



Title	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
Author(s)	森岡, 康史; 東野, 武史; 塚本, 勝俊 他
Citation	情報処理学会論文誌. 2009, 50(2), p. 750-764
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3283
rights	©情報処理学会
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

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

森 岡 康 史^{†1} 東 野 武 史^{†1}
塚 本 勝 俊^{†1} 小 牧 省 三^{†1}

本論文では異種サービス混在環境における AP (Access Point) 選択アルゴリズムを提案する。近年の高速な無線 LAN (Local Area Network) の発展にともない、モバイル環境においても VoIP (Voice over Internet Protocol) や動画配信サービス、SaaS (Software as a Service) などのマルチメディアサービスが利用可能となった。これらのサービスはそれぞれ異なる許容 PLR (Packet Loss Rate) や遅延などの QoS (Quality of Service) を要求する。IEEE802.11e の登場によってサービスごとの QoS 保証は可能になったが、大規模な無線 LAN においては AP 間での負荷分散なしでは適切な QoS を保証できない。提案アルゴリズムはサービスの所要 QoS, AP の収容端末数, AP の利用率に応じてアソシエーション先の AP を選択することにより、AP 間の負荷分散と適切な QoS 保証を実現する。計算機シミュレーションにより、提案アルゴリズムの異種サービス混在環境における PLR, 遅延, スループットについて評価を行い、その有効性を確認する。

Wireless LAN Access Point Selection Algorithm for Heterogeneous Services Environment

YASUFUMI MORIOKA,^{†1} TAKESHI HIGASHINO,^{†1}
KATSUTOSHI TSUKAMOTO^{†1} and SHOZO KOMAKI^{†1}

This paper proposes an AP (Access Point) selection algorithm for heterogeneous service environment. Recent rapid developments of high-speed WLAN (Wireless LAN) enable to use various multimedia services such as VoIP (Voice over Internet Protocol), video streaming and SaaS (Software as a Service) in mobile environments. Each of these services requires different QoS which are acceptable PLR (Packet Loss Rate), delay time and so on. IEEE802.11e can provide a QoS for each service, however, there is a requirement of load balancing among APs to provide an appropriate QoS for each service in large scale WLANs. The proposed algorithm realizes an AP selection for appropriate load

balancing and provision of QoS according to its required QoS, the number of associated to each AP and traffic load of each AP in an overall WLAN service area. Simulation results show improvement PLR (Packet Loss Rate), delay time and throughput in heterogeneous service environment compared to conventional algorithms.

1. はじめに

近年の IEEE802.11a/g^{1),2)} といった高速な無線 LAN (Local Area Network) の普及、また今後主流になるであろう IEEE802.11n³⁾ の登場にともない、無線を使ったモバイル環境においても、インターネットを通じて提供されるサービスを有線環境と同様に利用できるようになった。インターネットで提供されるサービスは、ネットワークのブロードバンド化にともなって、従来の WWW (World Wide Web) や電子メールなど、小容量のテキストベースサービスだけではなく、VoIP (Voice over Internet Protocol) などのリアルタイム音声通信サービス、YouTube などの動画配信サービス、さらには WWW においてもリッチコンテンツを用いた SaaS (Software as a Service) など、様々な大容量マルチメディアサービスが登場している。これらのサービスはそれぞれ許容できる誤りや遅延などのサービス品質 (QoS: Quality of Service) を要求する。しかし、従来の無線 LAN ではすべてのサービスに対して同等の QoS を提供しており、それぞれのサービスが要求する QoS を個別に満たすことは難しい。そこで無線 LAN での QoS 保証を目的として、IEEE802.11e⁴⁾ が標準化された。IEEE802.11e により、リアルタイムサービスに対しては低 PLR (Packet Loss Rate) で低遅延なサービスを提供するなど、サービスごとの QoS の制御が可能となった。

一方で、空港や駅などの公共スペース、またオフィスなどのプライベートスペースにおいては複数の無線 LAN のアクセスポイント (AP) を多数の端末 (STA) が共用して利用する状況が多く見られるようになった。このように複数の AP が多数の STA を収容する大規模な無線 LAN では、特定の AP に STA が集中してしまうという問題が生じやすい。特定の AP に STA が集中すると、その AP が収容する STA の QoS が大幅に低下する。そのため、大規模無線 LAN では AP 間で適切な負荷分散を施すことで QoS の低下を防ぐ必要がある。

大規模無線 LAN で負荷分散を行い、STA の集中による QoS の低下を防ぐために、様々

^{†1} 大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

Division of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

な方式が提案されており、ネットワーク内に存在する制御用のサーバなどを用いて STA のアソシエーションを制御する集中制御方式^{5)~9)}と、STA が自律分散的にアソシエーション先の AP を選択する分散制御方式^{10)~18)}に大別することができる。

集中制御方式を用いる文献 5) では、ネットワーク内に存在するシグナリングサーバ (SS) に対して、各 AP が取り扱うデータ量から計算される負荷情報を通知し、SS が主導して負荷が高い AP にアソシエートしている STA を負荷が低い AP に強制ハンドオーバーさせることにより、負荷分散と UDP スループットの平均化を実現している。文献 6) では文献 5) の発展として、マルチレートを考慮した場合の負荷分散について述べられている。同様のアプローチとして、文献 7), 8) で述べられている手法があり、SS に代わってそれぞれマスタ AP, Intelligent Switch によって負荷分散を実現している。文献 7) では、無線チャネルの利用率から計算される負荷情報を用いて、無線チャネル利用率の平均化を達成している。また、AP 間の負荷分散のみではなく、バックボーンネットワークの負荷分散までを考慮した手法として、文献 9) で述べられている手法がある。文献 9) の手法では、一定量のデータを転送するのに要する時間から計算される負荷情報を、NOC (Network Operation Center) が管理し、バックボーンまで考慮した STA 間のスループットの公平性を達成している。集中制御方式はネットワーク全体を俯瞰することで、STA-AP 間だけではなくバックボーンネットワークを含めた負荷分散を行うことができるが、ネットワーク内に制御サーバなどの新たなハードウェアの実装が必要であるとともに、サーバまでのネットワーク経路や、集中制御を行うサーバの処理能力がボトルネックとなることが問題となる。

この集中制御方式の問題を解決するために、STA が自律分散的に AP を選択する分散制御方式が提案されている^{10)~14)}。従来の分散制御方式では、一般的に受信電力 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) 値が最大の AP にアソシエーションするアルゴリズムが用いられているが、AP と STA が一様に分布しておらず、特に STA が特定の AP の周囲にのみ分布するような場合には、深刻な STA 集中問題を引き起こし、大幅な QoS の低下を招く。この不均一な STA 分布に起因する STA 集中問題を回避するために、文献 10), 11) では、RSSI と AP に収容されている STA 数に基づいて負荷分散を実現する方式が提案されており、文献 11) で示されている DLBA (Dynamic Load Balance Algorithm) では、収容 STA 数と RSSI 値の平均化を達成している。また、PER (Packet Error Rate) と収容 STA 数を用いる手法として、文献 12), 13) では MLT (Maximizing Local Throughput) アルゴリズムが提案されており、最小 FTP スループットの向上と FTP スループットの公平性を実現している。また文献 14) では、MLT の拡張として AP 間の電波干渉も考慮し

た手法が提案されており、極端に低いスループットを持つ STA の救済を行うことで、平均 FTP スループットの向上と STA 間の FTP スループットの公平性を達成している。しかし、これらの手法は単一のアプリケーションのみを対象としており、VoIP や動画配信サービス、FTP など異なるサービスが混在する環境を考慮していない。また、従来の IEEE802.11e を用いない AP を適用先とするため、サービスごとの QoS の違いを考慮できず、特にリアルタイムサービスに対して適切な QoS を保証することが難しく、また、収容 STA 数などの情報を得るためには追加のビーコンの実装が必要となる。

異なるサービスの混在環境下での問題を解決し、適切な QoS を保証するための手法として、文献 15) で述べられている手法、筆者らが以前提案した手法^{16), 17)}、そして HRFA¹⁸⁾が提案されている。これらの手法はいずれも分散制御方式であり、IEEE802.11e を用いた AP を適用先とするため、サービスごとに異なった QoS を MAC (Media Access Control) 層で提供できるとともに、IEEE802.11e 標準で規定されているビーコンから収容 STA 数などの多くの情報を手に入れることができる。文献 15) で述べられている手法では、AP のサービスごとの収容 STA 数を用いて負荷分散を行うことによって、高優先度のサービスに対して遅延の低減を達成しているが、IEEE802.11e で規定されるビーコンからはサービスの種類ごとの収容 STA 数は通知できないため、適用先の AP に追加のビーコンなどの実装が必要である。筆者らが以前提案した手法¹⁶⁾では、サービスの優先度と AP の QoS サポート状況に応じて、またその拡張の手法となる文献 17) ではそれらに加えて収容 STA 数と AP の利用率に応じてアソシエーション先の AP を選択することにより、PLR (Packet Loss Rate)、遅延の低減とスループットの改善を達成している。また、HRFA¹⁸⁾ではサービスの優先度と AP の利用率、そして AP の伝送レートに応じて AP を選択し、スループットと遅延を改善している。しかし、これらの手法はいずれのサービスに対してもトランスポート層プロトコルとして UDP (User Datagram Protocol) を用いる場合を対象としている。一般的に、VoIP などの RT (Real Time) サービスは UDP を用いて伝送されることが多いが、データ転送などの NRT (Non Real Time) サービスは UDP ではなく TCP (Transmission Control Protocol) を用いて伝送されることが多い。TCP は空いている帯域を埋め尽くすように動作するため、サービスが TCP を用いる場合、空き帯域の情報を用いて異なる UDP サービスに対して QoS を保証する、既存の手法では適切な AP を選択することができない。

そこで本論文では VoIP に代表される RT サービスと、FTP に代表される TCP を用いた NRT サービスが混在した環境下で、双方に対して適切な QoS を提供するためのアルゴリズム

ムを提案する。本論文では、RT サービスの QoS の指標として PLR と遅延時間、NRT サービスの QoS の指標としてスループットを用いる。異なるサービスに対してそれぞれ QoS を考慮するために、提案アルゴリズムは IEEE802.11e に準拠した複数の AP から構成される無線 LAN を適用先とし、RT サービスに対しては RT サービスに対する空き帯域と AP の伝送レート、TCP を用いた NRT サービスに対しては RT サービスに対する空き帯域と収容 STA 数、AP の伝送レートに基づいて AP の選択を行うことで、従来想定されていなかった、NRT サービスに TCP を用いた場合にも、RT サービス、NRT サービス双方に対して適切な QoS 保証を実現する。また、集中制御方式の問題を回避するために、提案アルゴリズムは分散制御方式とし、HRFA と同様に IEEE802.11e 標準で規定されるビーコンのみを用いて、STA が自律分散的に AP を選択する。以下の章では既存アルゴリズムの問題点と提案アルゴリズムの説明を行うとともに、提案アルゴリズムに対して QualNet¹⁹⁾ を用いた計算機シミュレーションによる評価を行うことにより、その有効性を示す。

2. 既存のアルゴリズムにおける問題点

図 1 を用いて既存のアルゴリズムを RT サービスと TCP を用いた NRT サービスの混在環境で用いる場合に生じる問題点について述べる。RT サービスのトラヒックとして固定サイズの UDP トラヒック、NRT サービスのトラヒックとして TCP トラヒックを仮定する。AP に十分な帯域の余裕があれば UDP トラヒックは要求した帯域だけを割り当てられる。一方、TCP トラヒックは UDP トラヒックが割り当てられた帯域の残りを、TCP トラヒックを用いる STA の間で均等に分けるように動作する。ここで、各 AP で RT サービスのトラヒックが占有する合計の帯域の割合を RT 利用率 (RT Usage)、すべてのトラヒックが占有する合計の帯域の割合を全体利用率 (All Usage) と定義する。

図 1 に示す状況では、AP 1 が収容する STA 数 (Associated STA) は 5、AP 2 が収容

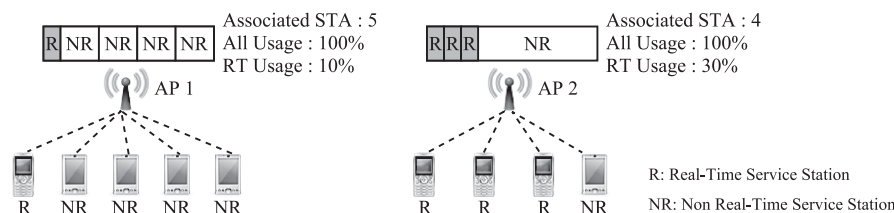


図 1 既存アルゴリズムの問題点

Fig. 1 The problems of the conventional algorithms.

する STA 数は 4 であり、AP 1 の RT 利用率は 10%、全体利用率は 100%である。一方、AP 2 の RT 利用率は 30%、全体利用率は AP 1 と同じく 100%である。

収容 STA 数に基づいて AP を選択するアルゴリズムを用いると、RT サービスを利用する STA (RSTA) と NRT サービスを利用する STA (NRSTA)、そのどちらに対しても AP 2 を選択する。しかし RT サービスの負荷分散という点では、RSTA は AP 1 に収容するのが適切である。新たに発生した RSTA を AP 1 に収容することで、AP 1 の RT 利用率は 20%となり、AP 間の RT サービスの負荷分散を実現できる。一方で NRT サービスの負荷分散という点では、NRSTA は収容 STA 数の少ない AP 2 に収容するのが適切である。新たに発生した NRSTA に割当てが見込める帯域は AP 1 で 18%、AP 2 で 30%であり、AP 2 に収容することで NRSTA はより多くの帯域の割当てが見込める。

従来の筆者らが以前に提案した手法^{16),17)} や HRFA¹⁸⁾ のような、空き帯域に基づいて AP を選択するアルゴリズムは、RT サービスと NRT サービスのどちらもが固定レートの UDP トラヒックであると仮定し、RT サービスに対しては RT 利用率を基準として用い、NRT サービスに対しては全体利用率を基準として用いる。これらのアルゴリズムを FTP のような可変レート TCP トラヒックを生じる NRT サービスが存在する環境で用いた場合、RSTA に対しては適切な AP 1 を選択できるが、NRSTA に対しては AP 1、AP 2 のいずれもが全体利用率 100%を示すため、適切に収容先の AP を選択できない。

このことから TCP を用いた NRT サービスが存在する環境で AP を選択する際には、RSTA に対しては RT 利用率を主な基準として選択することが適切であり、一方 NRSTA に対しては RT 利用率から計算される NRT サービスが利用可能な帯域と収容 NRSTA 数を主な基準として選択することで、NRSTA に対しても適切な AP を選択できる。

3. アクセスポイント選択アルゴリズム

3.1 提案選択アルゴリズムの選択基準

提案するアクセスポイント選択アルゴリズムは、前章で明らかにした問題を解決し、既存のアルゴリズムでは対応できなかった、FTP に代表される可変レートの TCP トラヒックを生じる NRT サービスと、VoIP に代表される固定レートの UDP トラヒックを生じる RT サービスが混在する環境で双方に適切な QoS を提供することを目的とする。

以上の目的を達成するために、提案する AP 選択アルゴリズムでは RSTA に対して、

- RT 利用率、
- AP の伝送レート、

NRSTA に対して,

- RT 利用率,
- 収容 NRSTA 数,
- AP の伝送レート,

を選択基準として用いることが望ましい. RT 利用率は IEEE802.11e のビーコンフレームを構成する QBSS Load Element に含まれる AAC (Available Admission Capacity) フィールドから取得する. AAC フィールドは RT サービスのトラフィックについて, 1 秒あたり収容可能な残り時間を $32\mu\text{s}$ 単位で通知する. すなわち, $AAC = 0$ は 1 秒あたり収容可能な RT サービスに対する残り時間は 0 秒で, これ以上 RT サービスは収容できないことを表し, $AAC = 31250$ は 1 秒すべてに RT サービスを収容可能であることを表す. NRSTA の選択基準としてあげた, 収容 NRSTA 数は IEEE802.11e の規定のビーコンからは取得できず, 新たなビーコンを実装する必要があるため, 提案アルゴリズムでは収容 NRSTA 数の代わりに収容 STA 数を選択基準として用いる. 収容 STA 数は同じく QBSS Load Element に含まれる SC (Station Count) フィールドから取得する. これらの情報は AP がビーコンフレームを送出する間隔で送出され, STA で取得できる. また, 無線の伝搬環境に応じて AP の伝送レートを変化させるマルチレート環境に対応するために, RSTA, NRSTA のどちらに対しても AP の伝送レートを選択基準として用いる.

3.2 提案選択アルゴリズム

図 2 に提案 AP 選択アルゴリズムのフローチャートを示す. アルゴリズムが起動すると, まず周囲にある AP の状況をスキャンし, 利用可能な AP をアソシエーション候補 AP とする. アソシエーション候補 AP が複数ある場合には各 AP に対してスコアを計算し, 最大のスコアを持つ AP を選択する. また, 最大スコアを持つ AP が複数発生した場合は, その中で RSSI 値が最も高い AP を選択する.

提案アルゴリズムではアソシエーション候補 AP が複数ある場合, M 個のアソシエーション候補 AP, $AP[i]$ ($1 \leq i \leq M$) に対してスコアを計算する. RSTA に対しては式 (1) でスコア $S_{RT}[i]$ を計算し, 最大となる AP を選択する.

$$S_{RT}[i] = \frac{AAC[i] + 1}{31251} \cdot \frac{R[i]}{R_{MAX}} \quad (1)$$

ここで, $AAC[i]$ は $AP[i]$ における AAC フィールドの値 ($0 \leq AAC[i] \leq 31250$) を示し, $R[i]$ は $AP[i]$ で利用可能な最大の伝送レート, R_{MAX} はアソシエーション候補 AP の中で利用可能な最大の伝送レート, $R_{MAX} = \max(R[i] \mid 1 \leq i \leq M)$ を表す. 式 (1) の前

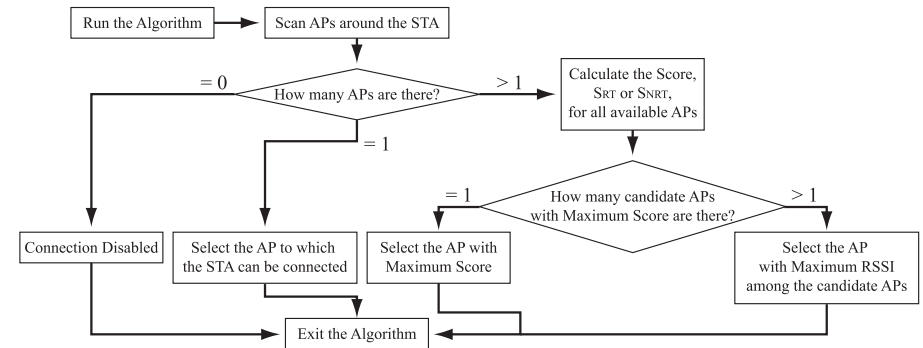


図 2 提案アルゴリズムのフローチャート

Fig. 2 Flowchart of the proposed algorithm.

半, $AAC[i]$ に関する項は RT トラフィックの収容可能時間による重みを表す. ここで分子を $AAC[i] + 1$ とするのは, $AAC[i] = 0$ の場合も後半の項で計算される伝送レートによる重みを反映させるためである. また, 分子 $AAC[i] + 1$ をその最大値である 31251 で除することで重みを正規化する. 式 (1) の後半は AP の伝送レートによる重みを表し, $R[i]$ を R_{MAX} で除することでアソシエーション候補 AP の中での $AP[i]$ の伝送レートを正規化する.

一方, NRSTA についても同様にスコア $S_{NRT}[i]$ を計算し, 最大となる AP を選択する. $S_{NRT}[i]$ は割当てを期待できる最小の帯域を表し, 式 (2), (3) で与えられる.

For $AAC[i] = 31250$

$$S_{NRT}[i] = \frac{R[i]}{R_{MAX}} \cdot \frac{1}{N_{STA}[i] + 1} \quad (2)$$

For $AAC[i] < 31250$

$$S_{NRT}[i] = \frac{AAC[i] + 1}{31251} \cdot \frac{R[i]}{R_{MAX}} \cdot \frac{1}{N_{STA}[i]} \quad (3)$$

$AAC[i]$, $R[i]$, R_{MAX} は $S_{RT}[i]$ と同様であり, $N_{STA}[i]$ は $AP[i]$ の収容 STA 数を表す. 式 (2) に示す, $AAC[i] = 31250$, すなわち RSTA が存在せず, すべての帯域を NRSTA が利用可能なとき, 新たにアソシエーションする NRSTA が割当てを期待できる帯域は全帯域を $N_{STA}[i] + 1$ で除したものとなる. 一方, 式 (3) に示す, $AAC[i] \neq 31250$, すなわち 1 端末以上の RSTA が存在する場合, NRSTA は RSTA が利用している以外の帯域を利用可能である. IEEE802.11e のビーコンからは RSTA 数は取得できないため, AP の収容 STA

のうち RSTA が 1 端末であり、残りがすべて NRSTA であると仮定して得られる、新たにアソシエーションする NRSTA が割当てを期待できる帯域の最小値、すなわち最悪値を評価すると、NRT サービスが利用可能な帯域を $N_{STA}[i]$ で除したものとなる。最悪値を評価することで、NRSTA は QoS を悪化させることのない AP を選択できるため、NRSTA はこの値を期待できる伝送速度の重みとして利用する。また、伝送レートによる重み付けは $S_{RT}[i]$ と同様である。提案アルゴリズムは、RSTA に対しては RT 利用率と伝送レートに基づいて AP を選択し、NRSTA に対しては RT 利用率と収容 STA 数、伝送レートに基づいて選択することで、前節で述べた問題点を解決する。

しかしながら、提案アルゴリズムはアソシエーション時に異なる要求帯域を持つ RT サービスが混在し、特に小さい要求帯域を持つ RT サービスが混在する場合に適切な AP 選択ができない可能性がある。また、NRSTA に対して収容 NRSTA 数ではなく収容 STA 数を選択基準として用いるために、適切な AP 選択ができない可能性がある。加えて、アソシエーション後には新たな STA がアソシエーションすることによる環境の変化や、外乱による通信環境の変化によって、最初に選択した AP が適切ではなくなる可能性がある。これらの問題に対する議論を次節以降で行う。

3.3 異なる要求帯域を持つ RT サービスが混在する場合の問題点

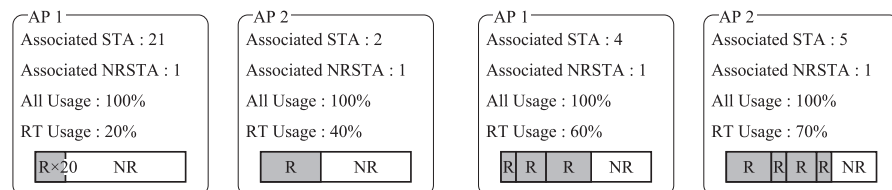
図 3 に示すように、提案アルゴリズムでは異なる要求帯域を持つ RSTA が混在し、RT 利用率が低いにもかかわらず収容 STA 数が多い場合に問題が生じる可能性がある。図 3(a) のように、特に小さい要求帯域を持つ RSTA が混在し、AP 1 の RT 利用率が低く、かつ収容 STA 数が多い場合を仮定する。提案アルゴリズムにおいて、RSTA は収容 STA 数に依存せず、RT 利用率を用いて選択を行うため、AP 1 の収容 STA 数が多い場合にも利用できる帯域の大きい適切な AP を選択することができる。一方 NRSTA は収容 STA 数も考慮

し、NRT サービスが利用可能な帯域を収容 STA 数で除したスコアに基づいて選択を行うため、提案アルゴリズムは収容 STA 数の多い AP 1 のスコアを実際より低く評価してしまい、AP 1 で NRSTA が割当てを期待できる帯域が大きいにもかかわらず AP 2 を選択し、適切な AP を選択できない。

一方、図 3(b) のように RT サービスがほぼ等しく分配され、AP 1 と AP 2 の RT 利用率と収容 RSTA 数に著しい偏りがなければ、提案アルゴリズムは NRSTA について、それぞれの AP のスコアを正しく評価することができ、利用できる帯域が大きい適切な AP を選択することができる。このように、要求帯域が異なる各 RSTA がそれぞれの AP にほぼ等しく分配される場合には NRSTA について誤選択の問題は生じない。よって、異なる要求帯域を持つ RSTA が混在する場合に提案アルゴリズムが式 (1) を用いて RSTA を等しく分配し、RT 利用率と収容 RSTA 数を AP 間で平均化することができるならば、NRSTA の誤選択の問題を回避できる。

異なる要求帯域を持つ RSTA が混在する場合に、提案アルゴリズムが式 (1) を用いて RT 利用率と RSTA 数を平均化できることを示すために、計算機シミュレーションを行った。要求帯域がそれぞれ 10 kbps, 100 kbps, 1 Mbps である 3 種類の RSTA があわせて 300 端末存在すると仮定し、それぞれの種類の RSTA は等確率でランダムに発生するものと仮定した。また、3 台の AP を仮定し、それぞれの AP の持つ帯域は無限大であるとし、任意の台数の RSTA を収容できるものとした。このとき、理想的には各種の RSTA が 100 端末ずつ発生し、各 AP の占有帯域は 300 端末の要求帯域の合計を 3 で割ることで、それぞれ 37 Mbps となる。また、各 AP の収容 RSTA 数はそれぞれ 100 となる。以上の条件の下で、10,000 回の試行を行った結果の各 AP の占有帯域と RSTA 数の平均および 99% 信頼区間を表 1 と表 2 にそれぞれ示す。

表 1 と表 2 の結果より、異なる要求帯域を持つ RSTA が混在する場合にも、それぞれが等確率で発生する場合には、提案アルゴリズムは RSTA を各 AP にほぼ等しく分配することができる。その結果、図 3(a) に示す場合が生じる可能性は非常に低いため、NRSTA に



(a) 特に小さい要求帯域を持つ RT サービスが偏在する場合

(b) 各 RT サービスがほぼ等しく分配される場合

図 3 異なる要求帯域を持つ RT サービスが混在する場合の問題点

Fig. 3 The problems of AP selection in the coexistence of different RT services.

表 1 各 AP の占有帯域の平均と 99% 信頼区間

Table 1 Average bandwidth usage and 99% confidence interval of each AP.

	平均	信頼区間 (下限, 上限)
AP 1	37.03	36.92, 37.15
AP 2	37.02	36.91, 37.14
AP 3	37.02	36.91, 37.14

表 2 各 AP の収容 RSTA 数の平均と 99%信頼区間

Table 2 Average number of RSTAs and 99% confidence interval of each AP.

	平均	信頼区間 (下限, 上限)
AP 1	99.89	99.43, 100.35
AP 2	99.86	99.39, 100.32
AP 3	100.25	99.80, 100.71

対する誤選択は発生せず、異なる要求帯域を持つ RSTA が混在する場合にも、提案アルゴリズムは RSTA と NRSTA の双方に対して適切な AP を選択できる。

3.4 選択に収容 STA 数を用いる場合の問題点

2 章で議論したように、NRSTA が最適な AP を選択するためには、NRSTA が割当てを期待できる帯域を NRT サービスが利用可能な帯域を収容 NRSTA 数で除して計算することが望ましいが、IEEE802.11e のビーコンの SC フィールドからは収容 NRSTA 数に関する情報を取得できない。そこで、提案アルゴリズムでは収容 NRSTA 数の代わりに SC フィールドから取得可能な収容 STA 数を用いる。提案アルゴリズムが収容 NRSTA 数に代わって収容 STA 数を用いても適切な AP 選択が可能であることを、図 4 を用いて示す。本節では RT サービスと NRT サービス、それぞれ 1 種類のアプリケーションを仮定する。

図 4(a) のように RSTA 数のみに偏りがある場合、収容 STA 数が多いことは収容 RSTA 数が多いことにつながり、収容 STA 数が多いことによって NRSTA が利用できる帯域は少なくなる。そのため、収容 STA 数に応じて NRSTA が利用できる帯域の推定が可能となり、NRSTA に対して利用できる帯域の大きい適切な AP 選択が可能となる。

次に、図 4(b) のように NRSTA 数のみに偏りがある場合、収容 STA 数が多いことは収容 NRSTA 数が多いことにつながり、収容 STA 数が多いことによって NRSTA が端末あたりに利用できる帯域が少なくなる。よって、収容 STA 数に応じて NRSTA が端末あたりに利用できる帯域の推定が可能となり、NRSTA に対して利用できる帯域の大きい適切な AP 選択が可能となる。

しかし、図 4(c) のように、RSTA 数、NRSTA 数ともに AP 間で偏りがある場合、特に一方の AP に RSTA、もう一方の AP に NRSTA が偏り、かつ両 AP の収容 STA 数が同数の場合には、NRSTA の利用可能帯域の推定ができない。そのため、図 4(c) の場合には提案アルゴリズムは適切に AP 選択を行うことができない。しかし、RSTA については前節で議論したように、提案アルゴリズムによって AP 間でほぼ偏りがないようにアソシエーションされるため、RSTA 数と NRSTA 数ともに偏りが発生する可能性は非常に低い。そ

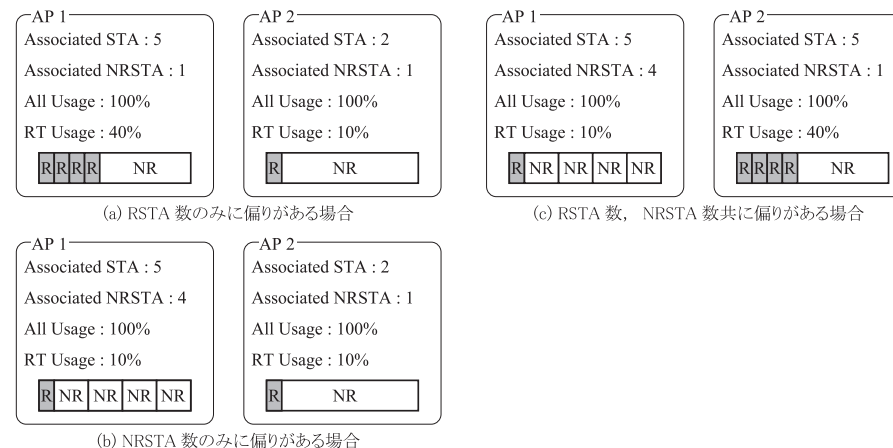


図 4 収容 STA 数を用いる場合の問題点

Fig. 4 The problems of AP selection using the number of associated STAs.

のため、提案アルゴリズムは STA 数を用いても適切な AP を選択できる。

3.5 アソシエーション後に環境が変化する場合の問題点

ある STA が適切な AP を選択し、アソシエーションを行った後に、新たな STA がアソシエーションしたり、干渉源などの外乱によって次のような環境の変化が生じたりして、ある STA が選択した AP が適切ではなくなる可能性がある。

- 新たな STA のアソシエーションにより AP の帯域が逼迫し、QoS の低下が生じる。
- 干渉源からの干渉により、伝送レートの低下が生じる。
- AP が停止し、切断が生じる。

以上の 3 点について提案アルゴリズムでの対応を以下に述べる。

新たな STA のアソシエーションにより AP の帯域が逼迫する問題については、提案アルゴリズムは STA が AP を選択するときに、STA 自身にとって適切な AP を選択するとともに、負荷分散を行うことで特定の AP へのトラヒックの集中を避け、他の STA への影響ができるだけ小さくなるように AP を選択する。よって、選択できるすべての AP の帯域が逼迫しない限り、新たなアソシエーションにより AP の帯域が逼迫し、QoS の低下が生じることはない。

干渉源からの干渉により、伝送レートの低下が生じる問題については、提案アルゴリズム

のみでは対応できず、文献 12), 13) で示されているように、使用する AP を切り替えるハンドオーバを併用することが必要となる。特に RT サービスに対してハンドオーバを併用する場合には、ハンドオーバによる切断時間が QoS の低下を招くため、切断時間を短縮することができるシームレスハンドオーバ^{20), 21)}との併用が必要となる。伝送レートの低下は RSSI の監視によって検出できるため、閾値を設定したうえで RSSI 値を定期的に監視し、閾値を超える伝送レートの低下を検出した場合はハンドオーバ処理を行い、再度提案アルゴリズムを適用することで対応できる。ただし、ハンドオーバを併用する場合には、頻繁なハンドオーバによるパフォーマンスの低下を避けるために、ハンドオーバを判断するインターバルの設定が重要となる。たとえば文献 13) では、ハンドオーバの判断を行う間隔を 3 秒にすることで、システムの状態が安定することが示されている。

AP が停止し、切断が生じる問題についても、ハンドオーバを併用することが必要となる。STA は AP からのビーコンを受信することにより周囲の AP を検出しているが、選択した AP が検出できなくなった場合にハンドオーバ処理を実行し、再度提案アルゴリズムを適用することにより AP の停止問題に対応できる。この場合、AP の停止は予期できないことが多いため、シームレスハンドオーバの適用は難しく、ハンドオーバの切断時間により QoS の低下が生じる。この問題に対しては、あらかじめ認証を行っておく手法²²⁾と併用することで、切断時間の短縮が可能である。

4. シミュレーションによる評価

4.1 シミュレーションモデル

UDP トラフィックを生じる RT サービスと TCP トラフィックを生じる NRT サービスが混在する場合の提案アルゴリズムの有効性を示すために、QualNet¹⁹⁾を用いた計算機シミュレーションを行った。加えて従来の選択アルゴリズムが対象とする、TCP トラフィックが単独で利用される場合と UDP トラフィックが単独で利用される場合のそれぞれについても、提案アルゴリズムが有効であることを示すために計算機シミュレーションを行った。

図 5 に本シミュレーションにおけるシミュレーションエリアのモデルを示す。シミュレーションエリアは 200 m × 200 m の正方形を仮定し、その中に 3 個の AP と N 個の STA が収容されている状況を仮定する。図 5 に示すように、本シミュレーションでは STA の分布について 2 通りのシミュレーションを行った。提案アルゴリズムが対象とする問題は STA 分布にかかわらず生じる問題であり、まず提案アルゴリズムが STA 分布にかかわらず平均的に有効であることを示すために、STA と AP がシミュレーションエリア内に一様分布の確率

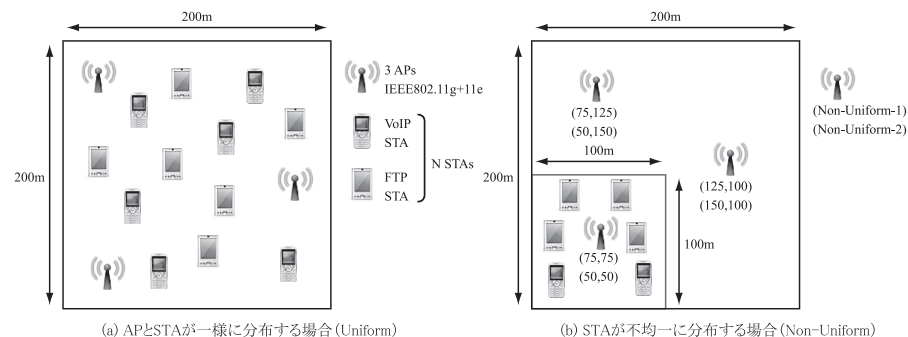


図 5 シミュレーションエリアのモデル

Fig. 5 Simulation area models.

分布に従って各試行ごとにランダムに配置される場合 (Uniform) を仮定し、そのモデルを図 5 (a) に示す。また、特に不均一な STA 分布に対する特性を評価するために、AP の配置を固定し、STA がシミュレーションエリアの一部に集中して配置される場合 (Non-Uniform) を仮定し、そのモデルを図 5 (b) に示す。ここで図 5 (b) の AP の下に記した数字は、左下を基準とした AP の座標を示し、AP 間の距離が近い場合 (Non-Uniform-1) の座標を上段に、AP 間の距離が離れている場合 (Non-Uniform-2) の座標を下段に示し、それぞれ評価を行った。いずれの場合においても、発生するサービスの順番は等確率のランダム順とした。Uniform と Non-Uniform-1, Non-Uniform-2 のそれぞれの場合に対する試行回数は 10,000 回とし、その平均をとることで、それぞれの分布で平均的に得られる PLR, 片方向遅延, スループットの評価を行った。AP が使用する MAC 層プロトコルは IEEE802.11g を仮定し、QoS サポートのための拡張 MAC 層プロトコルとして IEEE802.11e を仮定する。IEEE802.11g²⁾ と IEEE802.11e⁴⁾ のパラメータを表 3 と表 4 に示す。これらは周波数を除いていずれもそれぞれの規格書で示されている標準的な値とする。また、周波数は 3 つの AP がお互いに干渉を生じない周波数を仮定する。本シミュレーションでは適応変調によるマルチレートを考慮し、IEEE802.11g の伝送レートは最大で 54 Mbps とする。

本シミュレーションでは UDP の固定レートトラフィックと TCP の可変レートトラフィックを生じる 2 種類のアプリケーションを仮定し、そのパラメータを表 5 に示す。1 つは VoIP アプリケーション (VoIP) として、G.711 コーデック²³⁾ による双方向音声通信を仮定する。もう 1 つは FTP アプリケーション (FTP) として、Ethernet²⁴⁾ を通じて伝送される片方

表 3 IEEE802.11g のシミュレーションパラメータ
Table 3 IEEE802.11g simulation parameters.

Frequency	2.412 GHz, 2.437 GHz, 2.462 GHz		
PLCP Preamble	16 μ sec	PLCP Header (Signal)	1 Symbol
PLCP Header (Service)	16 bit	MAC Header	24 Octet
LLC Header	8 Octet	FCS	4 Octet
PLCP Tail	6 bit	Symbol Length	4 μ sec
MAC ACK Length	10 Octet	Slot Time	9 μ sec
SIFS	16 μ sec	DIFS	34 μ sec
CWmin	15	CWmax	1023

表 4 IEEE802.11e のシミュレーションパラメータ
Table 4 IEEE802.11e simulation parameters.

Access Category	Background (AC_BK)	Voice (AC_VO)
CWmin	31	7
CWmax	1023	15
AIFSN	7	2

表 5 各トラフィックのパラメータ
Table 5 Parameters of each traffic.

Application	VoIP	FTP
Transport Protocol	UDP	TCP
Payload Size	160 Byte	1460 Byte
Interval	20 ms	
Required Rate	64 kbps	Best Effort
Direction	UP	DOWN
Access Category	DOWN AC_VO	AC_BK

向データ通信を仮定する。

本シミュレーションでは各アプリケーションが単独で利用される場合と混在する場合のそれぞれに対して評価を行うために、アプリケーションを利用する STA の比を、表 6 に示すように、Case 1 から Case 3 までの 3 通り仮定した。Case 1 は VoIP と FTP との比が 0 : 1 の場合、すなわち N STA すべてが FTP を利用する場合である。2 章で議論したように、NRSTA に対しては、収容 STA 数で選択するアルゴリズムが有効である。そこで、Case 1

表 6 各 Case におけるアプリケーションに対する STA 比と STA 数
Table 6 Traffic rate and the number of STAs configurations of each case.

	VoIP	FTP	STA range
Case 1	0	1	$2 \leq N \leq 30$
Case 2	1	0	$40 \leq N \leq 60$
Case 3	1	1	$80 \leq N \leq 120$

では提案アルゴリズムが STA 数で選択するアルゴリズムと比較して FTP スループットの劣化を生じないことを確認する。Case 2 は VoIP と FTP の比が 1 : 0 の場合、すなわち N STA すべてが VoIP を利用する場合である。RSTA に対しては、HRFA のような空き帯域で選択するアルゴリズムが有効であることは 2 章で述べた。そこで、Case 2 では提案アルゴリズムが HRFA と比較して VoIP の PLR および遅延の劣化を生じないことを確認する。Case 3 は VoIP と FTP の比が 1 : 1 の場合、すなわち N STA のうち半数が VoIP を利用し、もう半数が FTP を利用する場合である。Case 3 では、提案アルゴリズムが対象とする、異なるアプリケーションを利用する STA が混在している環境下で、従来アルゴリズムと比較して VoIP の PLR および遅延と FTP のスループットが改善されることを確認する。以上の 3 通りのシミュレーションにより、提案アルゴリズムが、従来のアルゴリズムが対象とするそれぞれのサービスが単独で利用される環境下で有効であるとともに、提案アルゴリズムの適用範囲である 2 つのサービスが混在する環境下で有効であることを示す。

ここで、エリア内の STA 数の範囲を表 6 に示すように設定する。本シミュレーションで仮定した FTP はペイロードサイズが 1460 バイトの TCP トラフィックであり、IEEE802.11g で 54 Mbps の伝送レートを持つ 1 つの AP において得られる最大の理論スループットは 22.7 Mbps である。シミュレーションエリア内には 3 つの AP を仮定しており、合計で得られる最大の理論スループットは 68.1 Mbps である。各 AP にアソシエーションされている全 STA が 54 Mbps の伝送レートで通信でき、かつ各 AP に均一に STA がアソシエーションされている理想的な状態では、STA あたりのスループットは最大理論スループットを STA 数で等分したものとなる。Case 1 では、この理想的な STA あたりのスループットが 2 Mbps 以上となる範囲を STA 数の範囲と定め、STA 数 N を $0 \leq N \leq 30$ に設定した。一方、IEEE802.11e に対応した 54 Mbps のレートで通信可能な 1 つの AP に対して、本シミュレーションで仮定した VoIP のアソシエーション数を増やしていくと、図 6 に示す結果が得られる。図 6 に示すように、1 つの AP に対してアソシエーションされる VoIP の数が 18 を超えると急激に PLR および遅延が増加する。これは IEEE802.11e における VoIP

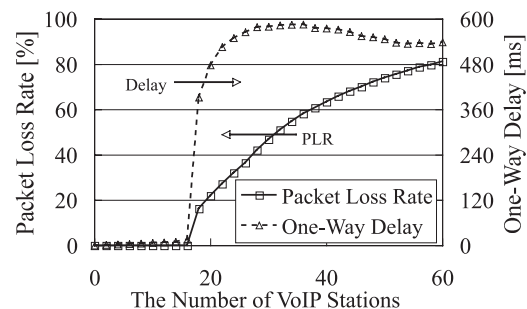


図 6 VoIP のアソシエーション数に対する PLR と遅延特性

Fig. 6 PLR and delay to the number of associated VoIP STAs.

の AC (Access Category) の CW (Contention Window) サイズが小さく, STA 数の増加にともない衝突が頻発するためである. よって, 54Mbps のレートをういた場合に 1 つの AP あたりパケットロスを生じずに収容可能な VoIP の最大数は 16 であり, 3 つの AP から構成される本シミュレーションでは, すべての STA が 54Mbps のレートで通信できる理想な場合には VoIP を最大 48 端末収容できる. VoIP を 48 端末より多く収容した場合, AP が収容可能な STA 数の限界を超えるため, 負荷分散だけでは PLR を 0 に抑えることは不可能である. Case 2 では VoIP のみを収容するため, STA 数をパケットロスを生じない $N = 40$ から, 大きなパケットロスを生じる $N = 60$ まで, $40 \leq N \leq 60$ の範囲に定めた. Case 3 では全 STA における VoIP と FTP の比が 1 : 1 であるから, 理想的には $N \leq 96$ ならばパケットロスを生じることなく VoIP を収容可能である. そこで, 評価対象の STA 数を Case 2 の 2 倍, $80 \leq N \leq 120$ に設定した.

本シミュレーションでは, 既存のアルゴリズムが対象とする, TCP トラヒック, UDP トラヒックそれぞれが単独で利用される場合 (Case 1, Case 2) にも提案アルゴリズムが有効であることを示すとともに, 提案アルゴリズムの適用範囲である TCP トラヒックと UDP トラヒックが混在している場合 (Case 3) の有効性を示す. また, すべての Case に対して AP と STA がエリア内にランダムに分布する場合 (Uniform) に平均的に有効であることを示し, 特に提案アルゴリズムの適用範囲となる Case 3 では STA が不均一に分布する場合 (Non-Uniform) に対する特性も評価する. そのために, 本シミュレーションでは Case 1, Case 2 に対して一様分布 (Uniform), Case 3 に対して一様分布と不均一分布 (Non-Uniform-1, Non-Uniform-2) の場合の計 5 通りについて, VoIP アプリケーション

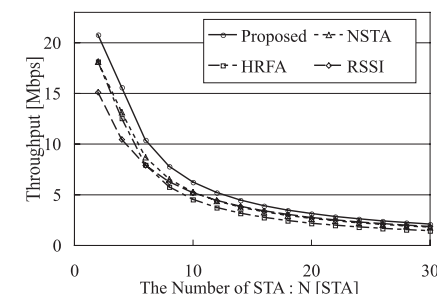


図 7 Case 1 における FTP スループット

Fig. 7 FTP throughput of Case 1.

に対して平均 PLR と平均片方向遅延の評価を行い, FTP アプリケーションに対して平均スループットの評価を行う. 従来アルゴリズムとして, STA 数に基づいて AP の選択を行うアルゴリズム (NSTA), RT サービスに対しては RT 利用率, NRT サービスに対しては全体利用率に基づいて AP の選択を行うアルゴリズム (HRFA), 電力に基づいて AP の選択を行うアルゴリズム (RSSI) の 3 つのアルゴリズムについても評価を行い, 提案アルゴリズム (Proposed) との比較を行った.

4.2 Case 1

Case 1 における FTP スループットを図 7 に示す.

図 7 に示すように, Proposed は全域で他のアルゴリズムに比べて高い平均スループットを達成し, 従来アルゴリズムと比較して最大で 2Mbps 高いスループットを達成する. すなわち, Proposed は FTP のみが存在する状況において従来アルゴリズムに比べて FTP スループットを改善する. これは, Proposed が FTP に対しては STA 数を用いて負荷分散を行うことにより, FTP を用いる STA を適切に各 AP に振り分けることができるためである. ここで, 同じく STA 数を用いて負荷分散を行う NSTA に対して Proposed がより有効であるのは, 本シミュレーションで用いた NSTA 方式が伝送レートに対する重みを考慮していないためである. Proposed は伝送レートを重みとして用いることで, STA 数が少なく, かつ伝送レートが高い AP を利用するように動作するため, 従来アルゴリズムと比較して高レートの AP を優先しながら負荷分散を行うことができ, 高いスループットを達成する.

以上より, 提案アルゴリズムは既存のアルゴリズムが対象とする FTP のみが利用される環境において, スループットの点で従来アルゴリズムと比較して有効である.

4.3 Case 2

Case 2 における VoIP の PLR と遅延を図 8 と図 9 にそれぞれ示す。

図 8 に示すように、Proposed は HRFA に対して PLR を最大 6% 改善する。 $N \leq 42$ の範囲では Proposed は HRFA と同等の低い PLR を達成する一方、 $N > 42$ では Proposed は HRFA に対して PLR を改善する。すなわち、Proposed は VoIP のみの環境において、より大きな負荷に対して従来アルゴリズムと比較して有効である。これは、Proposed と HRFA の伝送レートに対するスコアの重み付けの違いによるものである。Proposed と HRFA はともに、VoIP に対しては AP における RT 利用率と AP の伝送レートを考慮して選択を行うが、Proposed はより高レートの AP を優先して選択し、AP あたりの収容 STA 数の向上を実現する。Proposed の伝送レートに対する重み付けは、式 (1) から式 (3) に示したよう

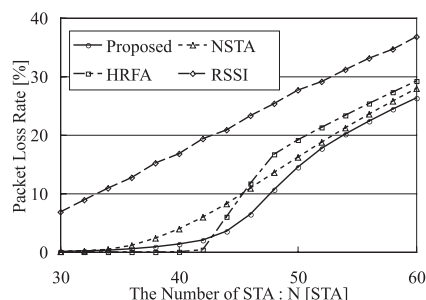


図 8 Case 2 における VoIP の PLR
Fig. 8 VoIP PLR of Case 2.

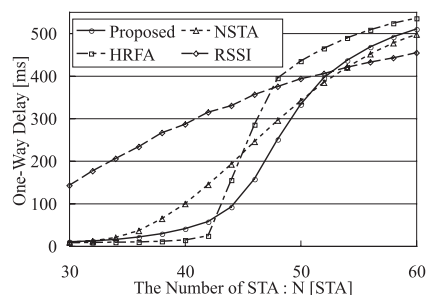


図 9 Case 2 における VoIP の片方向遅延
Fig. 9 VoIP one-way delay of Case 2.

に、アソシエーション候補 AP の中で最大の伝送レート R_{MAX} と対象の AP における伝送レート $R[i]$ の比として計算される。一方、HRFA の伝送レートに対する重み付け w は、式 (4)、式 (5) に従って各レートにおけるフレームの伝送にかかる時間の比として計算される。

$$w = \frac{T_{max}}{T_{rh}} \quad (4)$$

$$T_{max} = \max(T_{rh} | 0 \leq h \leq H - 1) \quad (5)$$

T_{rh} はあるフレームを伝送レート r_h で送信するときに必要な時間、物理層、MAC 層のヘッダも考慮した時間であり、 T_{max} は H 個の使用できる伝送レートの中で最小のものをを用いてフレームを送信するときに必要な時間である。図 10 に Proposed と HRFA における伝送レートに対する重みを、54 Mbps のレートの重みで正規化した値で示す。HRFA の重みは表 3、表 4 と表 5 の VoIP の値を用いて計算した。図 10 に示すように、Proposed は伝送レートの重みを HRFA に比べて低く見積もるため、負荷が大きくなった場合にも高い伝送レートの AP を優先して選択する。

例として、54 Mbps の伝送レートを持つ AP 1 と 36 Mbps の伝送レートを持つ AP 2 が存在し、利用可能なレートのうち最低のレートが 1 Mbps であると仮定する。このとき、図 10 より Proposed の伝送レートによる重み w_P は AP 1 に対して $w_P(AP1) = 1.0$ 、AP 2 に対して $w_P(AP2) = 0.67$ となり、HRFA の重み w_H は AP 1 に対して $w_H(AP1) = 1.0$ 、AP 2 に対して $w_H(AP2) = 0.93$ となる。Proposed と HRFA はどちらも、RT サービスに対するスコアを RT サービスに対する空き帯域と伝送レートによる重みの積で算出するため、AP 1 の RT 利用率が 50% のとき、Proposed と HRFA によって重み付けされた AP1 のスコアはどちらもおよそ $(100\% - 50\%) \times 1.0 = 0.50$ となる。ここで、AP 1 に比べて伝

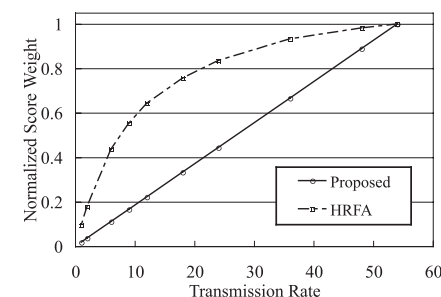


図 10 Proposed と HRFA の重み付けの違い
Fig. 10 Normalized score weight of Proposed and HRFA.

送レートの低い AP 2 のスコアを AP 1 より大きくしようとすると、AP 2 の RT 利用率は Proposed で $(100\% - x\%) \times 0.67 > 0.5$ より 25%未満、HRFA で 46%未満でなければならない。すなわち、HRFA は AP 2 の利用率が 46%未満であれば AP 2 を選択するのに対し、Proposed は AP 2 の利用率が 25%未満でなければ AP 2 を選択しない。すなわち、Proposed は HRFA に比べて高い伝送レートを持つ AP を優先的に利用する。

また、図 9 に示すように、Proposed は HRFA に対して片方向遅延を最大 145 ミリ秒改善する。遅延に関しても PLR と同じく、Proposed は $N \leq 42$ の範囲では HRFA と同等の低い遅延を達成し、その一方で $N > 42$ では HRFA と比較してより低い遅延を達成する。ここで、NSTA と RSSI が $N \geq 52$ で Proposed と HRFA に比べて低い遅延となっているのは、STA および AP のキューからあふれたために伝送できず、パケットロスとなったパケットのためである。1つの AP に多くの STA が集中してキューがあふれた場合、その AP におけるパケットロスは増加する一方、キューでの遅延は一定となる。しかし、他の 2つの AP ではアソシエーションされる STA 数が少なく、キューでの待ち時間が短くなる。よって、1つの AP に多くの STA が集中すればするほど、パケットロスが増加する一方で平均的に遅延が低くなる。そのため、NSTA と RSSI では Proposed と HRFA に比較して低い遅延となる。

一方 $32 \leq N \leq 42$ の範囲で、Proposed は HRFA と比較して PLR が最大で 1.5%、遅延が最大で 20 ミリ秒増大している。これも Proposed と HRFA の伝送レートの重み付けの違いに起因する。図 10 に示したように、Proposed は HRFA と比較して伝送レートの重みを低く見積もる。その結果、HRFA は早い段階から低レートの AP に STA を分散させるが、一方で Proposed は高レートの AP を選択し続け、HRFA に比べてわずかに STA の集中を引き起こす。そのため、負荷が比較的小さい範囲では HRFA が良い性能を示す。しかし、これは音声の品質という点では大きな影響を及ぼさない。ITU-T の G.107 勧告²⁵⁾で示され、PLR と遅延から算出される音声の品質についての客観的な指標である R 値を用いると、Proposed が $R = 83.7$ 、HRFA が $R = 89.7$ と計算される。同じく G.109 勧告²⁶⁾で示される、通話品質カテゴリの定義ではどちらも “High” かつユーザの満足度は “Satisfied” であり、音声品質に大きな差はない。

図 6 を用いて明らかにした理想的な収容 STA 数の限界が $N = 48$ であることを考慮すると、提案アルゴリズムは既存のアルゴリズムが対象とする VoIP のみの環境で、PLR、遅延ともに従来アルゴリズムと比較して有効である。ここで、理想的な収容 STA 数の限界が 48 であるのに対し、Case 2 において $N = 48$ まで収容できないのは、本シミュレーション

において、STA が必ずしも 54 Mbps のレートで通信できるとは限らないためである。図 6 ではすべての STA が AP と 54 Mbps のレートで通信が可能であると仮定して理想的な収容 STA 数を求めたが、54 Mbps より小さいレートで通信を行う STA が存在する場合には、収容 STA 数は図 6 で求めた理想的な値と比較して小さくなる。本シミュレーションでは各試行において STA と AP はそれぞれランダムに配置されるため、つねにすべての STA が 54 Mbps のレートで通信可能であるとは限らない。そのため、収容 STA 数は理想的な値と比較して小さくなる。

4.4 Case 3

4.4.1 Uniform

Case 3 (Uniform) における VoIP の PLR と遅延、FTP のスループットを図 11、図 12、図 13 にそれぞれ示す。

図 11 に示すように、Proposed は NSTA に対して PLR を最大 7.6%、HRFA に対して最大 6%、RSSI に対しては最大 17%改善する。Case 2 の場合と同様に、 $N \leq 84$ の範囲では Proposed は HRFA と同等の低い PLR を達成する一方、 $N > 84$ では PLR を改善する。すなわち、従来アルゴリズムと比較して、Proposed は VoIP と FTP が混在した環境においても高負荷時に有効である。これは異種のサービスが混在している環境においても Proposed は RSTA に対して適切な AP を選択できるためである。また、Case 2 と同様に Proposed は従来アルゴリズムと比較して高レートの AP を優先して選択することで収容 STA 数を向上させ、高負荷時の PLR と遅延の急増を抑える。

また、図 12 に示すように、Proposed は NSTA に対して片方向遅延を最大 130 ミリ秒、HRFA に対して最大 145 ミリ秒、RSSI に対しては最大 255 ミリ秒改善する。Case 2 の場合と同様に、 $N \leq 84$ の範囲では HRFA と同等の低い遅延を達成し、その一方で $N > 84$ では HRFA よりも低い遅延を達成する。 $N > 108$ で NSTA と RSSI が Proposed と HRFA に比べて低い遅延となっているのは、Case 2 と同様の理由で、AP と STA のキューあふれのためである。

一方 $60 \leq N \leq 84$ の範囲で、Proposed は HRFA と比較して PLR が最大で 1.7%、遅延が最大で 35 ミリ秒増大する。これは Case2 と同様の理由で、負荷が比較的小さい範囲では Proposed が高い伝送レートを持つ AP を優先して選択するためである。Case 2 と同様に R 値を用いた評価を行うと、 $N = 84$ のとき Proposed が $R = 83.4$ 、HRFA が $R = 89.9$ となり、通話品質カテゴリは “High” に分類される。よって、この場合も両者に大きな音声品質の差はない。

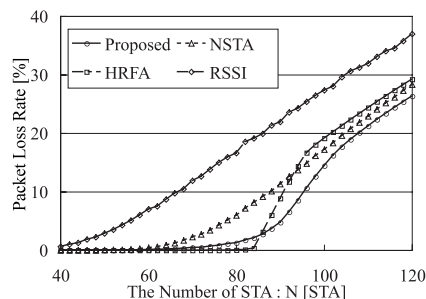


図 11 Case 3 (Uniform) における VoIP の PLR
Fig. 11 VoIP PLR of Case 3.

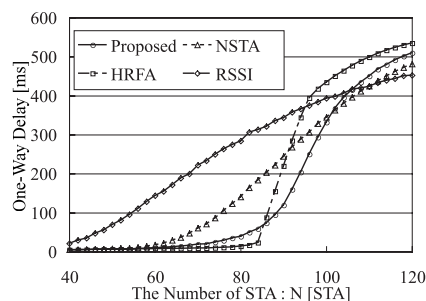


図 12 Case 3 (Uniform) における VoIP の片方向遅延
Fig. 12 VoIP one-way delay of Case 3.

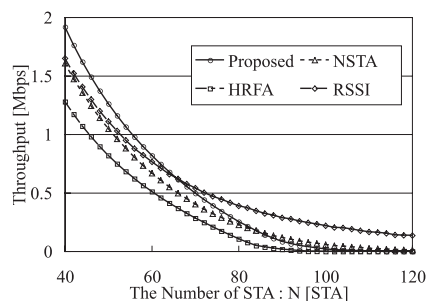


図 13 Case 3 (Uniform) における FTP スループット
Fig. 13 FTP throughput of Case 3.

図 13 に示す FTP のスループットでは、 $N \leq 64$ では Proposed が最大のスループットを達成する。 $N > 64$ では RSSI が最大のスループットを達成し、 $N = 92$ で Proposed と比較して 210 kbps 高いスループットを達成するが、このとき、VoIP の PLR は Proposed と比較して 17% 高くなり、遅延は 200 ミリ秒増大する。これは R 値に換算すると約 30 の差となり、無視できない音声品質の劣化を引き起こす。すなわち、RSSI のスループットは VoIP の品質を犠牲にして達成したものである。NSTA に対しては $N \leq 86$ で高いスループットを達成するが、 $N > 86$ ではわずかに逆転される。これは高負荷時には Proposed が VoIP の品質を改善するために、FTP のスループットを犠牲にしているためである。しかし、その差は最大で 40 kbps 程度と大きな差はない。また、HRFA は STA 数にかかわらず最小のスループットしか達成しない。これは 2 章で議論したように、RSTA と NRSTA が混在した場合に HRFA は正しく NRSTA のアソシエーション先を決定できないためである。

以上より、提案アルゴリズムは既存のアルゴリズムでは対応できなかった VoIP と FTP が混在した環境において、どのような STA 分布に対しても従来アルゴリズムと比較して平均的に VoIP の PLR と遅延、FTP のスループットに対して有効である。

4.4.2 Non-Uniform

Case 3 (Non-Uniform) における VoIP の PLR と遅延、FTP のスループットを図 14、図 15、図 16 にそれぞれ示す。AP 間の距離に近い Non-Uniform-1 と AP 間の距離が遠い Non-Uniform2 で、VoIP の PLR と片方向遅延時間、FTP のスループットに対して Proposed では差が見られたが、他のアルゴリズムでは差が見られなかった。

AP 間の距離に近い Non-Uniform-1 では、図 14 に示すように、Proposed は NSTA に対して PLR を最大 19%、HRFA に対して最大 3.1%、RSSI に対しては最大 70% 改善する。Proposed は全域で最も低い PLR を達成し、AP 間の距離が近い場合には高負荷時に有効である。これは、Proposed が高レート of AP を優先して用いることで、AP の収容 STA 数を従来アルゴリズムと比較して向上し、高負荷時の PLR と遅延の急増を抑えるためである。また、図 15 に示すように、Proposed は NSTA に対して片方向遅延を最大 292 ミリ秒、HRFA に対して最大 73 ミリ秒、RSSI に対しては最大 577 ミリ秒改善する。 $N > 100$ で NSTA が Proposed と HRFA に比べて低い遅延となっているのは、Case 2 と同様の理由で、AP と STA のキューあふれのためである。図 16 に示す FTP のスループットでは、 $N \leq 82$ では Proposed が最大のスループットを達成するが、 $N \geq 84$ では NSTA が最大のスループットを達成する。しかし、 $N = 84$ で Proposed は NSTA に対して、PLR を 19%、遅延を 290 ミリ秒改善する。これは R 値に換算すると約 85 の差となり、NSTA は

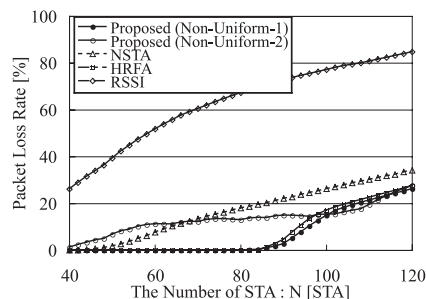


図 14 Case 3 (Non-Uniform) における VoIP の PLR
Fig. 14 VoIP PLR of Case 3.

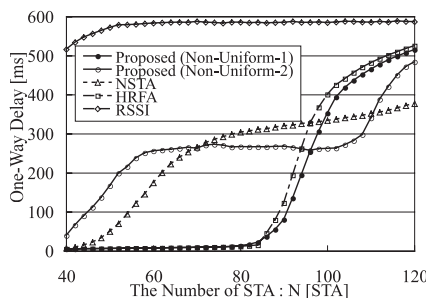


図 15 Case 3 (Non-Uniform) における VoIP の片方向遅延
Fig. 15 VoIP one-way delay of Case 3.

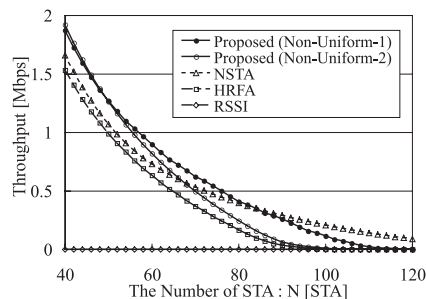


図 16 Case 3 (Non-Uniform) における FTP スループット
Fig. 16 FTP throughput of Case 3.

Proposed に対して無視できない音声品質の劣化を引き起こす。すなわち、NSTA のスループットは VoIP の品質を犠牲にして達成したものである。

AP 間の距離が遠い Non-Uniform-2 では、図 14 と図 15 に示すように、Proposed では VoIP の PLR と片方向遅延が、HRFA に比べてそれぞれ最大で 13%、263 ミリ秒増大する。これは Proposed の伝送レートの重み付けに起因するもので、AP 間の距離が遠く、かつ STA が 1 つの AP の周囲に集中して分布する場合には、HRFA では STA は遠い距離にある低レートの AP を積極的に利用できるのに対し、Proposed では STA は近い距離にある高レートの AP を優先して利用するため、1 つの AP に対して STA の集中を引き起こし、品質の劣化を生じるためである。また、図 16 に示すように、FTP スループットについても NSTA に対して最大で 230 kbps 劣化する。これも同様に Proposed の伝送レートの重み付けによって、1 つの AP に対して STA の集中を引き起こすためである。

以上より、提案アルゴリズムは STA が不均一に分布する場合、AP 間の距離が近い場合には HRFA、NSTA と比較して VoIP の PLR と遅延、FTP のスループットに対して有効であるが、AP 間の距離が遠い場合には HRFA、NSTA と比較して VoIP の PLR と遅延を劣化させ、NSTA と比較して FTP のスループットを劣化させる場合がある。しかし、RSSI と比較した場合には提案アルゴリズムは十分に優位性があり、RSSI で生じる STA 集中問題に対しては十分有効である。

5. おわりに

本論文では、従来の手法では解決できなかった、RT サービスと NRT サービスが混在した環境下で双方に対して適切な QoS を保証する問題を解決するためのアルゴリズムを提案し、その評価を行った。この問題は STA の分布とは関係なく生じる問題であり、STA の分布を変化させて計算機シミュレーションによる評価を行うことで、提案アルゴリズムは RT サービスと NRT サービスが混在した環境において、STA の分布にかかわらず平均的に有効であることを示した。また、特に STA が 1 つの AP の周囲に集中して分布する場合の提案アルゴリズムの有効性は、AP の配置に依存することを示し、AP 間の距離が近い場合には十分に有効性が得られることを示した。加えて、提案アルゴリズムは従来の手法が解決の対象とする RT サービスと NRT サービス、それぞれが単独で利用される環境においても有効であることを示した。今後の課題としては、本提案アルゴリズムの STA への実装に関する検討、1 つの STA が RT サービスと NRT サービスの双方を利用している場合への拡張、そしてハンドオーバーへの対応に関する検討などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) IEEE Std. 802.11a-1999: Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, IEEE (1999).
- 2) IEEE Std. 802.11g-2003: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE (2003).
- 3) IEEE P802.11n/D.3.00: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 4: Enhancements for Higher Throughput, IEEE (2007).
- 4) IEEE Std. 802.11e-2005: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, IEEE (2005).
- 5) Yoshida, T., Miyamoto, G., Kuroda, M. and Ishihara, S.: Load balancing of Wireless LAN with network triggered Handover, *Proc. WPMC'05*, pp.1434–1438 (2005).
- 6) 吉田智哉, 宮本 剛, 石原 進: 電波強度による可変ビットレートを考慮した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, 電子情報通信学会 2006 年総合大会, pp.B–15–13 (2006).
- 7) 齊藤智也, 稲井 寛: 無線 LAN における動的な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).
- 8) Alex, H. and Bob, F.: Radio Resource Management in Wireless LANs, *IEEE Communications Magazine*, Vol.42, No.12, pp.S9–S14 (2004).
- 9) Yigal, B., Seung-Jae, H. and Li, E.L.: Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.15, No.3, pp.560–573 (2007).
- 10) Papanikos, I. and Logothetis, M.: A study on dynamic load balance for IEEE802.11b wireless LAN, *Proc. COMCON 2001* (2001).
- 11) Shiann-Tsong, S. and Chih-Chiang, W.: Dynamic Load Balance Algorithm (DLBA) for IEEE 802.11 Wireless LAN, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol.2, No.1, pp.45–52 (1999).
- 12) Fukuda, Y. and Oie, Y.: Decentralized access point selection architecture for wireless LANs—Deployability and robustness, *Proc. IEEE VTC 2004 Fall*, pp.1103–1107 (Sep. 2004).
- 13) 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 (2002).
- 14) 金子 仁, 福田 豊, 尾家祐二: 無線 LAN における干渉を考慮した Access Point 選択方式の提案と評価, 電子情報通信学会技術報告 IN2005-205, Vol.105, No.628, pp.287–292 (2005).
- 15) 清水祐亮, 山口実靖, 浅谷耕一: 情報転送モードを考慮した IEEE802.11e 無線 LAN における最適 AP 選択方式の検討, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, pp.B–5–179 (2007).
- 16) Morioka, Y., Minoda, Y., Higashino, T., Tsukamoto, K. and Komaki, S.: Proposal of AP Selection Scheme for QoS Guarantee in Wireless LAN, *Proc. COIN-NGNCON2006* (July 2006).
- 17) Morioka, Y., Minoda, Y., Higashino, T., Tsukamoto, K. and Komaki, S.: Proposal of SIP based AP selection agent system in Wireless LAN, *Proc. Pimrc'07* (Sep. 2007).
- 18) Takeuchi, S., Sezaki, K. and Yasuda, Y.: Access Point Selection Strategy in IEEE802.11e WLAN Networks towards Load Balancing, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.J89-B, No.4, pp.431–442 (2006).
- 19) 構造計画研究所. <http://www4.kke.co.jp/qualnet/>
- 20) 植田泰輔, 蓑田佑紀, 川口晃平, 塚本勝俊, 小牧省三: メディアハンドオーバーを実現する SIP を用いた無線メディア選択エージェント, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.80, pp.57–62 (2005).
- 21) Kashiara, S., Tsukamoto, K. and Oie, Y.: Service-oriented mobility management architecture for seamless handover in ubiquitous networks, *IEEE Wireless Communications*, Vol.14, No.2, pp.28–34 (2007).
- 22) Matsunaka, T., Izumikawa, H. and Sugiyama, K.: An Effective Authentication Procedure Considering User Expiry Time During Handover, *Proc. Pimrc'06*, pp.1–5 (2006).
- 23) ITU-T: Recommendation G.711: PULSE CODE MODULATION (PCM) OF VOICE FREQUENCIES, ITU-T (1989).
- 24) IEEE Std. 802.3-2005: Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications, IEEE (2005).
- 25) ITU-T: Recommendation G.107: The E-model, a computational model for use in transmission planning, ITU-T (2005).
- 26) ITU-T: Recommendation G.109: Definition of categories of speech transmission quality, ITU-T (1999).

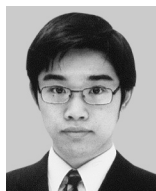
(平成 20 年 5 月 9 日受付)

(平成 20 年 11 月 5 日採録)



森岡 康史 (学生会員)

平成 18 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。平成 19 年同大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士前期課程修了。現在、同博士後期課程在学中。無線通信システムの研究に従事。IEICE 学生員。



東野 武史

平成 13 年大阪大学工学部通信工学科卒業。平成 14 年同大学大学院博士前期課程修了。平成 17 年同大学大学院博士後期課程修了。現在、同大学院工学研究科電気電子情報工学専攻助教。工学博士。光通信方式、無線通信方式の研究に従事。IEEE, IEICE 各会員。



塚本 勝俊

昭和 57 年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和 59 年同大学大学院博士前期課程修了。同大学大学院工学研究科助手、講師を経て、現在、同准教授。光通信方式、無線通信方式、光電波融合通信方式の研究に従事。工学博士。ITE, IEEE, IEICE 各会員。平成 8 年本会論文賞、平成 16 年同業績賞受賞。平成 5 年度電気通信普及財団第 9 回テレコムシステム技術賞



小牧 省三

昭和 45 年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和 47 年同大学大学院修士課程修了。同年電電公社（現、NTT）入社。平成 2 年大阪大学大学院工学研究科助教授、平成 4 年同教授。デジタル無線通信方式ならびに光通信方式の研究に従事。工学博士。昭和 50 年本会論文賞、平成 5 年同業績賞受賞。IEEE シニア会員。