

無線 LAN における AP 選択エージェントシステムの提案

森岡 康史 東野 武史 塚本 勝俊 小牧 省三

大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: morioka@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし 無線アクセス技術の普及により、様々な場所で無線 LAN を用いた大規模なネットワークが構築されることが多くなった。このような大規模無線 LAN では複数のアクセスポイント(AP)を設置しているが、QoS をサポートする AP とサポートしない AP が混在する環境では、サービスエリア間を移動する端末に対して QoS を保証することが困難である。本論文ではこのような環境で移動端末の QoS を保証するための AP 選択エージェントシステムを提案する。提案システムでは、ネットワーク上のサーバと AP、端末に実装されたエージェントが SIP を用いて動作を連携させることにより、所望の QoS を保証すると同時に、さらに高度なサービスの実現を可能にする。提案した AP 選択アルゴリズムは、端末が接続可能な QoS をサポートする AP 数と各 AP を流れるトラフィック量、そして端末が要求する QoS に応じて AP を選択する。シミュレーションにより、従来方式と比較したスループットの改善効果と周波数利用効率の特性を明らかにする。

キーワード 無線 LAN, AP 選択, エージェント, QoS, ロードバランシング

Proposal of AP Selection Agent System in Wireless LAN

Yasufumi MORIOKA Takeshi HIGASHINO Katsutoshi TSUKAMOTO and Shozo KOMAKI

Division of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University
2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan
E-mail: morioka@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract Recent rapid developments of high-speed wireless access technologies cause WLAN environments where QoS supported APs and not QoS supported APs are mixed. To provide optimal QoS guarantee in this mixed environment, this paper proposes AP selection agent system and its selection algorithm for mixed environment. In the system, agents equipped on some servers, APs and STAs in a network cooperate with each other via SIP to provide optimal QoS and user oriented services. The proposed algorithm realizes an AP selection for a STA according to its required QoS and traffic load in an overall WLAN service area. Simulation results show improvement in the throughput and frequency utilization efficiency compared to conventional algorithms.

Keyword Wireless LAN, AP Selection, Agents, QoS, Load Balancing

1. はじめに

無線 LAN (Local Area Network) 技術の発展と普及に伴い、様々な場所で多くの AP (Access Point) と STA (Station) から構成される大規模無線 LAN が構築されるようになった。このような大規模無線 LAN では IEEE802.11g や IEEE802.11a などを用いることで、モバイル通信に対しても高速な通信を実現している。無線通信の高速化により、VoIP (Voice over Internet Protocol) やビデオストリーミング、ビデオチャットなどのリアルタイムマルチメディアアプリケーションの利用がモバイル通信環境においても主流となっている。このようなアプリケーションでは、低遅延性の保証や帯域の保証といった QoS (Quality of Service) の保証が

重要であり、特に厳しい帯域制限をもち、雑音や干渉によるパケット損失が発生するような厳しい伝搬環境を持つモバイル通信環境では、QoS の保証が一層必要とされている。無線 LAN において QoS を保証するために IEEE802.11e の標準化が行われたが、一般に大規模無線 LAN においては全ての AP が QoS を保証可能な AP である QAP (QoS supported AP) であるような環境はまれで、QAP と通常の AP が混在している環境が多い。また、大規模無線 LAN では適切なロードバランシングを施さなければ 1 つの AP へ STA の接続が集中する状況が発生し、特定の AP へ接続している STA の QoS が低下する問題が発生する。特にモビリティを考慮する場合には、セッションの QoS を維持したままの AP 間ハンドオーバーが求められるが、移動時に特定の

AP に接続が集中することはハンドオーバー後の QoS の低下を招くことになるため、ハンドオーバー時に適切な AP を選択することが重要となる。

このような問題を解決するために、様々な手法が提案されている。ネットワーク側から STA のハンドオーバーを制御する手法[1]では、サーバがそれぞれの AP に流れるトラフィック量を監視し、トラフィック量の少ない AP へのハンドオーバーを指示することでロードバランシングと周波数利用効率の改善を実現している。同様な手法として、分散管理型の手法[2][3]も提案されている。これらの手法では、IEEE802.11 のビーコンフレームを拡張することによりロードバランシングを可能にしているが、STA で用いられているアプリケーションの種類を考慮していないため、様々なアプリケーションが利用される状況においては適切な QoS が保証できない。別のアプローチとして、複数の無線アクセスシステムを同時に用いる手法[4]も提案されている。この手法では要求される QoS や接続料金などの情報に基づいて最適な無線アクセスシステムを選択する。複数の無線アクセスシステム間で最適な無線アクセスシステムを選択する際にはこの手法は有効であるが、大規模無線 LAN のような単一无線アクセスシステム環境の中で最適な AP を選択する場合には利用できない。

AP に流れるトラフィック量と STA で利用されるアプリケーションを考慮した AP 選択手法として、HRFA (High-Rate First Association) [5]が提案されている。HRFA が実装された STA は、IEEE802.11e のビーコンフレームから得られる情報に基づいて最適な AP を選択することができる。しかし、HRFA では、すべての AP と STA が IEEE802.11e の QoS 制御を実装している必要があり、IEEE802.11e の QoS 制御をサポートしている QAP と AP が混在する環境では適用不可能である。

このような混在環境でも STA が AP の QoS サポート状況を知ることができるシステムとして、我々は以前、VoIP トラフィックのための AP 選択システム[6]を提案した。この手法では、QoS 情報サーバと呼ばれるサーバが、AP の QoS サポート情報を管理し、STA への通知を行う。本論文では、文献[6]の拡張システムとして、VoIP トラフィックだけではなく、Video や Data のトラフィックも考慮した AP 選択エージェントシステムを提案する。本エージェントシステムは、STA や AP に実装されたエージェントが協調して動作し、STA が AP の QoS サポート情報や、トラフィック量に関する情報、オペレータのポリシーに関する情報といった様々な情報を得ることで、最適な QoS を保証することができる AP を選択することを可能にする。また、本エージェントシステムではエージェント間の通信に SIP を用いるため、様々な無線アクセスシステムが混在したヘテロ

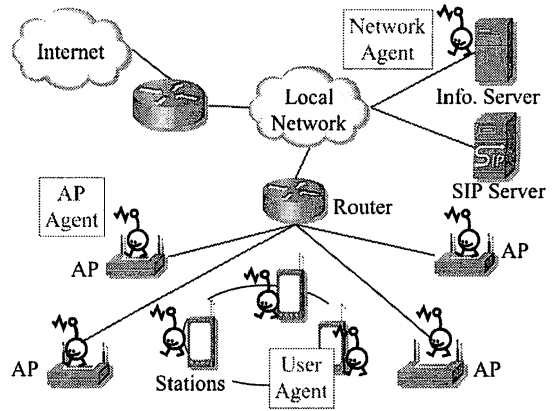


図 1: エージェントシステムの構成

ジニアスな環境に対しても容易に拡張可能である。加えて、本エージェントシステムを用いて、AP と QAP が混在する環境において最適な AP を選択するアルゴリズムとして、利用可能な QAP の数と各 AP と QAP に流れるトラフィック量に基づいた AP 選択アルゴリズムを提案し、ns-2[7]を用いた計算機シミュレーションによりそのスループット特性、遅延特性、周波数利用効率について明らかにする。

2. 提案システム

2.1. エージェントシステム

図 1 に提案 AP 選択エージェントシステムの構成を示す。提案システムは IP ネットワークの中で用いるものとし、適用先の無線アクセスシステムとして、IEEE802.11 を用いた無線 LAN を仮定する。1つの大規模無線 LAN をドメインと定義し、情報サーバ (Information Server) をドメイン内に少なくとも 1つ設置する。情報サーバはそのドメインにおける、オペレータのアドミッションポリシーや、接続料金などといった静的な情報を保持する。また、図 1 にネットワークエレメントに実装されているエージェントの構成も示す。エージェントとは各ネットワークエレメントに実装されているミドルウェアで、それぞれが各ネットワークエレメントに関する情報を管理し、協調して動作することによって高度なサービスを実現するソフトウェアプログラムである。ネットワークエージェント (Network Agent)、AP エージェント (AP Agent)、ユーザエージェント (User Agent) はそれぞれ情報サーバ、各 AP、各 STA に実装されている。これらのエージェントはお互いに SIP/SIMPLE (Session Initiation Protocol / SIP Instant Messaging and Presence Language Extensions) を用いたメッセージのやりとりを行うことで協調して動作する。エージェント間の SIP による

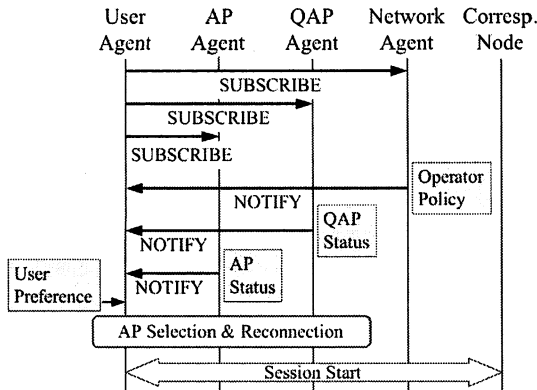


図 2: 提案システムのシグナルフロー

メッセージングを実現するため、ドメイン内には SIP サーバを設置する。

2.2. シグナルフロー

図 2 に提案エージェントシステムのシグナルフローを示す。STA に実装されたユーザエージェントは AP エージェントとネットワークエージェントに対して SIP の SUBSCRIBE メソッドを用いて各エージェントが持っている情報の問い合わせを行う。AP エージェントに対する問い合わせは、STA が接続可能な全ての AP に対して行う。AP エージェントとネットワークエージェントは、STA からのクエリを受信した後、それぞれ QoS 保証やトラフィック量に関する情報とオペレータのポリシーに関する情報を SIP の NOTIFY メソッドを用いて返送する。必要に応じて NOTIFY メソッドによる情報の返送は定期的に行われる。この SIP メッセージングにより、STA は AP に関する情報を取得し、任意のアルゴリズムを用いて AP を選択する。

3. 提案アルゴリズム

3.1. AP 選択ポリシー

提案する AP 選択アルゴリズムは AP の QoS 保証のサポート状況、AP に流れるトラフィック量、そして STA が利用可能な QAP の数に基づいて接続先の AP を決定する。RT アプリケーションを利用する場合、QAP に十分な剰余帯域があるならば STA は AP ではなく QAP に接続した方が有利である。特に、複数の QAP が接続先の候補である場合、QAP に積極的に接続することは RT トラフィックの伝送により有利に働く。しかし、接続先の候補となる QAP に十分な剰余帯域がなく、候補の AP の中に十分な剰余帯域を持つ AP が存在する場合には、その AP に接続した方が有利となる。ここで RT アプリケーションのうち、VoIP のような音声アプリケーションを利用する場合、音声は IEEE802.11e のアク

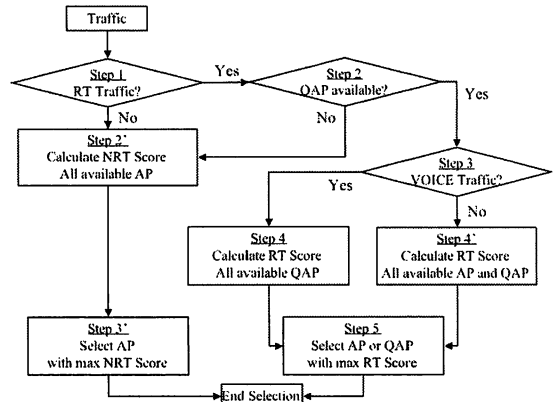


図 3: 提案アルゴリズムのフローチャート

セスカテゴリの中で最高の優先度を持っているため、音声トラフィックについては QAP の剰余帯域にかかわらず常に QAP に接続することが有利となる。一方、NRT アプリケーションを利用する場合には、AP と QAP の区別にかかわらず、接続候補となっている AP と QAP の中で最も多くの剰余帯域を持つ AP または QAP に接続することが有利となる。これは、NRT トラフィックは AP と QAP のどちらに置いても Best Effort の優先度で送信されるためである。これらのことから、以下の接続ポリシーを得る。

- QAP が利用可能な場合 Voice トラフィックは QAP に接続する
- QAP が利用可能でない場合、Voice トラフィックは最も剰余帯域の大きい AP に接続する
- RT トラフィックは利用可能な QAP の数に応じて、できるだけ QAP に接続する
- QAP の剰余帯域がなく、AP の剰余帯域が十分であれば、RT トラフィックは AP に接続する
- NRT トラフィックは最も剰余帯域がある AP または QAP に接続する

3.2. 提案アルゴリズム

図 3 に提案アルゴリズムのフローチャートを示す。本アルゴリズムは接続候補先となる AP と QAP についてスコアを算出し、接続先の AP を決定する。このスコアは AP エージェントからユーザエージェントに通知される各 AP の帯域の利用状況と、利用可能な QAP の数から算出され、前節で示したポリシーに沿った AP 選択を可能とするものである。NRT トラフィックについて、NRT スコアは次のように示される。

$$S_{NRT} = B_i(1 - u_i) \quad (1)$$

NRT スコアは AP か QAP であるかに関係なく計算さ

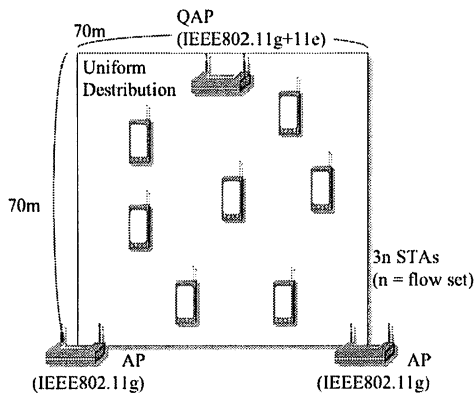


図 4: シミュレーションモデル

れる。ここで、 B_i は接続候補の AP[i]の実効伝送レートであり、APの伝送レート、MACヘッダのサイズ、プリアンプル長などから計算される。 u_i は AP[i]の伝送帯域利用割合で、伝送帯域のうちどれだけが利用されているかを割合で表したものであり、APエージェントから通知される。一方、RTトラヒックについてRTスコアはAPとQAPそれぞれについて次のように計算される。

$$S_{RT}[QAP] = B_i \left[1 - \frac{u_i}{\exp[n/N \cdot (1 - u_i)]} \right] \quad (2)$$

$$S_{RT}[AP] = S_{NRT} \quad (3)$$

B_i と u_i はNRTスコアと同様であるが、 N は接続先候補となるAPとQAPの総数であり、 n は接続先候補のうちQAPの数を表している。これらのスコアに基づいて、AP選択アルゴリズムは次のように動作する。

- Step1: トラヒックフローが発生すると、STAはそのフローがRTなのかNRTなのかを判断する。フローがRTであればStep2へ進む。そうでなければStep2'へ進む。
- Step2: STAは周囲の利用可能なAPとQAPを検出し、接続候補とする。もし接続候補の中にQAPが存在すれば、Step3へ進む。QAPが存在しなければStep2'へ進む。
- Step2': STAは全ての接続候補のAPとQAPに対してNRTスコアを計算し、Step3'へ進む。
- Step3: STAはフローのアクセスカテゴリを検出し、Voiceのアクセスカテゴリを持つフローについてはStep4'へ進み、そうでなければStep4へ進む。
- Step3': STAは最大のNRTスコアを持つAPまたはQAPを選択し、終了する。

Step4: STAは全ての接続候補のQAPに対してのみRTスコアを計算し、Step5へ進む。

Step4': STAは接続候補のうち、APとQAPに対してRTスコアを計算し、Step5へ進む。

Step5: STAは最大のRTスコアをもつAPまたはQAPを選択し、終了する。

スコアから接続先のAPを1つに決定できない場合は、本アルゴリズムは選ばれた複数のAPまたはQAPの中から最大電力を持つAPへ接続する。

4. 評価

4.1. シミュレーションモデル

図4に評価で用いたシミュレーションモデルを示す。無線アクセスシステムとしてIEEE802.11gを仮定し、QAPにおけるQoS制御プロトコルとしてIEEE802.11eを仮定した。IEEE802.11gのパラメータはIEEE802.11g標準[8]に準拠するものとし、IEEE802.11eのパラメータはDraft. 13[9]で示されている標準的な値を仮定した。それぞれのパラメータを表1および表2に示す。シミュレーションエリアは70m×70mを仮定し、その中に2つのAPと1つのQAPが三角形に配置されている状況を仮定する。これらのAPとQAPはそれぞれ異なるチャンネルを利用しており、互いに干渉はないものとする。また、全てのAPとQAPの伝送レートは24Mbpsに固定する。STAはエリア内に一様に配置され、全てのSTAは全てのAPとQAPに対して常に24Mbpsの伝送レートで通信できるものと仮定する。

シミュレーションで用いるアプリケーションの種類として、VoIP (Voice)、ビデオストリーミング (Video)、データ転送 (Data)の3種類のアプリケーションを仮定した。それぞれのトラヒックのパラメータを表3に示す。また、いずれもトランスポート層ではUDPを用いるものとする。

シミュレーションではトラヒックの発生区間とスループットの計測区間を設定した。トラヒック発生区間は10秒から70秒の60秒間に設定し、全てのトラヒックはこの間に各STAからランダムに発生する。発生区間が終了した段階で、それぞれのトラヒック数はVoice, Video, Dataで同数になるようにし、この3つのトラヒックをまとめて1つのセットとして扱い、そのセット数をFlow Setと定義した。つまり、n Flow Setの場合、3n本のフローが発生し、エリア内のSTA数は3n端末となる。スループット計測区間は70秒から170秒の100秒間に設定し、この間にはトラヒックの発生と終了はないものと仮定し、この区間においてスループットと平均遅延、周波数利用効率を測定する。

表 1: IEEE802.11g のシミュレーションパラメータ

周波数	2.412GHz, 2.437GHz, 2.472GHz		
送信レート	24Mbps	Slot Time	9μsec
SIFS	10μsec	DIFS	34μsec
PLCP Preamble	16μsec	PLCP Header	24bit
CWmin	15	CWmax	1023

表 2: IEEE802.11e のシミュレーションパラメータ

Access Category	CWmin	CWmax	AIFSN
Background (BG)	31	1023	7
Best Effort (BE)	31	1023	3
Video (VI)	15	31	2
Voice (VO)	7	15	2

表 3: 各トラフィックのパラメータ

Application	Payload	Interval	Rate	AC
VoIP	150Bytes	20msec	68kbps	VO
Streaming	1280Bytes	10msec	1.04Mbps	VI
Data	1500Bytes	4.8msec	2.53Mbps	BE

4.2. 平均スループットの評価

図 5 から 7 に Flow Set に対する Voice, Video, Data の平均受信スループットをそれぞれ示す。

図 5 の Voice の結果では、両アルゴリズムとも Flow Set 数の増加に対して平均スループットの低下は見られなかった。これは、両アルゴリズム共に Voice のトラフィックを常に QAP に接続するためである。

図 6 の Video の結果では、20 Flow Set に近づくとつれて両アルゴリズム共に平均スループットの低下が見られたが、Proposed Selection の低下は QoS Selection に比べて小さく抑えられた。これは Proposed Selection はフロー数が多い場合にはロードバランシングを考慮して接続先を決定しているのに対し、QoS Selection では AP の QoS サポートの有無のみに基づいて接続先を決定しているためである。

図 7 の Data の結果においても、両アルゴリズムでスループットの低下が見られた。Proposed Selection は QoS Selection に比べて若干低い平均スループットとなっている。これは QoS Selection において AP に接続されるのは Data フローのみであり、Proposed Selection に比べて負担が小さいためである。しかし、Data フローは NRT のトラフィックであり、再送を行えば十分 QoS が保証できるものと考えられる。

これらのことから、Proposed Selection は QoS Selection と比較して、Voice のスループットを維持したまま Video のスループットを改善できることがわかった。また、Data フローに対してはわずかにスループットの低下が見られることがわかった。

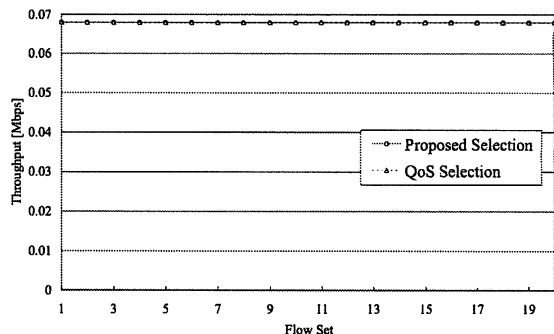


図 5: Voice の平均スループット

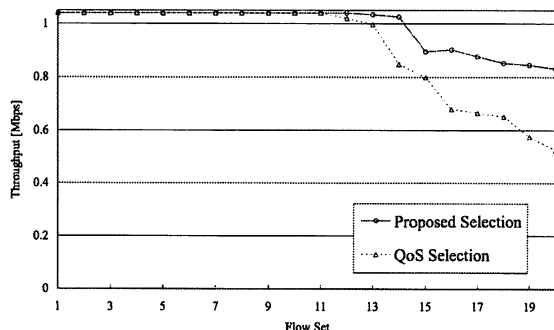


図 6: Video の平均スループット

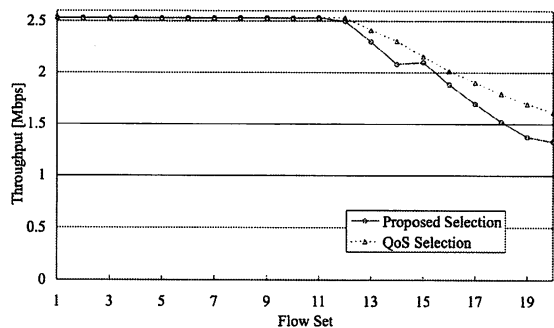


図 7: Data の平均スループット

4.3. 平均遅延の評価

図 8 と図 9 に Flow Set に対する、Voice と Video の無線部分の平均遅延測定結果を示す。Data は NRT トラフィックのため、平均遅延の評価は行っていない。

図 8 の Voice の結果では両アルゴリズム共に、20 Flow Set に近づくとわずかに平均遅延が増大するが、全域で遅延は低く抑えられている。これは両アルゴリズム共に Voice を常に QAP に接続するためである。

図 9 の Video の結果では、Proposed Selection が最大で約 30 ミリ秒の遅延に抑えられたのに対し、QoS Selection では最大約 50 ミリ秒まで増大した。これは QoS Selection が Video フローを QAP に集中して接続す

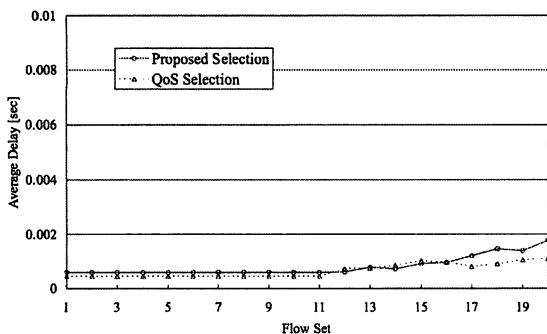


図 8: Voice の平均遅延

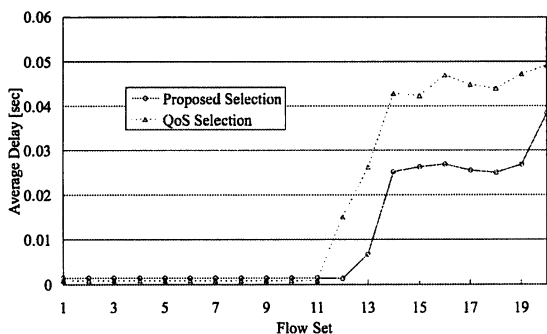


図 9: Video の平均遅延

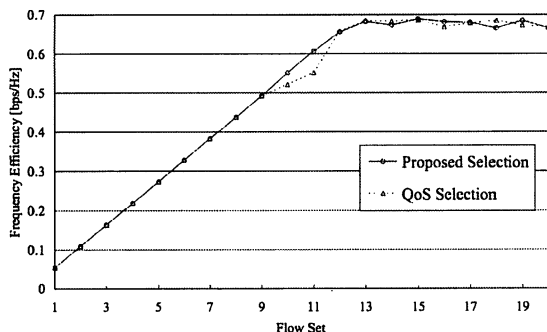


図 10: 周波数利用効率

るのに対し、Proposed SelectionはQAPとAPに分散させながら接続を行うためである。

このことから、Proposed SelectionはVoiceにおいてはQoS Selectionと同等の平均遅延を維持しながら、Videoの遅延をQoS Selectionの半分程度に改善できることがわかった。

4.4. 周波数利用効率の評価

図10に両アルゴリズムの周波数利用効率を示す。9 Flow Setから15 Flow SetまではProposed SelectionはQoS Selectionに比べて若干高い周波数利用効率を達成している。一方、それ以外の領域では両アルゴリズムともほぼ同じ周波数利用効率を達成している。

Proposed SelectionはQoS保証と同時にロードバランシングも考慮したAP選択を行っているため、QoS Selectionに対して、特にAPが物理的に伝送できる最大レート付近に置いて周波数利用効率を向上させることが可能であることがわかった。

5. まとめ

本論文ではQAPとAPが混在している環境においても適切なQoSを保証するためのAP選択エージェントシステムを提案し、また提案エージェントシステムで用いるためのAP選択アルゴリズムを提案した。AP選択エージェントシステムはSTAがAPやオペレータに関する情報を得ることを実現する。提案AP選択アルゴリズムは利用可能なQAPの数、各APのトラフィック量、そしてSTAが要求するQoSを取得することでAPを選択する。シミュレーション結果より、提案アルゴリズムはVoiceフローのスループットと平均遅延を維持しながら、Videoフローのスループットと平均遅延を改善できることを明らかにした。また、周波数利用効率についても従来方式に比べて低下することなく実現可能であることを明らかにした。

文 献

- [1] T. Yoshida, G. Miyamoto, M. Kuroda, S. Ishihara, "Load balancing of Wireless LAN with network triggered Handover," IWS2005/WPMC'05, pp.1434-1438, September 2005.
- [2] Y. Fukuda and Y. Oie, "Decentralized access point selection architecture for wireless LANs - Deployability and robustness," Proc. IEEE VTC2004-fall, pp.1103-1107, Sept. 2004.
- [3] I. Papanikos and M. Logothetis, "A study on dynamic load balance for IEEE802.11b wireless LAN," Proc. COMCON 2001, 2001.
- [4] K. Kawaguchi, Y. Minoda, K. Tsukamoto and S. Komaki, "An Idea of Adaptive Selection Agent of Wireless Service with SIP," IEICE Technical Report, MoMuC2004 of IEICE, pp.13-18, July 2004.
- [5] 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," 信学論 (B), vol.J89-B, no.4, pp.431-442, Apr. 2006.
- [6] Y. Morioka, Y. Minoda, T. Higashino, K. Tsukamoto and S. Komaki, "Proposal of AP Selection Scheme for QoS Guarantee in Wireless LAN," COIN-NGNCON2006, pp.30-32, July 2006.
- [7] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] 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.
- [9] IEEE P802.11e/D13.0, January 2005, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Amendment : Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements