が最大になる基地局に、順番に端末を割り当てる手法であり，グリーディ法をベースとしている．

### 5.2 実験結果

#### 5.2.1 端末満足度

シミュレーションの結果を，図 7〜10 に示す． まず，今

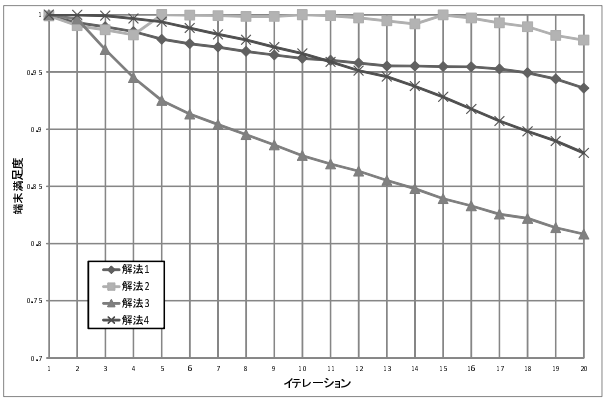



**図 7** ケース 1 の結果

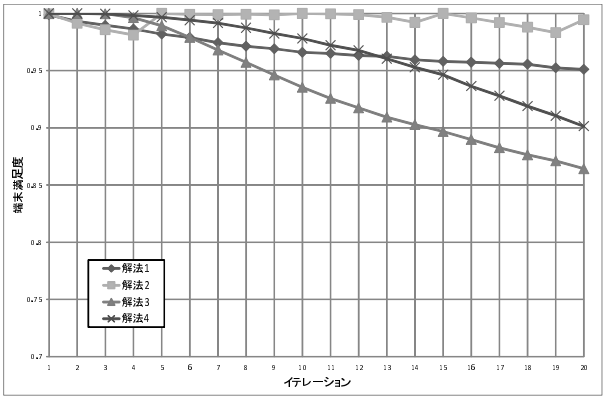



**図 8** ケース 2 の結果

回の実験では，0 台〜10 台の離脱端末と，10 台〜20 台の新規参入端末を一定間隔が発生させているため，イテレーションを重ねる毎に，エリア内の端末が増え，全体として端末満足度は低下する傾向にある．解法 4 がいずれのケースも徐々に低下してことは，そのためである．

その上で，解法 1 と解法 2 を比べると，すべてのケースで解法 2 のほうが高い端末満足度を示している．

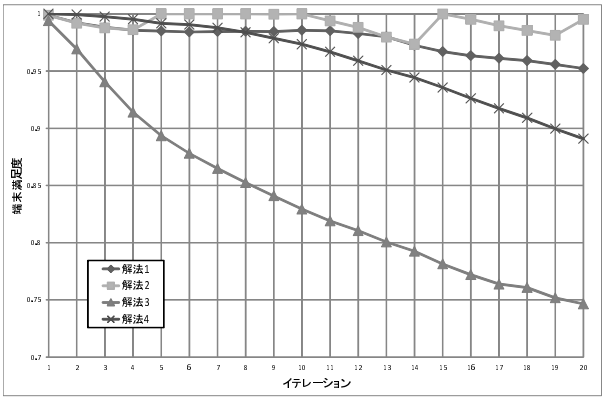



**図 9** ケース 3 の結果

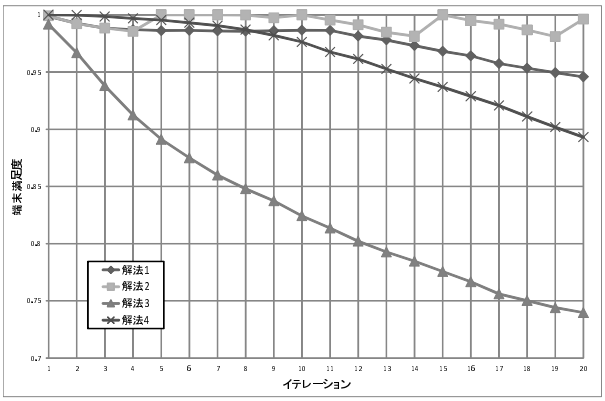



**図 10** ケース 4 の結果

また，解法 1 は，ケース 3，ケース 4 に比べて，ケース 1，ケース 2 での混雑時の端末満足度の低下が大きい．これは，TP と RTT に正の相関があることにより，ケース 3，ケース 4 に比べて，グループ $G_{TP}$ の端末とグループ $G_{RTT}$ の端末による棲み分けができないためと考えられる．それに対して，解法 2 は，いずれのケースでも，混雑時において高い端末満足度を維持することできている．

これらのことから，既存端末も含めた割り当て計算を定期的に行うことが有効であると考えられる．

また解法 2 は，解法 3，解法 4 と比べても，5 回目のイテレーション以降は，全てのケースにおいて端末満足度が高い結果となっている．1 回〜4 回のイテレーションでは，当初ランダムに割り当てられた既存端末が一度も割り当て計算の対象となっていないため，全体の端末満足度が下がっているが，5 回目のイテレーションで既存端末を対象とした割り当て計算を一度実施すれば，それ以降のイテレーションでは端末満足度が高い状態を維持することが分かった．

以上のことから，本提案システムが有効であることが確認できた．

#### 5.2.2 割り当て計算に要する処理時間

本実験では次の環境において処理を行った．

- OS：OS X Yosemite
- CPU：2.6GHz Intel Core i5

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.4
Vol.2016-CDS-15 No.4
Vol.2016-DCC-12 No.4
2016/1/21

| 端末数 | 処理時間 |
|---|---|
| 20 | 0.01 秒 |
| 40 | 0.07 秒 |
| 60 | 0.30 秒 |
| 80 | 0.97 秒 |
| 100 | 2.45 秒 |

**表 6** 端末数毎の処理時間

- メモリ：8.0GB

また，プログラミング言語としては，Java を使用した．

新規参入端末のみと対象とした割り当て計算における対象端末数毎の処理時間を表 6 に示す．既存端末を含めた割り当て計算の場合もほぼ同様の傾向であった．

## 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端末満足度について定義し，端末満足度を最大化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，既存端末も含めた割り当て計算を定期的におこなうように改良した．更にシミュレーションプログラムによる実験を行い，端末満足度の最大化，処理時間の 2 つの観点からその有効性を示した．

今後は，「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] 亀田栄一，篠宮紀彦：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，情報処理学会論文誌，Vol.5，No.4，pp.79-87 (2015).
[4] Forrester Consulting：eCommerce Web Site Performance Today，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] 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），http://www.soumu.go.jp/main_content/000158162.pdf.
[7] 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).
[8] 伊理正夫，今野浩，刀根薫：最適化ハンドブック，朝倉書店 (1995).
[9] 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).
[10] Ravindra K. Ahuja，Thomas L. Magnanti，James B. Orlin：NETWORK FLOWS: Theory, algorithms, and Applications，Prentice Hall (1993).
[11] 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).
[12] 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).
[13] 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).
[14] 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).
[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，電子情報通信学会論文誌 (B)，Vol.J89-B，No.4，pp.431-442 (2006).
[16] 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).
[17] 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).
[18] Zhikui Chen, Dalian, Qianzi Xiong, Yang Liu, Chongming Huang：A strategy for differentiated access service selection based on application in wlans, Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS),2014 IEEE, pp.317322 (2014).

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan