

## 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

吉田 智哉<sup>†</sup> 宮本 剛<sup>††</sup>  
黒田 正博<sup>††</sup> 石原 進<sup>‡</sup>

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、AP が配下の端末のハンドオーバーを管理し、隣接 AP 間で互いの情報を利用可能という条件の下、隣接アクセスポイント間での強制ハンドオーバーによる無線 LAN 負荷分散手法を提案している。しかし、筆者らが先に提案した負荷評価値を用いた手法では、様々なビットレートで AP に接続する端末が混在してしまい、その AP 配下の全端末のスループットが低下してしまうという問題点があった。

本稿では、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する。前提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、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と考えられる。

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

TOMOYA YOSHIDA,<sup>†</sup> GOH MIYAMOTO,<sup>††</sup> MASAHIRO KURODA<sup>††</sup>  
and SUSUMU ISHIHARA<sup>‡</sup>

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 load balancing scheme for wireless LANs with network triggered handover by negotiations between neighboring APs assuming that APs can manage handover of MDs and use information of the load of MDs their neighboring APs. However, in the scheme that uses the load of MDs that the authors previously proposed, there are some problems that throughput of all MDs associated with an AP become small when MDs associated with AP at different bit rates.

In this paper, we propose 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.

#### 1. はじめに

無線 LAN は場所や移動にとらわれないという利点や、有線に比べ設置コストも安価なことから普及が急速に進んでいる。オフィスや家庭のみならず、空港や駅などの公衆無線 LAN スポットサービスとしても無線 LAN が

使われている。今後は WVOIP (Wireless Voice over IP) 等の新しいサービスが本格的に普及し、無線 LAN の利用者はさらに増加すると予想できる。

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

<sup>†</sup> 静岡大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University  
<sup>††</sup> 情報通信研究機構  
National Institute of Information and Communications Technology  
<sup>‡</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

AP として選択する仕様となっている。ただし、電波強度が強くても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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。しかしながら、2) では同一 AP に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、本論文では、AP-端末の変動ビットレート、CSMA/CA の影響という以上の問題点を考慮した手法を提案する。

以下、2 章では関連研究、3 章でこれまで提案した負荷分散手法の概要と問題点、4 章で本提案手法を述べ、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<sup>3)4)</sup>。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 と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。

Bejerano らは association control を用いた負荷分散手法を提案している<sup>5)</sup>。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. 前提手法 ~ 負荷評価値を用いた手法 ~

筆者らは、先に負荷評価値を用いた負荷分散手法を提案している<sup>2)</sup>。以下、前提手法の概要、具体的手法、問題点を述べる。

### 3.1 概要

筆者らが先に提案した負荷分散手法では、一部の AP に負荷が集中するのを防ぎ、カバー域を共有する他の AP に接続する端末の通信の公平性を実現し、かつネットワーク全体のスループットの向上を目的としている。

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において、混雑している AP (AP1, AP3) に複数の端末が接続している一方で、端末が接続されていない AP (AP2) があるものとする。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。負荷評価値、負荷寄与値の具体例として、AP、端末が単位時間内に送信したフレーム数、

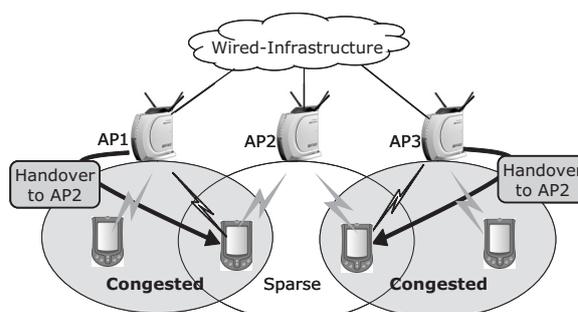
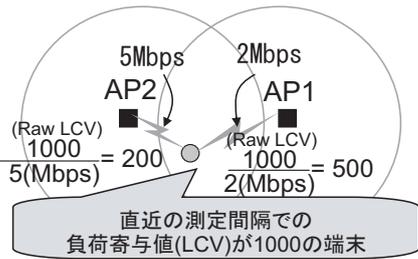
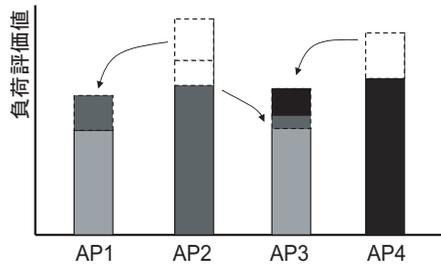


図 1 想定環境



A. 負荷評価値の計算方法



B. 強制ハンドオーバー概要

図2 可変ビットレートへの対応

送信バッファに入れようとしたフレーム数、オーバーフローしたフレーム数などが挙げられる。AP は自身の負荷評価値を元に負荷評価値の低い隣接の AP へと、その 2 つの AP の負荷評価値の差に最も近い負荷寄与値を持つ端末を強制的にハンドオーバーさせる。2 つの AP の負荷評価値が対象 AP とその隣接 AP の負荷評価値から決定した目標値の閾値内に収まるか、候補の端末が無くなるまで選出を続けた後、各端末にハンドオーバーを指示する。上記の処理を定期的に行う。これにより各 AP の負荷が分散され、ネットワーク全体のスループット向上が期待できる。

### 3.2 負荷寄与値の計算方法

無線 LAN の環境下では、AP と端末間の電波強度や S/N 比によって変調方式が変わり、最大ビットレートが変化する。例えば、IEEE802.11b では送信ビットレートが 11, 5.5, 2, 1Mbps の 4 段階に変化する。従って、AP に近い位置に存在してビットレートが高い端末と、AP から遠い位置に存在してビットレートが低い端末では、同量のデータを送ったとしても後者が長い間チャンネルを占有するので、接続中の AP に与える負荷は高いと言える。そこで、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。例えば IEEE802.11b の環境下では、AP に近い位置に存在する端末は負荷寄与値を 11Mbps という高いビットレートで割り、遠い位置に存在する端末は 2Mbps という低いビットレートで割ることになり、AP に与える負荷を適切に表現できると考えられる(図 2-A)。

### 3.3 強制ハンドオーバー対象端末選出方法及び条件

強制ハンドオーバー対象の端末選出は、以下の手順、条件に従って対象 AP が実施する。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。

### 3.4 問題点

前述の通り、筆者らの前提案手法には問題点が存在する。文献 6)7) では、以下のように述べられている。「無線 LAN は端末のチャンネル占有時間もしくはパケット送信時間の公平性ではなくパケット送信機会の公平性を提供しているため、同一 AP 配下に複数のビットレートが混在すると、低ビットレートの端末のパケット送信にかなりの時間が消費されてしまうため、その AP 配下の端末のスループットが極端に落ち込んでしまう。」例えば図 3 のように、2 台の AP に 11Mbps で接続できる端末が 2 台、2Mbps で接続できる端末が 2 台存在する場合を考える。表 1 に冗長ビットや DIFS, SIFS 等を無視した場合の端末 4 台の合計スループットの差を示す。1 台の AP に 11Mbps, 2Mbps の端末 1 台ずつ接続させるより、1 台の AP には 11Mbps の端末 2 台、もう一方の AP には 2Mbps の端末 2 台接続させた方が、ネットワーク全体のスループットは約 2 倍向上する。

筆者らの前提案手法において、強制ハンドオーバー対象

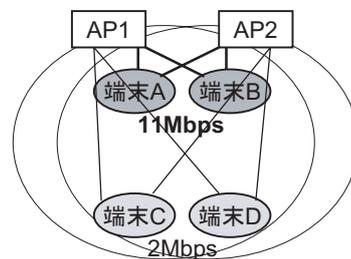


図3 問題点の具体例

表 1 合計スループットの違い

(AP1 に接続する端末)	(A, C)	(A, B)
(AP2 に接続する端末)	(B, D)	(C, D)
各端末のスループット (Mbps)	(1.69)	(5.5)
	(1.69)	(1.0)
合計スループット (Mbps)	6.76	13.0

端末はビットレートによるチャネル占有率の違いは考慮されているものの、ビットレートそのものに関係なく対象 AP と隣接 AP の負荷評価値の差に最も近い負荷寄与値を持つ端末をハンドオーバー候補として選出するため、同一 AP に複数のビットレートが混在してしまうことがある。このため、負荷評価値の平準化を行ったとしても、各 AP に複数のビットレートで通信する端末が混在してしまう、全端末のスループット低下を招いてしまう。

#### 4. 提案手法 ~ 要求満足率を用いた手法 ~

##### 4.1 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 5) の手法のような極集中型の管理サーバは必要ない。従って、堅牢性やスケラビリティの面において、本手法は優位性を持っていると言える。

筆者らの前提提案手法では、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。

##### 4.2 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 手順からなる。以下、各手順について述べる。

###### 4.2.1 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。各端末の要求帯域はあらかじめ AP が取得しているものとする。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。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パケットは同数になるからである。

求めた最大スループット  $T_i$  を用いて、AP 配下の端末の要求満足率を以下の式によって求める。ここで、 $L_i$  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  $i$  の要求満足率である。

$$S_i = \frac{T_i}{L_i} \quad (2)$$

この時求めた  $S_i$  ( $S_i \in N_j$ ) 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ため、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ため、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 ( $S_i$  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 4 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、

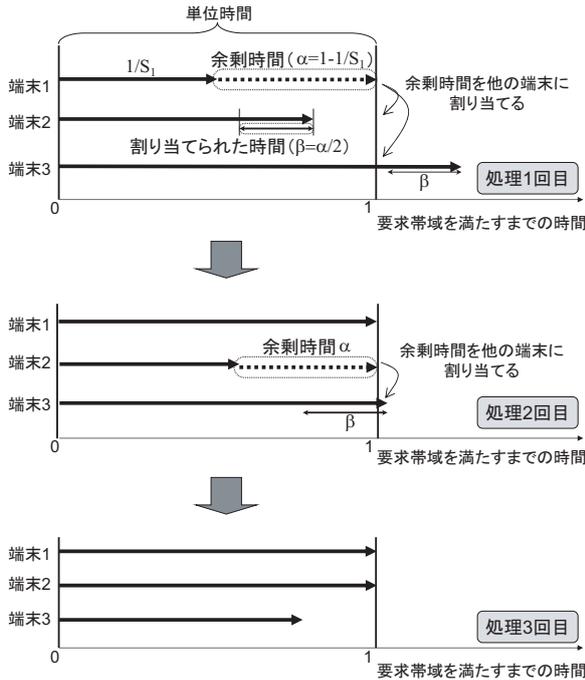


図4 余剰時間の再割り当て例

$S_i$  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  $S$  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  $\alpha$  とし、余剰時間を他の端末のパケット送信時間に与えた端末の集合を  $H_j$  とする。アルゴリズムの開始時には、 $H_j = \emptyset$  である。

- (1)  $N_j$  に含まれる端末から最大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  $\alpha$  を計算する。

$$\alpha = 1 - \frac{1}{S_m} \quad (3)$$

端末  $m$  を  $H_j$  に追加し、 $S_m = 1$  とする。

- (2)  $N_j$  から  $H_j$  を除いた全ての端末 ( $=N_j - H_j$ ) 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。 $|N_j - H_j|$  は  $N_j - H_j$  に含まれる端末数を示す。

$$\beta = \frac{\alpha}{|N_j - H_j|} \quad (4)$$

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

$$A = \frac{\beta}{\sum_{i \in N_j - H_j} \frac{1}{r_i}} \quad (5)$$

と表すことができる。これより、 $N_j - H_j$  中の各端末に追加される要求満足率  $\Delta S_i$  を得る。

$$\Delta S_i = \frac{A}{L_i} \quad (6)$$

- (4) 要求満足率  $S_i$  に  $\Delta S_i$  を足す。

$$\text{new}S_i = S_i + \Delta S_i \quad (i \in N_j - H_j) \quad (7)$$

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ため、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  $S_i$  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。

#### 4.2.2 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。このとき、隣接 AP 配下の要求満足率は隣接 AP との定期的通信によって得られているものとする。また、各端末は隣接 AP との接続時の最大ビットレートを得ることができ、この値を現在接続中の AP に通知済みであるとする。以下、注目 AP を  $j$ 、 $j$  の隣接 AP の集合を  $M_j$  とする。 $\gamma, \delta$  はそれぞれ調整用の係数であり、 $0 < \gamma < 1, 0 < \delta < 1$  である。 $\theta$  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:**  $\frac{\sum_{i \in N_j} S_i}{|N_j|} < \gamma \min_{k \in M_j} \frac{\sum_{i \in N_k} S_i}{|N_k|}$  ( $k \in M_j$ ) の場合

$r_i$  ( $i \in N_j$ ) が  $N_j$  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。

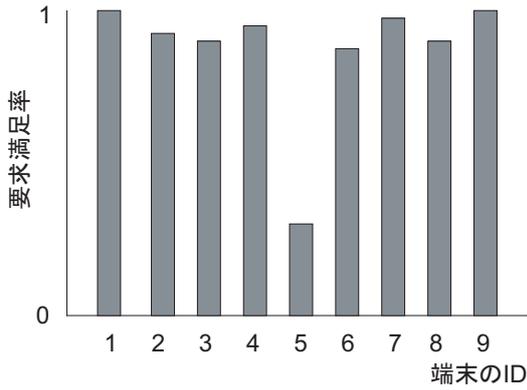


図5 Case 2の具体例

小さいビットレートでAPに接続している端末を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、その端末のみ要求満足率が低下することなく、ハンドオーバーさせることができる。

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

図5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がとAP $j$ とのビットレートである。

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

より要求に応えられる隣接APとは、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。

## 5. ま と め

本稿では、APが配下の端末のハンドオーバーを管理し、隣接AP間で互いの情報を利用可能という条件の下、隣接アクセスポイント間での強制ハンドオーバーによる無線LAN負荷分散手法を提案した。

筆者らが先に提案した前提案手法では、AP配下にさまざまなビットレートが混在してしまい、結果としてそのAP配下の最大スループットが低下してしまうという問題点があった。これは、CSMA/CAはパケット送信機会の公平性を提供しているためであった。そこで、スループットベースではなく、要求満足率ベースの公平性を提供する手法の提案を行った。配下の端末の要求満足率が低い場合、他の端末を受け入れる余裕のあるAPへ端末をハンドオーバーさせる。もしくは、配下の端末の要求満足率が高くても、一部の端末のみが低い場合、その端末を同様に他の端末を受け入れる余裕のあるAPへハンドオーバーさせる。その際、ビットレートを考慮し、ハンドオーバーすることにより、その端末のみに悪影響を与えず、また、ハンドオーバー先AP配下の端末にも悪影響を与えないようにハンドオーバー候補の端末の選出を行う手法である。

今後の課題として、MAC層の挙動を考慮したシミュレーションにより、本論文で指摘した複数ビットレート混在時のスループット低下の問題点の克服が見られるかの評価が挙げられる。その際、負荷評価値を用いた前提案手法との比較検証や、5)との計算コスト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," Proceeding of the ACM SIGMETRICS '02, 2002.
- 2) Tomoya Yoshida, Goh Miyamoto, Masahiro Kuroda, Susumu Ishihara, "Load Balancing of Wireless LAN with Network Triggered Handover," Proceeding 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," Wireless Telecommunications Symposium, 2004.
- 4) Yutaka Fukuda, Yuji Oie, "Decentralized Access Point Selection Architecture for Wireless LANs - Deployability and Robustness-," Proceeding 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," MobiCom'04, 2004.
- 6) Fanglu Guo, Tzi-cker Chiueh, "Scalable and Robust

WLAN Connectivity Using Access Point Array,” Proceedings 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,” Proceeding of 11th National Conference on Communication, 2005.