

ネットワーク主導強制ハンドオーバーによる 隣接アクセスポイント間無線 LAN 負荷分散手法の評価

吉田 智哉[†] 石原 進^{††}

CSMA/CA を基本とする MAC プロトコルを使用する無線 LAN において、アクセスポイント (Access Point: AP) が提供する無線通信資源は、その AP 配下の端末によって共有される。従ってその AP に接続する端末が増加するほど、端末 1 台当りのスループットは低下してしまう。しかしながら、現在多くの端末の実装では、AP-端末間の電波強度の情報のみを元にして、最も高い電波強度が得られる AP を接続 AP として選択してしまう。そのため、同一地域で利用可能な AP の負荷が不均一になり、ネットワーク全体のスループットを十分に高くできないという問題が生じる。

そこで筆者らは、端末の接続 AP に対する要求帯域がどれだけその AP から得ることができているかの割合を示す要求満足率を用いた負荷分散手法を提案した。本提案手法は要求満足率ベースの公平性を提供する手法であり、各端末のスループットを単に向上させるよりも、上記の問題点を考慮し、各端末の要求満足率を向上させる本手法のほうがより有効である。本稿において、提案手法の有効性を確認するため、シミュレーションによって評価及び検証を行った。

An Evaluation of Load balancing of wireless LAN with network triggered handover by negotiations between neighboring access points

TOMOYA YOSHIDA[†] and SUSUMU ISHIHARA^{††}

Because IEEE802.11 wireless LAN (WLAN) depends on CSMA/CA MAC mechanism, the throughput of each Mobile Device (MD) falls with the increase of the number of MDs associated with an access point (AP). Therefore it is ideal to make MDs connected with appropriate AP based on the state of the load when multiple APs are available in the same area. However, generally the load of APs is not uniform, because today's almost MDs select nearest AP based on the radio signal strength. This leads a problem that the wireless resource of the entire network is not used efficiently.

We proposed a scheme using a satisfaction ratio which represents how much requested bandwidth by each node is satisfied. This scheme provides the fairness of satisfaction ratio, while previous scheme provides fairness of throughput. In this paper, we evaluated and verified the performance of the proposed scheme by simulations it.

1. はじめに

無線 LAN は CSMA/CA を基本とする MAC プロトコル (Media Access Control) を使用しているため、アクセスポイント (Access Point: AP) が提供する無線通信資源は接続する端末によって共有される。従って、その AP に接続する端末が増加するほど、同じ AP に接続する各端末の 1 台当りのスループットは減少してしまう。しかしながら、現在普及している端末の多くは AP との電波強度情報のみを元に、最も電波強度の高い AP を接続する AP として選択する仕様となっている。ただし、電波強度が強くて高いスループットが得られるとは限らない。例えば、会議室に入ってきた端末の大多数が入り口付近にある AP に接続した場合、この AP だけに大量の端末からのアクセスが集中し、会議室内にある他の AP はほ

とんど利用されない状態となるケースが考えられる。つまり、同一エリアで利用可能な AP が他にある場合、ある AP に接続が集中すると、その AP 配下の端末のスループットが低下するのみならず、AP 間の負荷が不均一になり、ネットワーク全体のスループットを十分に高くできず、端末間の公平性を保てないという問題が生じてしまう¹⁾。そのため、同一エリアで異なるチャネルを使用して複数の AP が利用可能な場合、AP の負荷状態に基づき適切な AP に端末を接続させるのが理想的である。

筆者らはネットワーク側で端末のハンドオーバーが管理できるという前提の下、各 AP の負荷状況により端末を強制的にハンドオーバーさせ、負荷を分散させる手法であるネットワーク主導強制ハンドオーバーによる無線 LAN 負荷分散を提案してきた²⁾。しかしながら、提案手法²⁾では同一 AP に異なる複数のビットレートで通信を行う端末が混在してしまうため、その結果、その AP 下の全端末のスループットが極端に低下してしまうという問題点があった。そこで、筆者らは AP-端末の可変ビットレ

[†] 静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

^{††} 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

トを考慮した要求満足率を用いた手法を提案した．要求満足率とは，端末が接続する AP に対してどれだけその AP から帯域を得ることが出来ているかの割合を表すものである．前提案手法はスループットベースの公平性を提供する手法であるのに対して，本提案手法は要求満足率ベースの公平性を提供する手法であり，移動端末のスループットを一様に向上させるのではなく，要求満足率を一様に向上させようとする手法である．

以下，2 章では関連研究，3 章で本提案手法を述べ，4 章でシミュレーションによる評価を行い，5 章でまとめを述べる．

2. 関連研究

端末を適切な AP に接続させ，負荷分散をさせる手法は端末主導とネットワーク主導の 2 つに分けられる．

福田らは端末自律分散型 AP 選択機構を提案している³⁾⁴⁾．端末側で各 AP 毎に獲得可能なスループットを予測し，その予測スループットが最大になる AP を接続 AP として選択する手法である．獲得予想スループットは，パケットエラー率と AP に接続している端末数から計算される．しかし，これは端末主導の手法であり，各端末が他端末を考慮せずに自身が接続する AP を選択するよりも，ネットワーク全体を見渡し，各端末の情報を元に接続する AP を決定するネットワーク主導の手法の方がより効果的に負荷分散が可能と予想される．この事は，この手法に限らず，端末主導の手法全てにあてはまる．例えば，カバー域を共有する 2 台の AP (AP1, AP2) が配置されており，複数の端末が AP1 に集中して接続しているものとする．そこに使用帯域の大きい端末がその AP に接続してきた場合，端末主導の手法では各端末は AP1 が自身にとって最適な AP と判断し，AP1 との接続を維持してしまい，結果として AP1 だけ混雑した状況となってしまう．一方，ネットワーク主導の手法では，AP1 に接続中の各端末の負荷等の情報からいくつかの端末を AP2 にハンドオーバーさせる．その結果，AP1 の負荷が分散されることとなる．

Bejerano らは単一の制御サーバを用いた負荷分散手法を提案している⁵⁾．この手法はネットワーク主導の手法の 1 つである．この手法ではまず，最大ビットレートの変化に伴う AP の負荷の定義を行っている．さらに，ネットワーク全体を監視でき，なおかつ端末のハンドオーバーが管理できる Network Control Center (NOC) という一極集中型の管理サーバをネットワーク側に設置し，実効もしくは予測ビットレートに基づき，NOC が AP と端末の接続の組み合わせの最適化問題を線形計画法で解くものである．しかしながら，この手法はネットワーク全体の情報を元に，NOC が AP-端末接続の組み合わせを決定す

るため，ネットワークの規模が大きくなると計算コストが増大してしまい，スケーラビリティに乏しいという問題点がある．また，NOC が単一故障点である事も問題である．

3. 提案手法 ~ 要求満足率を用いた手法 ~

3.1 目的及び本手法の利点

本論文では，各端末の要求満足率を用いた AP 負荷分散手法を提案する．ここで要求満足率とは，端末の接続 AP に対する要求帯域がどれだけその AP から得ることができているかの割合を示す．AP が端末のハンドオーバーを管理でき，なおかつ隣接 AP の情報が利用可能であれば，本手法を使う限り文献 5) の手法のような一極集中型の管理サーバは必要ない．従って，堅牢性やスケーラビリティの面において，本手法は文献 5) の手法に対して優位性を持っていると言える．

筆者らの前提案手法では，各 AP の負荷を分散させることにより，ネットワーク全体のスループットを向上させ，各端末の公平性を保つことを目的とし，スループットベースの公平性を提供する手法である．それに対し，本論文で提案する要求満足率を用いた手法は，各端末の要求満足率の向上を目的とした，要求満足率ベースの公平性を提供する．

3.2 本手法の前提

本手法は，例えば図 1 のような同一地域に複数の AP が配置されている環境下に複数の端末がそれぞれ AP に接続している環境を想定している．

本手法の前提として，各 AP は以下の情報を取得できるものとする．

- 自身に接続可能な端末の最大ビットレート
 - 例: 11Mbps, 2Mbps, etc.
- 自身配下の端末の要求帯域
 - 例: 1Mbps, 500kbps, etc.

以上の 2 つにより，端末の要求満足率が AP によって計算されることになる．また，自身と隣接している AP 間で定期的通信を行うことにより隣接 AP の同様の情報も取得可能であるとする．

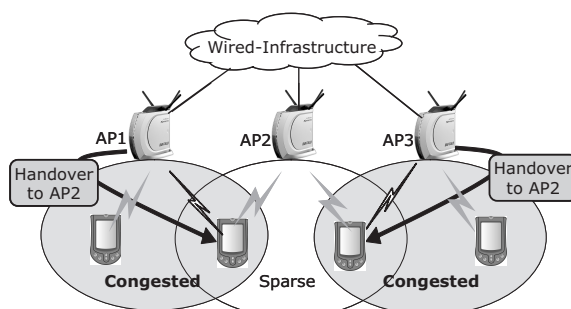


図 1 想定環境

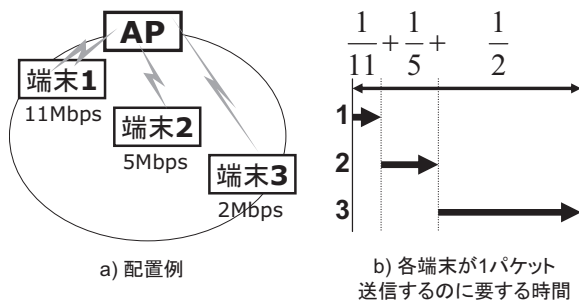


図2 スループット計算の具体例

加えて、端末は定期的にチャネルサーチ等を行うことにより、以下の情報を取得できるものとする。

- 接続 AP とのビットレート
 - 接続可能な隣接 AP とのビットレート
- 以上を本提案手法の前提条件とする。

3.3 基本動作

提案手法は強制ハンドオーバー処理対象の AP 判定と強制ハンドオーバー対象の端末選出の 2 処理からなる。以下、各処理について述べる。

3.3.1 強制ハンドオーバー処理対象の AP 判定方法

各 AP は自身の配下の端末をのいずれかを強制ハンドオーバーさせる必要があるか否かを各端末の要求帯域を元に判定する。まず、各 AP は自身の配下の端末が得られる最大スループットを以下の式により計算する。具体的には、単位時間を各端末が AP との接続ビットレートでの 1 パケット送るための時間で除することにより、スループットを計算する。ここで、端末の ID を i 、AP の ID を j 、端末 i の最大スループットを T_i 、AP j に接続している端末の集合を N_j 、端末 i と接続 AP とのビットレートを r_i とする。

$$T_i = \frac{1}{\sum_{i \in N_j} 1/r_i} \quad (1)$$

同一 AP 配下の端末の最大スループットは同一である。これは、文献 (6)7) でも述べられているように、CSMA/CA はパケット送信機会の公平性を提供しているため、各端末が単位時間内に送信できると考えられるパケットは同数になるからである。スループットの計算の具体例を図 2 に挙げる。AP1 台に 3 台の端末 (端末 1,2,3) が接続しており、それぞれ 11Mbps, 5Mbps, 2Mbps で接続しているものとする。それぞれの端末が 1 パケット送信するための時間を相対的に表すと、 $1/11, 1/5, 1/2$ であり、この AP に接続することによって得られるスループットは、

$$\frac{1}{1/11 + 1/5 + 1/2} \cong 1.26(\text{Mbps}) \quad (2)$$

となる。

求めた最大スループット T_i を用いて、まず AP 配下の端末の仮の要求満足率を以下の式によって求める。こ

で、 L_i は端末が接続する AP に対して要求する帯域幅、 S'_i は端末 i の仮の要求満足率である。

$$S'_i = \frac{T_i}{L_i} \quad (3)$$

この時求めた S'_i ($i \in N_j$) の値によって以下の 3 通りの処理を行う。

Case 1: 自身の配下の全端末が $S'_i \geq 1$ の場合

この AP 配下の端末は全て要求帯域を得ることができているということである。そのため、要求満足率 S を 1 と置きなおし ($S = 1$)、この AP 配下の端末はハンドオーバーさせない。

Case 2: 自身の配下の全端末が $S'_i < 1$ の場合

この AP 配下の端末は全て要求帯域を十分に得ることができていない。したがって、仮の要求満足率 S' をそのまま要求満足率 S とし ($S = S'$)、強制ハンドオーバー対象端末の選出処理に移行する。

Case 3: 自身に $S'_i \geq 1$ と $S'_i < 1$ の端末が混在している場合 (要求満足率の再計算処理)

$S'_i > 1$ となっている端末は、単位時間内に要求帯域を得ることができており、要求帯域を得た後も単位時間の残りをパケット送信時間として与えられている端末である。つまり、この端末には必要以上のパケット送信時間 (以下、余剰時間と呼ぶ) が与えられている。この余剰時間は本来であれば他の端末の通信に用いられるものであるため、これが同一 AP 配下の他の端末に割り当て直されるものとして S'_i を再計算する。

具体的には、その割り当てられた時間内に割り当てられた側の端末のみでどれだけ要求帯域を満たすことができるかの割合を上記と同様に計算を行う。これを元に、余剰時間を割り当てられた側の要求満足率の再計算を行う。余剰時間の他の端末への割り当ては、最大の要求満足率を持つ端末から順に行う。この処理を全ての端末の要求満足率が 1 以上となるか、もしくは余剰時間を持つ端末の選出ができなくなるまで続ける。

図 3 に余剰時間の割り当ての例を示す。この図の横軸は各端末が自身の要求帯域を満たすまでの時間を示している。各端末の仮の要求満足率は、 $S'_1 > S'_2 > 1 > S'_3$ を満たしているものとする。まず 3 つの中で最大の要求満足率を持つ端末 1 の余剰時間を他の端末 (端末 2, 3) に与える。端末 2, 3 は端末 1 が使用しなかったパケット送信時間を使用することになるので、その分要求帯域を満たすまでの時間は短くなる。端末 1 は自身の要求帯域のみ通信を行うことになるので、 $S_1 = 1$ となるように更新する。次に、端末 2 が $S'_i > 1$ の端末の中で最大の要求満足率を

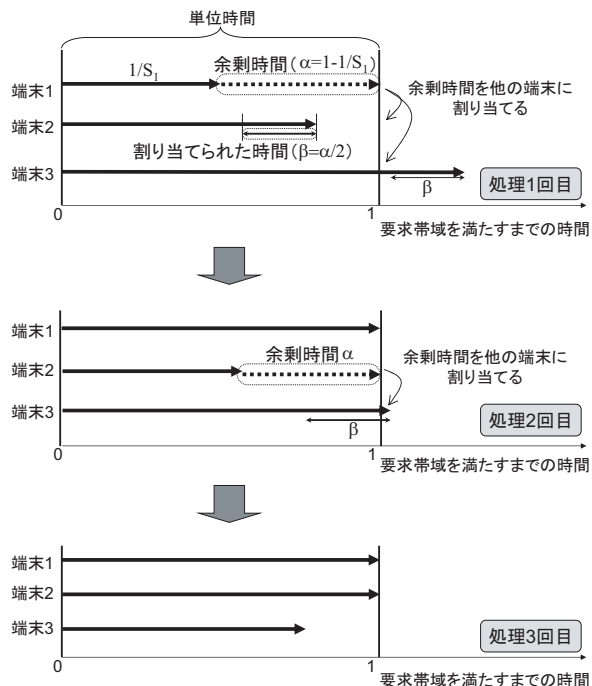


図3 余剰時間の再割り当て例

持つ端末になるので、再び同様の処理を行う。この結果、余剰時間を与える側となる $S'_i < 1$ となる端末は存在しなくなるため、要求満足率の再計算処理は終了となる。また、 $S'_i < 1$ の端末が存在していても、余剰時間を与える $S'_i < 1$ の端末が存在しない場合にも、余剰時間の再計算処理は終了となる。

上記で述べた要求満足率の再計算処理のアルゴリズムを示す。以下、 $S'_i \geq 1$ の端末に割り当てられてしまっているパケット送信時間を余剰時間 α とし、余剰時間を他の端末のパケット送信時間に与える端末の集合を \mathbf{H}_j とする。アルゴリズムの開始時には、 $\mathbf{H}_j = \phi$ である。

- (1) \mathbf{N}_j に含まれる端末から最大の仮の要求満足率を持つ端末 m を選出し、その端末が持つ余剰時間 α を計算する。

$$\alpha = 1 - \frac{1}{S'_m} \quad (4)$$

端末 m を \mathbf{H}_j に追加し、 $S_m = 1$ とする。

- (2) \mathbf{N}_j から \mathbf{H}_j を除いた全ての端末 ($=\mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j$) に割り当てられるパケット送信時間を次の式で計算する。 $|\mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j|$ は $\mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j$ に含まれる端末数を示す。

$$\beta = \frac{\alpha}{|\mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j|} \quad (5)$$

- (3) 各端末に割り当てられた余剰時間 β で送ることができるデータ量を A とすると、

$$A = \beta \sum_{i \in \mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j} \frac{1}{r_i} \quad (6)$$

と表すことができる。これより、 $\mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j$ 中の各端末に追加される要求満足率 ΔS_i を得る。

$$\Delta S_i = \frac{A}{L_i} \quad (7)$$

- (4) 仮の要求満足率 S'_i に ΔS_i を足す。

$$\text{new}S'_i = S'_i + \Delta S_i \quad (i \in \mathbf{N}_j - \mathbf{H}_j) \quad (8)$$

上記の処理の結果は以下の3つの場合に分けられる。この結果に従い、後述する強制ハンドオーバー対象端末の選出処理に移行するか否かを決定する。

Case 3-1: Case 1 と同様に配下の全端末が $S_i \geq 1$ となった場合

Case 1 と同様、この AP 配下の端末は全て要求帯域を得ることができていることになり、要求満足率を $S = 1$ とし、この AP 配下の端末はハンドオーバーさせない。

Case 3-2: 自身に $S_i = 1$ と $S_i < 1$ の端末が混在している場合

この AP 配下の端末の中には、要求が満たされていない端末 ($S'_i < 1$ の端末) が存在するので、Case 2 と同様に $S = S'$ とし、強制ハンドオーバー対象端末の選出処理に移行する。

Case 3-3: 自身に $S_i \geq 1$ と $S_i < 1$ の端末が混在している場合

余剰時間を持つ端末が存在すると共に、その余剰時間を割り当てることができる要求帯域が満たされていない端末が存在するので、再び Case 3 の要求満足率の再計算処理を行う。

この処理の結果は、Case 3-3 となった場合でも処理を繰り返すことにより、最終的には Case 3-1, 3-2 のいずれかに収束する。

3.3.2 強制ハンドオーバー対象端末の選出方法

AP が前項の処理によって自身が強制ハンドオーバー処理が必要であることがわかると、自身および隣接 AP 配下の端末の要求満足率を元に強制ハンドオーバー対象の端末の選出を行う。以下、注目 AP を j 、 j の隣接 AP の集合を \mathbf{M}_j とする。 γ, δ をそれぞれ調整用の係数、 $0 < \gamma < 1$ 、 $0 < \delta < 1$ とする。 θ は対象 AP の要求満足率の最大差分が十分に大であることを判定するための係数である。

Case 1: $\sum_{i \in \mathbf{N}_j} S_i / |\mathbf{N}_j| < \gamma \min_{k \in \mathbf{M}_j} \sum_{i \in \mathbf{N}_k} S_i / |\mathbf{N}_k|$ ($k \in \mathbf{M}_j$) の場合

r_i ($i \in \mathbf{N}_j$) が \mathbf{N}_j の中で小さい端末から順に、隣接 AP の中で配下の端末の要求満足率が最も高い隣接 AP で、移動後のビットレートが移動前より下がらないことを確認し、これを満たす場合、この端末をハンドオーバーさせる。

小さいビットレートで AP に接続している端末を

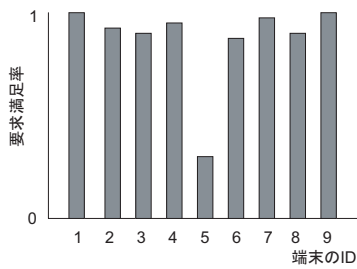


図4 Case 2 の具体例

ハンドオーバーさせることにより、対象 AP 配下の端末の最小ビットレートが上がり、最大スループットが向上するので、対象 AP 配下の全端末の要求満足率が向上される。またハンドオーバー後に比べ、ハンドオーバー前よりも小さなビットレートにならない端末をハンドオーバー対象端末として選出することで、その端末のみ不当に低いビットレートで接続を強いることなく、ハンドオーバーさせることができる。

$$\text{Case 2: } \begin{cases} \sum S_i / |N_j| \geq \delta \max S_i \quad (i \in N_j) \\ \text{かつ} \\ \max |S_a - S_b| > \theta \quad (a, b \in N_j) \end{cases} \text{ の場合}$$

図4の様に、Case 1 の条件を満たさず、対象 AP 配下の端末の要求満足率の平均値は高いが、一部の端末のみ要求満足率が低い場合、その一部の端末の要求帯域が大きいので、より要求に応えられるような以下の条件を満たし、隣接 AP の中で最小の N_k ($k \in M_j$) を持つ AP へその端末をハンドオーバーさせる。ただし、 r_j はハンドオーバー対象端末と AP j とのビットレートである。

$$\begin{cases} r_j \leq r_k \quad (k \in M_j) \\ \text{かつ} \\ \sum_{i \in N_k} S_i / |N_k| = 1 \end{cases}$$

このとき選択される隣接 AP は、その端末がその AP にハンドオーバーすることによって、移動後に比べ移動前よりもビットレートが低下せず、配下の全端末の要求を満たしている、つまり他の端末を受け入れる余裕のある AP である。

したがって、他の端末を受け入れる余裕のある AP へとハンドオーバーさせることで要求帯域の大きい端末の要求満足率を向上させることができ、それでいて、ハンドオーバー先 AP の配下の端末に悪影響を与える可能性は低いといえる。

4. シミュレーションによる評価

本提案手法の有効性を検証するため、シミュレーショ

ンによる評価を行った。

4.1 提案手法と旧提案手法の比較

本稿で提案した要求満足率を用いた手法と、筆者らが先に提案した負荷評価値を用いた手法 2) の比較を行った。

4.1.1 旧提案手法の概要

旧提案手法と比較するにあたり、筆者らが先に提案した負荷評価値を用いた手法の概要について述べる。図1のような提案手法と同様の環境下において、各 AP は配下の端末の負荷寄与値（端末が接続 AP に与える負荷の評価指標）から自身の負荷評価値（AP の混雑具合、負荷を表す評価指標）を計算する。その際、各端末が持つ負荷寄与値を対象となる AP とのビットレートで除することで、可変ビットレートによるチャンネル占有時間の差を負荷寄与値に反映させる。対象 AP の負荷評価値よりも小さい負荷評価値を持つ隣接 AP が存在すれば、対象 AP は自身の隣接 AP へ対象 AP から端末を強制的にハンドオーバーさせる。AP は強制ハンドオーバー対象端末として、両 AP に接続可能な位置に存在し、対象 AP と同等もしくは大きいビットレートを移動先隣接 AP で得ることができ、ハンドオーバーすることにより対象 AP とその隣接 AP の負荷評価値が負荷評価値平準化の目標値に最も近づくような負荷寄与値を持つ端末を選出する。こうすることにより、対象 AP とその隣接 AP の負荷評価値の総和が端末のハンドオーバー前よりも大きくなることはないので、適切に負荷を分散させ、ネットワーク全体の負荷も小さくすることができる。

4.1.2 条件

図5の様な 100m × 100m の 2 次元平面上に使用チャネルの異なる AP3 台、端末 25 台を配置する。AP 及び端末の通信可能範囲は 80m とした。端末の配置はそれぞれ図5のように、A) エリア全体に均等に配置、B) 75m × 75m のエリアに均等に配置、C) 100m × 50m のエリアに均等に配置した。端末の要求帯域は大: 600kbps、中: 400kbps、小: 200kbps の 3 種類とし、全体にまばらになるように配置した。図5中の端末の位置の円の大きさは要求帯域の大きさを表している。AP-端末の接続ビットレートは AP-端末間の距離 d によって以下のようにした。

- $0m < d < 20m$ のとき、11Mbps
- $20m < d < 40m$ のとき、5Mbps
- $40m < d < 60m$ のとき、2Mbps
- $60m < d < 80m$ のとき、1Mbps

シミュレーション開始時には端末が最も近い AP に接続するようにした。なお、MAC 層における CSMA/CA の詳細な動作の影響は考慮せず、各端末のデータパケットによるチャンネル占有率のみに従って評価を行った。

4.1.3 結果

まず、各 AP 配下の端末の要求満足率の推移を図6に

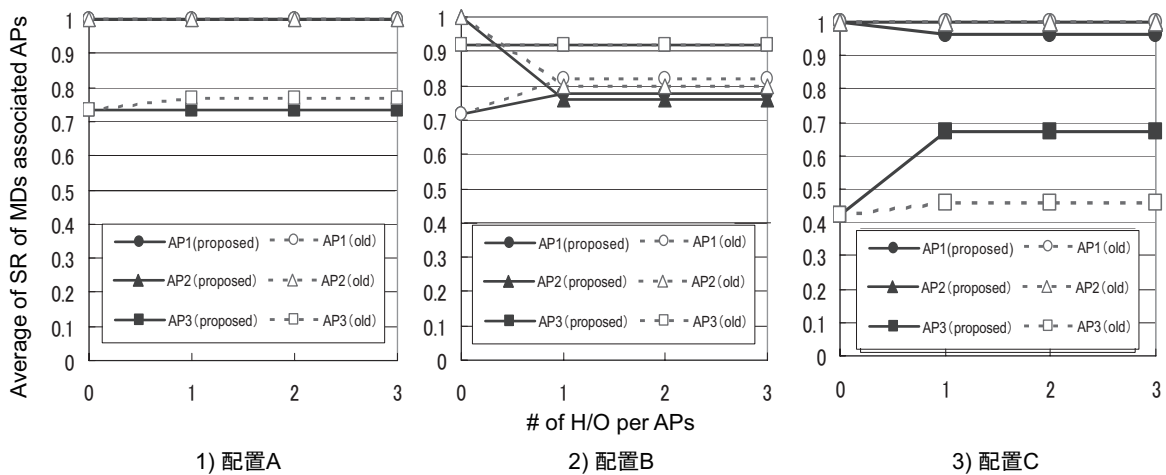


図 6 各 AP の要求満足率の推移

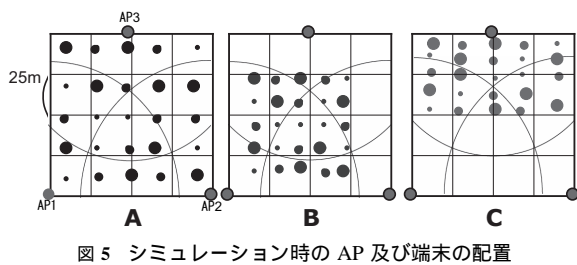


図 5 シミュレーション時の AP 及び端末の配置

示す。各グラフとも、横軸は AP あたりの強制ハンドオーバー処理回数、縦軸は AP 配下の端末の要求満足率の平均を示している。配置 A 及び B の結果を見ると、若干ではあるが旧提案手法の方が要求満足率が高く出ているものの、提案手法の結果も旧提案手法の結果もほぼ変わらない結果となった。配置 C の結果を見てみると、旧提案手法は初期状態からほとんど要求満足率が変化していないのに対して、提案手法の結果は、要求満足率が向上しているのが見て取れる。この理由として、旧提案手法の強制ハンドオーバー対象端末選出時に、隣接 AP にハンドオーバーすることにより、ビットレートが下がらない端末でなければならないという条件があるため、初期状態で多数の端末が AP3 に接続したまま、AP3 と AP1, AP2 との間で負荷状態に差があるのにも関わらず、端末をハンドオーバーさせることができなかったということが考えられる。また、各配置とも、AP 当たり 1 回の強制ハンドオーバー処理で、要求満足率の変化が収束していることがわかる。

次に、シミュレーション終了時における各端末の要求満足率及びスループットを図 7 に示す。各図とも、横軸は端末の番号、左縦軸は各端末が得られたスループット、右縦軸は各端末の要求満足率を示している。この結果においても配置 A, B では、提案手法、旧提案手法の結果に違いはほとんど無かった。配置 C の結果を見ると、提

案手法がより高い要求満足率を得ている端末が増加していることがわかる。また、全ての配置において、旧提案手法では一部の端末のみが高いスループットを得ている一方で、その他の端末のスループットが低い傾向が見受けられるのに対し、提案手法では要求帯域の高い端末ほど、より高いスループットが得られる傾向が見られ、旧提案手法に比べ、より高い要求帯域をもつ端末により高いスループットを提供するという観点に沿った端末をハンドオーバーさせていると言える。

4.2 AP-端末の全組合せと提案手法との総当り法による比較

次に、総当り法によって得られた最大平均要求満足率と提案手法によって得られた結果の比較を行った。本評価では AP-端末接続の全ての組み合わせ及び配置の全ての組み合わせにおいて、提案手法がその条件下での各端末の要求満足率を最高値にすることが出来るかを検証するため、総当り法により各接続及び各配置での全端末の最大平均要求満足率を計算し、同じ組み合わせでの提案手法による負荷分散結果との比較をした。

4.2.1 条件

図 8 に示すように、2 次元平面上に使用チャネルの異なる AP2 台を配置する。図 8 中の番号 1 から 7 は端末の配置位置を表している。各配置に対して、以下のいずれかに従って端末を配置する。

- 端末を配置しない
- 要求帯域大 (3Mbps) の端末を 1 台配置する
- 要求帯域小 (300kbps) の端末を 1 台配置する

この全ての組み合わせ ($3^7 = 2187$ 通り) に関して、全ての AP-端末の接続の組み合わせにおける平均要求満足率を調べ、最大値を得る AP-端末接続の組み合わせを得た。

各端末の AP との接続ビットレートを表 1 に示す。なお、1, 2 に配置される端末は AP2 に接続することは不

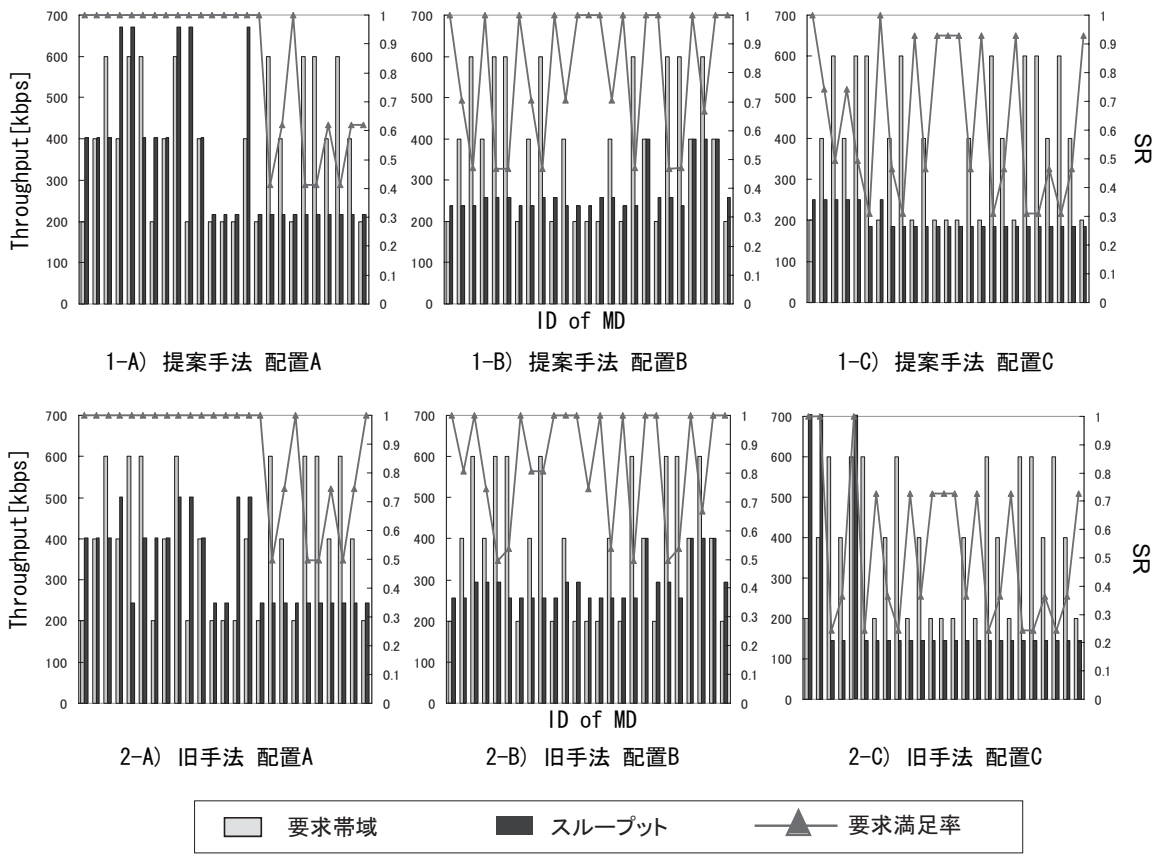


図7 各端末のスループット及び要求満足率

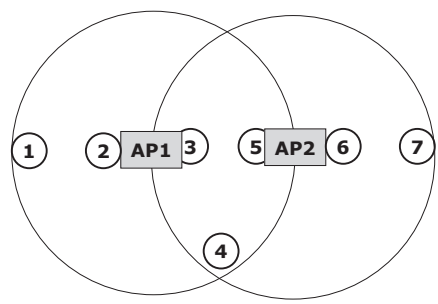


図8 APおよび端末の配置

表1 APと端末の接続ビットレート (Mbps)

端末位置	1	2	3	4	5	6	7
AP1	1	11	11	1	1	-	-
AP2	-	-	1	1	11	11	1

可能であり、6,7に配置される端末はAP1に接続することは不可能である。シミュレーション開始時のAP-端末間の接続の初期状態は、端末が最も近いAPに接続するようにした。CSMA/CAの影響はスループットの計算のみ考慮する。

4.2.2 結果

結果を図9に示す。横軸は端末配置の組み合わせ、縦軸は端末配置の全組合せの平均要求満足率の最大値と提

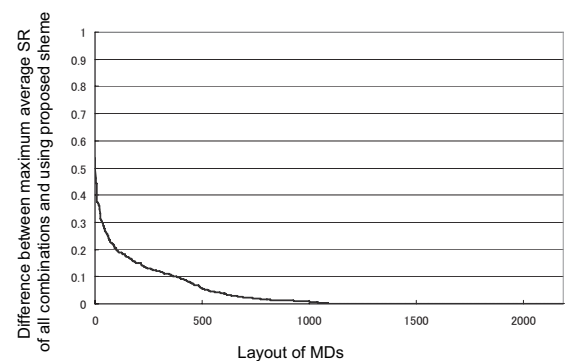


図9 端末配置の全組合せの平均要求満足率の最大値と提案手法使用時の平均要求満足率との差

案手法使用時の平均要求満足率との差を示す。この結果は、平均要求満足率が高いものが左になるようにソートしてある。図9からわかるように、いくつかの場合において提案手法を用いても端末の要求満足率の平均が最高値となるAP-端末の接続の組み合わせにならないことがわかった。

特に、以下のような配置、AP-端末の組み合わせで要求満足率の平均の最高値と提案手法使用時の要求満足率の平均との差が顕著に現れた。

- 4の箇所に要求帯域の大きい端末が存在し、AP1, AP2の両APの近距離に大きい要求帯域をもつ端末が接

表 2 図 10 の各端末の要求帯域及び接続ビットレート

端末位置	3	4	5
要求帯域 (Mbps)	3	3	3
AP1(Mbps)	11	1	1
AP2(Mbps)	1	1	11

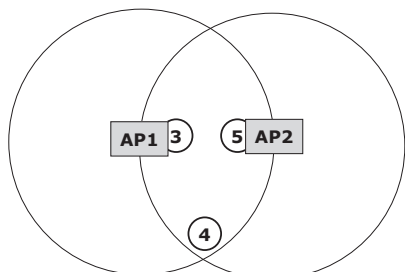


図 10 提案手法により効果が見られない場合の具体例

続している場合（例：図 10）

図 10 のような場合、4 の端末はどちらの AP に接続しても接続ビットレートは低いため、4 が接続する AP の配下の端末のスループットは、4 が接続することによって極端に下がってしまう。従って、要求満足率も下がることになってしまう。それを解消するためにもう一方の AP にハンドオーバーさせることになるが、移動先 AP でも移動元 AP と同様に低いビットレートで接続するため、スループットが下がり、要求満足率も下がることになる。

上記の場合において端末の配置の組み合わせの中で最も高い要求満足率の平均となったのは、初期状態（1, 2, 3, 4 の端末は AP1, 4, 5, 6 の端末は AP2 に接続する）であった。要求満足率の平均値を向上させるためには、4 や 7 の低いビットレートでしか AP に接続できない端末をアソシエーションコントロールにより接続できないようにして、他の端末の通信の邪魔をさせないということが考えられる。

5. ま と め

本稿では、端末の接続 AP への要求帯域に対する満足率を示す指標である要求満足率を用いた無線 LAN 負荷分散手法の評価を行った。

シミュレーションによる提案手法の評価を行い、負荷評価値を用いた旧提案手法の結果と提案手法の結果を比べたところ、要求満足率はさほど変わらなかったが、提案手法は要求帯域の高い端末に対して、より高いスループットを提供することができていることが確認できた。また、端末の配置の全組み合わせの中で最大の要求満足率の平均値と提案手法を用いた場合の要求満足率の平均値を比較したところ、場合によっては初期状態から動かせない方が良いという結果が得られた。

今後、MAC 層の挙動を考慮したシミュレーションにより、提案手法適用時の性能評価を行う予定である。また、負荷評価値を用いた旧提案手法との比較検証及び、文献 4) や 5) の手法との計算コスト及び負荷の収束速度の比較を行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) Anand Balachandran, Geoffrey M. Voelker, Paramvir Bahl, P. Venkat Rangan, "Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN," in proc. of the ACM SIGMETRICS, 2002.
- 2) Tomoya Yoshida, Goh Miyamoto, Masahiro Kuroda, Susumu Ishihara, "Load Balancing of Wireless LAN with Network Triggered Handover," in proc. of the seventh international symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC2005), 2005.
- 3) Yutaka Fukuda, Takamitsu Abe, Yuji Oie, "Decentralized Access Point Selection Architecture for Wireless LAN," in proc. of Wireless Telecommunications Symposium, 2004
- 4) Yutaka Fukuda, Yuji Oie, "Decentralized Access Point Selection Architecture for Wireless LANs - Deployability and Robustness-," in proc. of the IEEE VTC2004-Fall, 2004.
- 5) Yigal Bejerano, Seung-Jae Han, Li (Erran) Li, "Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control," in proc. of MobiCom'04, 2004.
- 6) Fanglu Guo, Tzi-cker Chiueh, "Scalable and Robust WLAN Connectivity Using Access Point Array," in proc. of the 2005 International Conference in Dependable Systems and Networks (DSN'05), 2005.
- 7) Anurag Kumar, Vinod Kumar, "Optimal Association of Stations and APs in an IEEE 802.11 WLAN," in proc. of 11th National Conference on Communication, 2005.