

高密度無線 LAN 環境における異種サービスを考慮した 仮想アクセスポイント構成手法

銀杏 一輝¹ 河野 圭太² 木下 和彦³ 渡辺 尚¹

概要: 近年, 高機能携帯端末の普及に伴い, 無線ネットワークを介して多様なサービスが利用されるようになり, モバイルデータトラフィックが急増している. そこで, 無線通信容量増加のために, アクセスポイント (AP) を高密度に配置した環境が考えられている. このとき, 多数の AP を利用状況に合わせて, 効率的に利用することが求められる. また, 今後は電波到達範囲が異なる AP の共存が考えられる. そこで本研究では, マクロセルとスモールセルが混在する環境で BE (Best Effort) ユーザと GBR (Guaranteed Bit Rate) ユーザが到着することを想定し, サービスごとに複数の物理 AP から構成される仮想 AP を形成して GBR ユーザの呼損率を目標値以下に抑えながら, BE ユーザの満足度を向上させる手法を提案する.

1. はじめに

近年, スマートフォンやタブレットに代表される高機能端末の普及に伴い, 従来のベストエフォート (BE) 型サービスだけでなく, 動画配信などのストリーミング型サービスが移動体通信で利用されるようになり, モバイルデータトラフィックが急増している. そこで, WiFi などのスモールセルを高密度に配置することで無線通信容量を増加させ, 移動体通信のトラフィックをオフロードして収容することが考えられる [1]. このとき, 多くのアクセスポイント (AP) を効率よく利用するために仮想化技術を適用することが考えられている. [2] では, VoIP と BE のサービスごとに仮想 AP を構成し, 割り当てる物理 AP を動的に変化させることでサービス品質を向上させている. しかし, VoIP サービスの品質向上のみに注目しており, BE ユーザの満足度は考慮されていない.

また, 近年では, IEEE802.11ad, af, ah など, 使用する帯域が異なる無線 LAN の実用化が進められており, 今後は電波到達範囲の異なる AP の共存が考えられる.

そこで本研究では, マクロセルとスモールセルが混在する環境で BE ユーザと GBR (Guaranteed Bit Rate) ユーザが到着することを想定する. GBR ユーザはサービス開始時に, 一定の帯域を要求し, 確保できない場合は呼損となる. BE ユーザは得られるスループットから満足度を設定する. このとき, GBR ユーザの呼損率を目標以下に抑

えつつ BE ユーザの満足度を向上する手法を提案する.

2. 関連研究

2.1 ネットワーク仮想化

ネットワーク仮想化は, 物理的なネットワークを抽象化し論理的に複数の仮想ネットワークを見せる, または複数のネットワーク機器で構成される物理ネットワークを抽象化して論理的に 1 つの仮想ネットワークに見せる技術である [3].

従来のネットワークでは, サービスやシステムに応じて物理的にハードウェアを用意する必要があるため, 設置場所やコストなどの点で柔軟に拡張することが困難であるのに対して, 柔軟にネットワークを構築できる.

近年では, ネットワークを仮想化する技術として SDN や OpenFlow [4][5] が注目されており, また, 別個のハードウェアで実装していた機能を同じサーバ上に集約する NFV [6] といった考え方に基づいた仮想化の実現が進んでいる.

2.2 WiFi ネットワークの仮想化

[2] では, WiFi ネットワークの仮想化として, サービスごとに複数の物理 AP で専用の仮想 AP を形成することを提案している. このとき, ある特定のサービスの仮想 AP に割り当てる物理 AP の数を動的に変更することにより, QoS を制御している. 評価では IEEE802.11 DCF, IEEE802.11e EDCA と比較して VoIP の DVR (Delay Violation Ratio) が改善されることを示している.

また, 文献 [7] では, ある特定のサービスの仮想 AP に割

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科

² 岡山大学情報統括センター

³ 徳島大学大学院理工学研究部

り当てるチャンネルを動的に変更することにより、VoIP など QoS を重視したサービスに対する優先制御を行っている。

3. 提案手法

3.1 想定環境

本研究では、図 1 のように、マクロセルが複数重なっているエリア上にスモールセルがチャンネル干渉のないように多層に敷き詰められて配置されている環境を考え、色づけられたエリアを仮想化の対象とする。ここで、マクロセルは IEEE802.11af, スモールセルは IEEE802.11n を想定する。同じ色の複数の物理 AP で 1 つのサービスの仮想 AP を形成している。エリア全体を両方の仮想 AP でカバーし、ユーザはどこにいてもいずれのサービスも利用できるようにする。

3.2 ユーザの接続

ユーザには仮想 AP が見えており、サービス開始時、システムがその仮想 AP に割り当てられた物理 AP の中から以下のように接続先を選択する。まず、1 つの物理 AP に接続できる最大 GBR ユーザ数に対する接続している GBR ユーザ数の割合を利用率と定義する。この利用率に応じて GBR ユーザの接続先を選択する。

複数のセルでカバーされている GBR ユーザについては、マクロセルはエリア全体をカバーして GBR ユーザを受け入れやすいことから、スモールセルに接続する。GBR の仮想 AP は割り当てられている物理 AP の利用率が高くなるほうが好ましいため、到着エリアがスモールセルでカバーされている場合はより利用率が高いスモールセルに接続する。帯域が不足している場合はマクロセルに接続する。複数のマクロセルでカバーされている場合は利用率が高いマクロセルに接続する。

BE ユーザは、BE の仮想 AP 内に割り当てられている物理 AP のうちで最も得られるスループットが高くなるもの

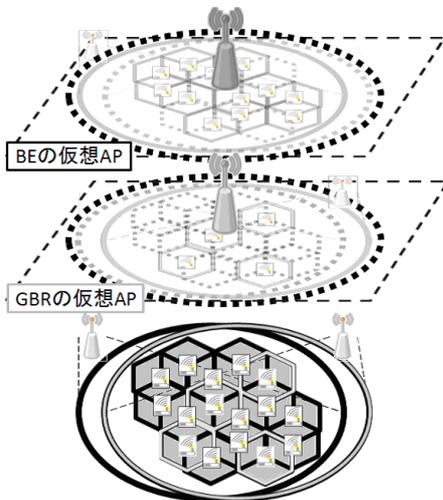


図 1 想定環境

に接続する。

3.3 仮想 AP の再構成

一定の時間間隔 τ で仮想 AP を再構成して仮想 AP に割り当てる物理 AP を変更することにより、GBR ユーザの呼損率を目標の値以下に抑えると共に BE ユーザの満足度を最大化する。このとき、サービスの瞬断を起こさないために GBR ユーザの接続先は変更しないこととする。また、GBR ユーザのサービス要求時にすぐに新たな物理 AP を割り当てるのは難しいため、目標呼損率を満たすだけの帯域を予め GBR の仮想 AP 内に残しておく。これを確保帯域と呼ぶ。

再構成のフローチャートを図 2 に示す。BE ユーザの利用できる資源を最大化するため、確保帯域を提供する最小限の物理 AP のみを GBR の仮想 AP に割り当てる。ただし、全エリアをカバーするためにマクロセルは BE と GBR の仮想 AP に 1 つ以上必ず割り当てる。

3.3.1 確保帯域の計算

まず、次の τ 時間中に到着する GBR ユーザ用に設ける確保帯域の計算方法について述べる。

エリア全体で GBR ユーザは平均 λ のポアソン分布に従って到着し、平均 $1/\mu$ の指数分布に従う時間だけ通信するものとする。物理 AP に接続している GBR ユーザ数が n であるとき、時間 τ の間に k 呼がサービスを終了する確率 $P(K = k)$ は

$$P(K = k) = P(X_1 \leq \tau) \cdot P(X_2 \leq \tau) \cdot \dots \cdot P(X_k \leq \tau) \cdot P(X_{k+1} > \tau) \\ = \prod_{j=1}^k (1 - e^{-(n-(j-1))\mu\tau}) (e^{-(n-k)\mu\tau}) \quad (1)$$

とかける。ただし、 X_i は i 番目の呼がサービスを終了するまでの時間である。

本研究では、時間 τ の間に k 呼がサービスを終了し、新たに $c + k + 1$ 呼到着する確率が目標呼損率を下回るよう

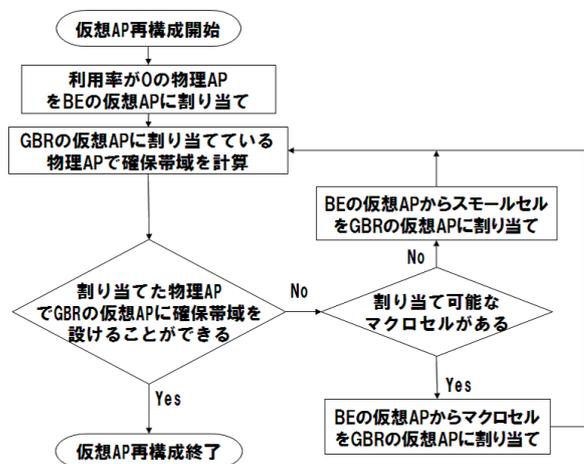


図 2 仮想 AP 再構成のフローチャート

な最小の c を求める。

Y を呼損する数とすると 1 呼以上呼損する確率は、

$$\begin{aligned}
 P(Y \geq 1) &= \sum_{k=0}^n P(K = k)P(Z \geq c + k + 1) \\
 &= \sum_{k=0}^n P(K = k) \left(1 - \sum_{i=0}^{c+k} P(Z = i)\right) \\
 &= \sum_{k=0}^n \left\{ \left\{ \prod_{j=1}^k (1 - e^{-(n-(j-1))\mu\tau}) (e^{-(n-k)\mu\tau}) \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left\{ 1 - e^{-\lambda\tau} \left(\sum_{i=0}^{c+k} \frac{(\lambda\tau)^i}{i!} \right) \right\} \right\} \quad (2)
 \end{aligned}$$

となる。 $P(Z \geq c + k + 1)$ は $c + k + 1$ 呼以上の呼が到着する確率である。 $P(Y \geq 1)$ が目標呼損率以下となるときの c を求め、GBR ユーザが要求する帯域を c 個分用意したものを確保帯域とする。

3.3.2 再構成の手順

GBR ユーザの接続先は変更できないため、再構成時に割り当ての変更の対象となる物理 AP は以下ようになる。

- GBR の仮想 AP に割り当てられており、GBR ユーザの接続数が 0 の物理 AP
- BE の仮想 AP に割り当てられている物理 AP

また、BE の仮想 AP から GBR の仮想 AP にスモールセルを割り当てる場合、スモールセルの選択の基準は以下のようになる。

- なるべくカバーエリアが重複しないようにスモールセルを選択するため、GBR の仮想 AP でカバーされていないエリアをカバーしているスモールセルを選ぶ。
- BE ユーザが多いエリアのほうに BE ユーザの接続の変更先を多くし、負荷分散しやすくするため、スモールセルを選んだとき、そのスモールセルがカバーしているエリアにいる BE ユーザが少ないものを選ぶ。

以上の点を踏まえて再構成の手順を示す。

- (1) GBR の仮想 AP に割り当てられている物理 AP の中で、利用率が 0 のものを BE の仮想 AP に割り当てる。
- (2) GBR の仮想 AP に割り当てられている各物理 AP でそれぞれ確保帯域を計算する。マクロセルはマクロセルがカバーしているエリアのみで計算する。スモールセルでの計算で、確保帯域がスモールセルのみに設けることができない場合はその設けることができない帯域をマクロセルの確保帯域に加える。
- (3) 手順 2 でマクロセルに確保帯域を設けることができない場合、BE の仮想 AP から物理 AP を割り当てる。マクロセルが割り当て可能な場合、マクロセルを割り当てる。できない場合はスモールセルを割り当てる。割り当てるスモールセルは GBR の仮想 AP でカバーされていないエリアをカバーしているものを優先し、さらにそのスモールセルがカバーしているエリアにい

る BE ユーザが少ないものを選ぶ。

- (4) マクロセルの確保帯域を再計算し、マクロセルに確保帯域を設けることができる場合、割り当てを終了する。できない場合手順 3 に戻る。

図 3 は手順 1 で、GBR の仮想 AP から利用率が 0 の物理 AP を BE の仮想 AP に割り当てる例である。①の物理 AP は GBR ユーザが 1 人も接続していないため、BE の仮想 AP に割り当てる。図 4 は手順 3 で BE の仮想 AP からスモールセルを GBR の仮想 AP に割り当てる例である。①、②、③、④のスモールセルは GBR の仮想 AP に割り当てられているスモールセルとカバーエリアが重複しないため、割り当て対象として優先される。次に、カバーエリアにいる BE ユーザ数が少ないものを選ぶ。④がカバーエリアに BE ユーザが 1 人しかいないため、④のスモールセルを選ぶ。

3.4 接続先の変更を考慮した仮想 AP 再構成

ハンドオーバー時の遅延による影響を小さくする研究 [8][9] がなされており、仮想 AP 再構成時に GBR ユーザの接続先も変更できる可能性がある。この場合、以下の手法によって更に利用効率を高められると考えられる。

3.4.1 GBR ユーザのサービス開始時の接続先選択

複数のスモールセルでカバーされている GBR ユーザについては、物理 AP の利用率が小さいほうが次に到着するユーザを受け入れやすいため、利用率が小さい物理 AP に接続する。

3.4.2 再構成の手順

すべての物理 AP が未割り当ての状態から図 5 に示すフローチャートのように再構成を行う。まず、マクロセルに設ける確保帯域を計算する。確保帯域は 3.3.1 節と同様に計算する。全エリアをカバーするためにマクロセルは 1 つ必ず割り当てる。次に GBR の仮想 AP に割り当てる物理 AP を選択する。ここで、GBR ユーザは一定の帯域を要求するため、GBR の仮想 AP に割り当てられている物理 AP

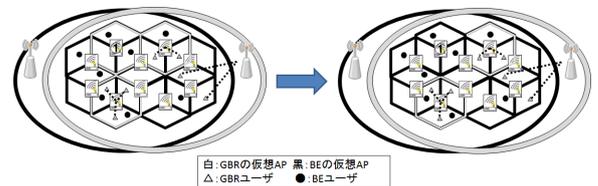


図 3 手順 1:利用率が 0 の物理 AP を GBR の仮想 AP に割り当て

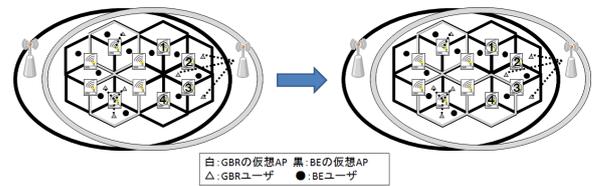


図 4 手順 3:GBR の仮想 AP にスモールセルを割り当て

は利用率が高くなるのが好ましいことに注意する。

GBR の仮想 AP に割り当てる物理 AP の選択

GBR の仮想 AP に利用率が高い物理 AP を割り当てながらマクロセルに確保帯域を設け、残りを BE の仮想 AP に割り当てることで、BE ユーザが使える資源を最大化できると考えられる。また、BE の仮想 AP もエリア全体をカバーする必要があるため、少なくとも1つのマクロセルを BE の仮想 AP に割り当てる。以下に具体的な手順を示す。

- (1) 再構成前に全 GBR ユーザ数を基に確保帯域を計算する。
- (2) マクロセルを1つ割り当てる。
- (3) 割り当てたマクロセルに全 GBR ユーザを接続でき、かつ、必要な確保帯域を設けることができる場合、そのように割り当てる。できない場合、手順4. に進む。
- (4) GBR の仮想 AP に割り当てられていない物理 AP の中で、通信範囲内にいる GBR ユーザを可能な限り接続したとき最も利用率が高くなるものを割り当てる。また、候補となる物理 AP がなくなったら、割り当てを終了する。
- (5) 残りの GBR ユーザを最初に割り当てたマクロセルに接続した上で必要な確保帯域を設けることができる場合、そのように割り当てる。できない場合、手順4. に戻る。

それぞれの手順での割り当ての例を図6に示す。図6(a)は手順2で GBR の仮想 AP がエリア全体をカバーするためマクロセルを1つ割り当てた状態である。図6(b)は最初に割り当てたマクロセルだけでは割り当てが終了できず、手順4での利用率が高くなる物理 AP を割り当てたときの状態であり、5人の GBR ユーザを接続できる①の物理 AP を選択して割り当てる。図6(c)は手順5で割り当てた物理 AP だけではすべての GBR ユーザを接続し確保帯域を設けることができず、次に利用率が高くなる②の物理 AP を割り当てて3人を接続した状態である。図6(d)は手順4

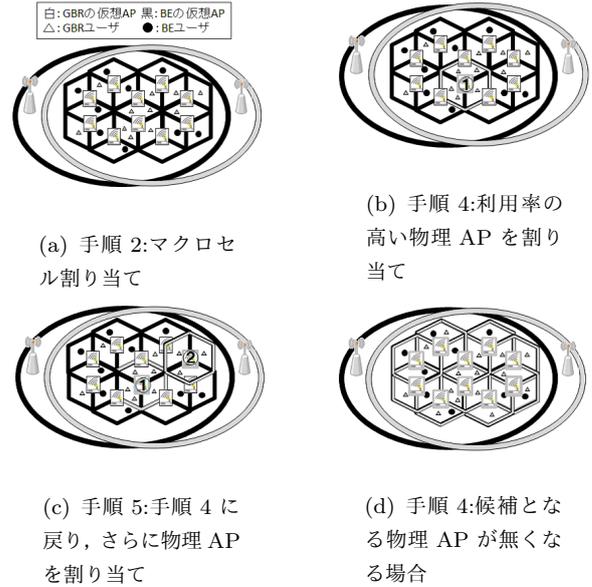


図6 物理 AP の割り当て状態

での利用率が高く物理 AP を割り当てていき、GBR の仮想 AP に割り当てる候補となる物理 AP がなくなった状態である。残り1つのマクロセルは BE の仮想 AP に割り当て、確保帯域を設けることができない場合でも割り当てを終了する。

確保帯域の最適化

再構成中にスモールセルの物理 AP を GBR の仮想 AP に割り当てた場合、その AP に接続したユーザ数の分だけマクロセルに必要な確保帯域が減少する。そこで、マクロセルのみがカバーしているエリアの到着のみを考慮し、マクロセルの確保帯域 c_{r_m} を計算する。

次に、スモールセルの確保帯域 c_{r_s} を、スモールセルがカバーしている範囲の到着のみを考慮して計算する。このとき、スモールセル容量を c_s 、スモールセルに接続するユーザが使う帯域 c_{u_s} に対して $c_s \geq c_{r_s} + c_{u_s}$ であればスモールセルだけで確保帯域を設けることができるが、 $c_s \leq c_{r_s} + c_{u_s}$ であれば、不足分をマクロセルに設ける確保帯域に加える。つまり、再計算してマクロセルに設ける確保帯域を c_{r_2} 、割り当てたスモールセルの中で $c_s \leq c_{r_s} + c_{u_s}$ を満たす最小のスモールセル数を i とすると、 $c_{r_2} = c_{r_m} + i \cdot \{(c_{r_s} + c_{u_s}) - c_s\}$ となる。

再構成前に計算したマクロセルに設ける確保帯域を c_{r_1} とすると、 $c_{r_1} \leq c_{r_2}$ となり、到着を考慮したエリアによって必要な確保帯域が減少する可能性がある。これを用いて以下のように割り当て AP を最適化する。

- スモールセルを BE の仮想 AP に割り当て

GBR の仮想 AP に割り当てたスモールセルに接続している GBR ユーザを差分の帯域に接続することで、そのスモールセルの利用率を0にできる場合、それらの GBR ユーザをマクロセルに接続先を変更する。こ

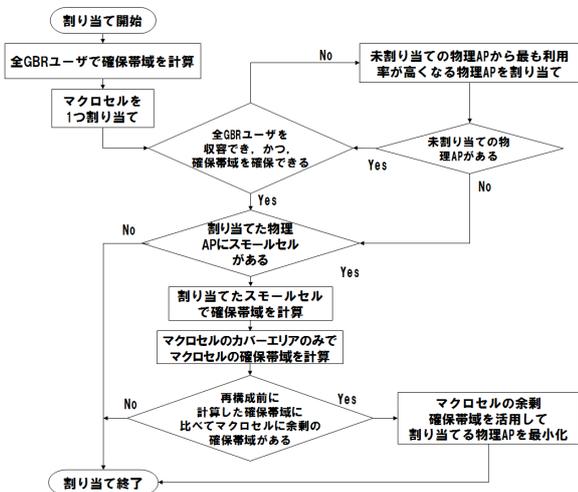


図5 接続先変更を考慮した仮想 AP 再構成のフローチャート

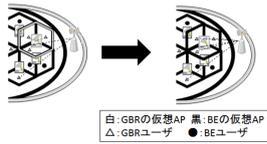


図 7 スモールセルを BE の仮想 AP に割り当て

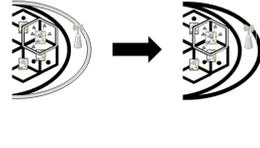


図 8 マクロセルを BE の仮想 AP に割り当て

のとき、利用率が 0 になったスモールセルを BE の仮想 AP に割り当てる。例えば、図 7 では、スモールセルに接続されていた 3 人の GBR ユーザを差分の帯域を使うことにより接続できる場合、マクロセルに接続しスモールセルを BE の仮想 AP に割り当てる。

- マクロセルを BE の仮想 AP に割り当て

GBR の仮想 AP に割り当てたスモールセルに接続している GBR ユーザを差分の帯域に接続しても、スモールセルの利用率を 0 にし、BE の仮想 AP に割り当てができない場合がある。その場合、差分の帯域がマクロセルごと確保できる場合はマクロセルを BE の仮想 AP に割り当てる。例えば、図 8 に示すように、マクロセルは確保帯域のためだけに割り当てられており、ユーザが接続していない状態である。このマクロセルの容量が差分の帯域より小さい場合、BE の仮想 AP に割り当てる。

3.5 満足度を考慮した BE ユーザの接続先変更

BE ユーザの満足度 s は対数関数に従い、得られるスループットを T [Mbps] として、以下のように表せるものとする [10].

$$s = \log T \quad (T > 1) \quad (3)$$

仮想 AP の再構成後、既に接続している BE ユーザの接続先物理 AP を s の合計が最大になるように変更する。

BE ユーザの満足度 s の合計が最大になるのは、全 BE ユーザのスループットが均等になるときだと考えられる。そこで、BE の仮想 AP から平均スループットが得られるように物理 AP ごとに接続可能人数を設定する。

マクロセルの数を M 、容量を C_M [Mbps]、スモールセルの数を S 、容量を C_S [Mbps] とする。エリア全体にいる全 BE ユーザ数を u_b とすると、BE の仮想 AP から得られる平均スループット T_{avg} は

$$T_{avg} = \frac{MC_M + SC_S}{u_b} \quad (4)$$

となる。均等になるように接続することを考慮すると、マクロセルの接続可能人数 u_M 、スモールセルの接続可能人数 u_S は、

$$u_M = \left\lfloor \frac{C_M}{T_{avg}} \right\rfloor, u_S = \left\lfloor \frac{C_S}{T_{avg}} \right\rfloor \quad (5)$$

となる。ただし、 $u_M < 1, u_S < 1$ の場合、 $u_M = 1, u_S = 1$

とする。

BE ユーザが存在するエリアを考えると、必ずしも、BE の仮想 AP に割り当てられている物理 AP がすべて接続人数が u_M 人、 u_S 人を満たすとは限らない。よって、各物理 AP に接続されるユーザ数が u_M, u_S に近くなるように接続先を変更する。

まず、スモールセルごとにカバーエリアのユーザ数を調べる。スモールセルがカバーしているエリアの BE ユーザ数が u_S 人以下であれば、そのスモールセルがカバーしているエリアにいる BE ユーザをすべて接続可能である。そこで、スモールセルをすべて探索し、そのような場合に BE ユーザの接続先を決定する。このとき、接続先の決定していない BE ユーザ数を u_r とし、既に BE ユーザを接続しているスモールセルの数を S' とすると、平均スループットは $T_{avg} = \frac{MC_M + (S - S')C_S}{u_r}$ に更新する。接続可能人数も更新する。

次に、全エリアを探索し、BE ユーザの接続先を決定する。以下に手順を示す。

- (1) セルの重複数の少ない順に 1 つエリアを選択。
- (2) 選択したエリアでスモールセル、マクロセルの順に BE ユーザを接続していく。スモールセルの接続人数が u_S 人、マクロセルの接続人数が u_M 人になったとき、その物理 AP の接続を終了する。
- (3) すべてのエリアで探索が終わるまで、手順 1.、手順 2. を繰り返す。

それぞれの物理 AP のカバーエリアに接続可能人数より多い BE ユーザがいると、その BE ユーザは全エリア探索後も接続先が決定されていない。この時、接続先の決定していない BE ユーザがいるエリアのみで接続可能人数を更新する。手順は次のようになる。

- (1) 接続先の決定していない BE ユーザがカバーエリアに存在する物理 AP を選択。
- (2) 接続先の決定していない BE ユーザがカバーエリアにいるスモールセルの個数を S'' とし、接続先の決定していない BE ユーザ数を u'_r とすると、平均スループットを $T_{avg} = \frac{MC_M + S''C_S}{u'_r}$ と更新し、接続可能人数を更新する。
- (3) 接続先の決定していない BE ユーザがいなくなるまで、手順 1.、手順 2. を繰り返す。

ここで、更新した平均スループット T_{avg} は実際には得られないが、接続先の均等性のために使われる。

図 9 で接続先の変更を行った例を示す。まず、スモールセルごとの探索を行う。図 10 では、色づいた 3 つの物理 AP が u_S 人以下の BE ユーザを接続可能なので、接続し、これらの物理 AP の個数を S' とし、接続可能人数を更新する。

次に、エリアごとの探索を行う。図 11 の①、②、③のエリアの順に物理 AP のカバーエリアの重複数が少ないの

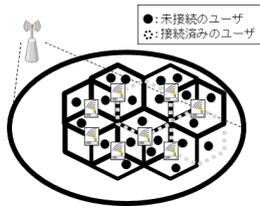


図 9 BE の仮想 AP に割り当てられている物理 AP

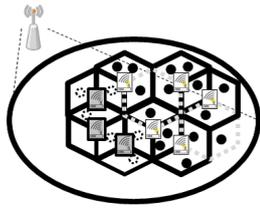


図 10 スモールセルごとの探索

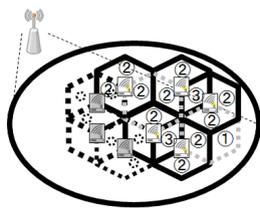


図 11 エリアごとの探索

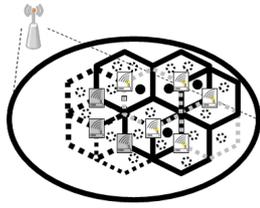


図 12 接続先の決定していない BE ユーザの接続先決定

で、この順に探索し、接続する。

最後に、接続先の決定していない BE ユーザの接続先の決定を行う。図 12 では 4 人接続先の決定していない BE ユーザがいるので、その 4 人のユーザがいるエリアのみで接続可能人数を更新し、接続先を決定する。

4. 性能評価

提案手法の性能を評価するため、計算機シミュレーションを行った。

4.1 評価モデル

スモールセルは六角形の通信可能エリアを想定した。マクロセルが 4 個重なっているエリアにスモールセルを 2 層に 16 個敷き詰めて配置し、マクロセルとスモールセルが重なっているエリアのみを仮想化の対象とした。マクロセルの容量は 35.6[Mbps]、スモールセルの容量は 65[Mbps]とした [11][12]。各サービスの物理 AP の初期割り当ては図 13 の色のようにした。

GBR ユーザは VoIP サービスを 2.0[Mbps] の帯域で平均 3 分 30 秒の指数分布に従う時間だけ利用するものとし、BE ユーザは 52.5[MB] ファイルダウンロードを要求するものとした。BE ユーザと GBR ユーザの使用する 1 ユーザあたりのトラフィック量が等しくなるように設定した。

全てのユーザはセルが重複しているエリアごとに設定された到着率のポアソン分布に従って到着し、サービスが終了するまで通信を開始したエリアから移動しないものとした。

GBR ユーザの目標呼損率を 0.01 とし、仮想 AP の再構成時間間隔を 10[s] とした。

比較手法では GBR, BE の仮想 AP に初期割り当ての状態から変化せず、それぞれ固定的に物理 AP を割り当てた固定割当方式を採用した。

BE ユーザは発生した呼の ID が 10001~100000 の計 10^5 呼がサービスを終了し、かつ、GBR ユーザの発生した呼の ID が 10001~100000 の計 10^5 呼がサービスを開始する、または呼損するまでシミュレーションを行った。

4.2 シミュレーション結果と考察

GBR ユーザの接続先変更なしの手法 (手法 1)、接続先変更ありの手法 (手法 2)、固定割当方式と比較し、GBR ユーザの呼損率と BE ユーザの平均満足度を評価した。BE ユーザの満足度は平均スループットの対数をとることにより求めている。

全体の到着率を 0.04 とし、BE ユーザと GBR ユーザの到着比率 $x : (1 - x)$ とし、 x を変動させたときの結果を示す。

図 14 より、GBR ユーザの呼損率は手法 1 は目標を達成し、最も呼損率が小さいという結果になった。手法 1 は GBR ユーザが 1 人でも接続している物理 AP は継続して割り当てられるため確保帯域以上の帯域が設けられていることが考えられる。手法 2 は GBR ユーザの到着比率が大きいときは目標を達成できていないが、比較手法より改善されていることがわかる。目標より大きくなっている原因としては、GBR ユーザの数が増えたため、確保帯域の計算で誤差が大きくなったことが考えられる。

図 15 より、BE ユーザの平均満足度について手法 2 は到着比率に応じた割り当てができていたため、比較手法に比べて、到着比率によらず満足度の差が小さくなることが確認できた。この結果から、BE ユーザの満足度について、ユーザの到着比率に応じて柔軟に対応できていることがわかる。また、手法 1 は GBR の仮想 AP に必要以上に物理 AP を割り当ててしまうため、手法 2 と固定割当より満足度が小さい結果となっている。

次に、到着比率を BE:GBR=1 : 1 とし、再構成を行う時間間隔を変更した。固定割当は全体の到着率を 0.04 とし、到着比率が BE:GBR=1 : 1 のときの結果である。図 16, 17 より、手法 2 は再構成間隔を 10[s] にすれば提案手法は有効に動作することが分かる。再構成の時間間隔が大き

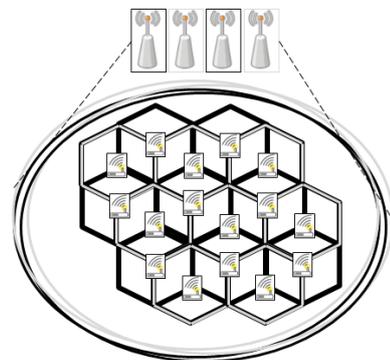


図 13 想定モデル (白色 : GBR の仮想 AP に割り当てられている物理 AP 黒色 : BE の仮想 AP に割り当てられている物理 AP)

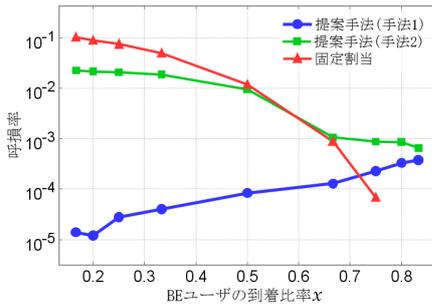


図 14 GBR ユーザの呼損率 (到着比率評価)

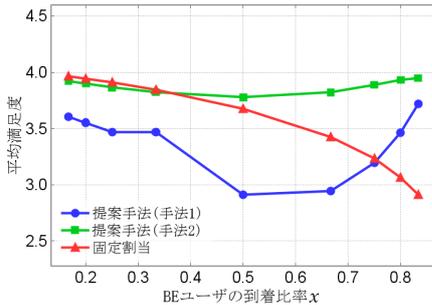


図 15 BE ユーザの平均満足度 (到着比率評価)

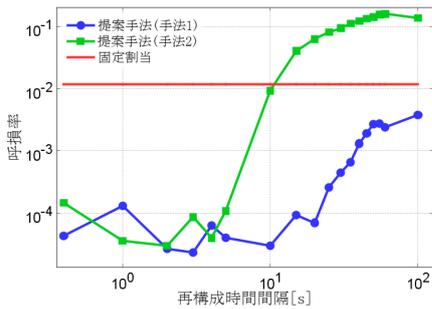


図 16 GBR ユーザの呼損率 (再構成時間間隔評価)

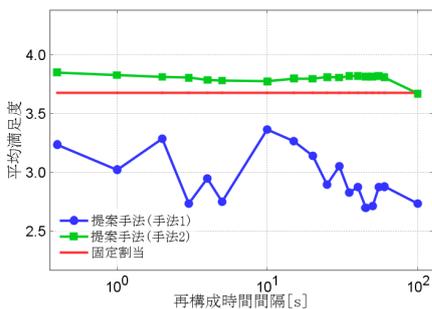


図 17 BE ユーザの平均満足度 (再構成時間間隔評価)

いとき呼損率が大きくなるのは、確保帯域が小さい値に予測されるためだと考えられる。また、手法 1 は GBR ユーザの呼損率は全体的に目標以下に抑えることができているが、BE ユーザの平均満足度は全体的に下がった。GBR の仮想 AP には新たに利用率が 0 のものを割り当てるので、割り当てられている利用率が低い物理 AP が多く割り当てられていることが要因として挙げられる。

5. 結論

本稿では、スモールセルとマクロセルが多く配置された環境で、複数の物理 AP から構成される仮想 AP をサービスごとに形成し、一定時間間隔で仮想 AP に割り当てる物理 AP を再構成することにより、GBR ユーザの呼損率を目標以下にしつつ BE ユーザの満足度を向上する手法を提案した。

今後の課題として、マクロセルにおける電波の距離減衰を考慮することが挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16H01718 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] I. Hwang, et al., "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no.6, pp. 20–27, 2013.
- [2] K. Nakauchi, et al., "WiFi Network Virtualization to Control the Connectivity of a Target Service," *IEEE Trans. Network and Service Management*, Vol. 12, No. 2, pp. 308–319, June 2015.
- [3] 中尾彰宏, "新世代ネットワーク構想におけるネットワーク仮想化," *信学誌* Vol.94, No.5, pp.385–390, May.2011.
- [4] 中尾彰宏, "SDN がもたらす柔軟な将来網の世界," *信学誌*, Vol. 96, No. 12 pp. 902–905 Dec. 2014.
- [5] C. Liang et al., "Wireless network virtualization: A survey, some research issues and challenges," *IEEE Comm. Surveys Tuts.*, Vol. 17, No. 1, pp. 358–380, 1st Quart. 2015.
- [6] H. Hawilo, et al., "NFV: State of the Art, Challenges and Implementation in Next Generation Mobile Networks (vEPC)," *IEEE Network*, Vol. 28, pp. 18–26, No. 6, Nov./Dec. 2014.
- [7] 山下 凌ほか, "仮想化対応 Wi-Fi ネットワークにおける動的チャンネル割り当てを用いた優先制御," *電子情報通信学会総合大会*, B-6-108, 2016.
- [8] H. Zhang, et al., "QoE-Based Reduction of Handover Delay for Multimedia Application in IEEE 802.11 Networks," *IEEE Comm. Letters*, vol. 19, no. 11, pp. 1873–1876, Nov. 2015.
- [9] A. Canovas, et al, "Vertical WLAN handover algorithm and protocol to improve the IPTV QoS of the end user," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Ottawa, ON, 2012, pp. 1901–1905.
- [10] R. Mahindra, et al., "A Practical Traffic Management System for Integrated LTE-WiFi Networks," *Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM/MobiCom)*, pp. 189–200, 2014.
- [11] L. Wookbong, et al., "TGaf PHY proposal," *IEEE P802.11*. Retrieved 2013-12-29.
- [12] 若月 峻ほか, "IEEE802.11n フレームアグリゲーションを用いた動画音声端末の収容台数向上手法," *情報処理学会マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム*, July 2013.