

無線 LAN VoIP 高度化技術

無線 LAN VoIP の通信品質向上のための新規技術として考案した、QoS を考慮した最適アクセスポイント選択方式および自律分散スケジューリング MAC 方式について技術概要を解説する。提案方式により、同一エリアにおける同時通話台数を従来方式での最大通話台数から約 50 % 増加させた場合でも、増加させる前と同等の音声品質を実現することが可能となる。

山田 暁 五十嵐 圭

杜 蕾 陳 嵐

1. まえがき

現在、IEEE 802.11 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11)^{*1} 無線 LAN は装置の低価格化により、企業や家庭、公共空間などのさまざまなネットワークに広く、急速に普及しつつある。また、市場では無線 LAN インタフェースを搭載したノート PC などのデータ端末製品も急速に普及している。さらに近年では、データ通信のみならず、VoIP (Voice over IP) に代表されるリアルタイム系のアプリケーションへの適用が期待されている。

無線 LAN は ISM (Industrial, Science, and Medical) バンドと呼ばれる免許が不要な周波数帯域を複数の独立したシステム間にて共有するため、VoIP 通信へ無線 LAN を適用する場合には、通信品質を確保するための機能が必須である。しかしながら、SNR (Signal to Noise Ratio)^{*2} や接続端末台数のみを考慮した一般的なアクセスポイント (AP: Access

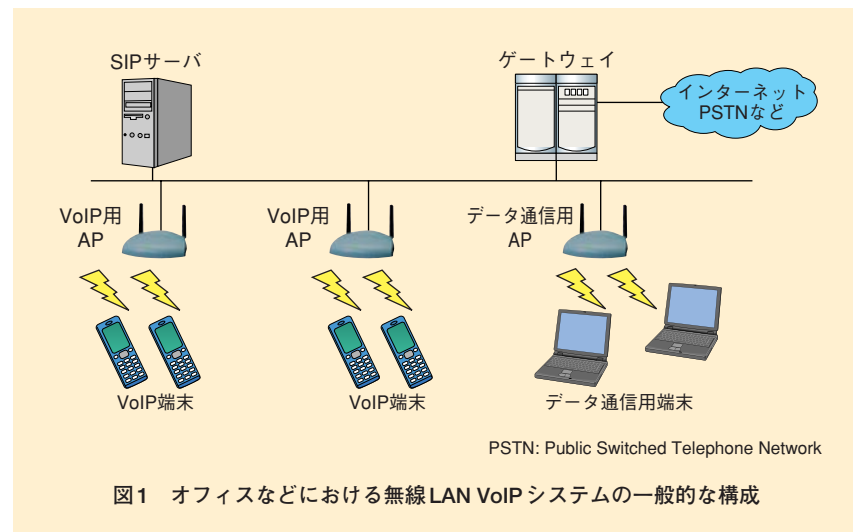
Point) 選択方式や、IEEE 802.11e^{*3} にて規定されているサービス品質 (QoS: Quality of Service) 制御^{*4} 方式である EDCA (Enhanced Distributed Coordination Access) [1] のみでは、同時通話台数が増加した際に良好な音声品質を確保することは、一般的には困難である。

本稿では、これらの課題を解決するため考案した技術概要について解説する。

2. 無線 LAN VoIP 概要

オフィスなどにおける無線 LAN VoIP システムの一般的な構成を図 1 に示す。無線 LAN VoIP システムは、「VoIP 端末」、「AP」、「SIP (Session Initiation Protocol) サーバ^{*5}」、「ゲートウェイ」などから構成される。通信エリアを広く確保するため、オフィス内では一般的に複数の AP が設置される。

一方、無線 LAN では使用できる



*1 IEEE 802.11: 米国財団法人である IEEE が策定した無線 LAN の国際標準規格。

*2 SNR: 無線通信における干渉波の電力に対する所望波の電力の比。

*3 IEEE 802.11e: IEEE で規定された無線 LAN における QoS (*4 参照) 技術を規定した国際標準規格。

*4 サービス品質制御: サービスごとに設定されるネットワーク上の品質、使用帯域の制御により遅延量や廃棄率などの制御が行

われる。

*5 SIP サーバ: VoIP 通信において、端末間の呼接続制御を行うためのサーバ。

周波数チャンネルに限りがあるため、VoIP通信と同一の無線帯域を使用する他のシステム（データ通信など）が互いに干渉する可能性がある。そのため無線 LAN VoIP 通信では、同一のエリアに複数の AP が設置されている場合、VoIP 端末は単にもっとも近くに設置された AP を選択するのではなく、AP の処理するトラフィック量や接続端末台数などを考慮したうえで AP を選択する必要がある。

また、通話台数増加時に音声パケットの衝突を防ぐために、MAC (Medium Access Control) 層^{*6}にて効率的にパケット送信を行う必要がある。無線 LAN における QoS 制御方式である EDCA は、アプリケーションを音声通信・ビデオ通信・データ・バックグラウンドなどの優先度に応じた 4 種類の AC (Access Category) に分類することにより、データ通信などとの優先制御を実現する。しかしながら、同一優先度である音声端末数が増大した場合にはパケット衝突確率が增大するため、EDCA のみでは高精度な QoS 制御を期待することはできない [2]。

そこで、本稿では AP と VoIP 端末の機能追加により実現する QoS を考慮した最適 AP 選択方式、ならびに VoIP 端末側のみの変更により同時通話台数を増加させる自律分散スケジューリング MAC 方式を提案する。提案方式により、無線 LAN VoIP の同時通話台数増加時にも通話品質を確保することが可能であることを示す。

3. QoS を考慮した最適 AP 選択方式

3.1 目的

無線 LAN VoIP では、同時通話台数が増加した際にパケット衝突などに起因して音声通話品質が大幅に低下する。そのため、隣接した複数の BSS (Basic Service Set)^{*7}が存在する場合、最適な AP を選択することは同一エリアに存在する無線 LAN VoIP システム全体の性能向上に対して不可欠である。特に、リアルタイム性を要求する VoIP 通信と非リアルタイム性のデータ通信が混在した環境では、QoS を考慮したうえで AP を選択する必要がある。

従来方式では、トラフィック量や使用可能な帯域幅などに応じた AP 選択方式が提案されていた [3]～[5]。しかしながら、パケットの衝突確率を向上させる隠れ端末問題^{*8} [6]や QoS 制御については考慮されていない。また、EDCA では AC ごとにトラフィック量が異なるため、

VoIP 通信へ与える影響も各 AC で異なる。そのため、トラフィック量を考慮する際には、優先度の高い VoIP と同じ AC のトラフィック量を最優先して考慮する必要がある。

そこで、本稿では、「利用可能な物理層伝送レート」、「AC ごとの接続端末数」、「隠れ端末による影響」、「AP 負荷」の 4 点を考慮した AP 選択方式を提案する。

3.2 提案方式

パッシブスキャン^{*9}へ提案方式を適用した際のシーケンスを図 2 に示す。ここで AP1 および AP2 は異なる周波数チャンネル (f_1 , f_2) を使用していると仮定する。

提案方式では、接続している AC ごとの端末数情報をビーコン^{*10}を利用し VoIP 端末へ通知することにより、QoS を考慮した AP 選択を実現している。VoIP 端末はビーコンを受信することにより、所属している BSS の現在の負荷と AC ごとの接続端末数を取得することができる。

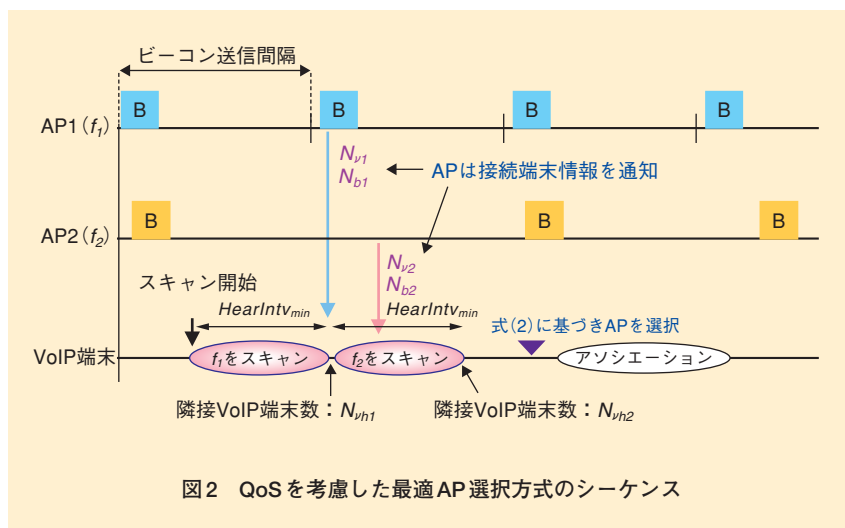


図2 QoSを考慮した最適AP選択方式のシーケンス

*6 MAC層：通信回線を複数ノード間で共用する場合に、お互いの通信が衝突しないように制御を行う機能を有する。OSI (Open Systems Interconnection) 7層モデルでは、データリンク層の下部副層に相当する。

*7 BSS：アクセスポイントと複数の端末とで構成される無線LANの構成単位。

*8 隠れ端末問題：互いに電波が届かない場所に位置し、相手の通信状況が把握できない端末を隠れ端末と呼び、隠れ端末どうしが同時に送信したパケットが衝突し

て、通信品質を劣化させる現象を隠れ端末問題という。

*9 パッシブスキャン：アクセスポイントから周期的に送信されるビーコン（*10参照）を受信することでアクセスポイントを発見する方式。

VoIP端末は、通信可能な周波数チャネルを順に切り替え、近隣に存在するACごとの端末台数を測定しながら、ビーコンの受信可否により接続可能なAPの存在の有無を確認する。

ここで、VoIP端末により観測された周辺のVoIP端末数およびデータ通信用端末数をそれぞれ $N_{\nu_{hi}}$ および $N_{\nu_{bi}}$ 、ビーコンにより通知されるAPの観測したVoIP端末数およびデータ通信用端末数をそれぞれ N_{ν_i} および N_{bi} 、観測した周波数チャネルを i とする。また、VoIP端末は、受信したビーコンのSNRから使用するデータレート ν_i を決定する。VoIP端末は、1つの周波数チャネルの観測時間があらかじめ規定した観測タイムアウト時間である $HearIntv_{min}$ を越えた後、次の周波数チャネルの観測へ移行する。

ここで、APを選択するための指標として、 f_{ν_i} を式(1)のとおり定義する[7]。

$$f_{\nu_i} = (N_{\nu_i} - N_{\nu_{hi}}) \cdot L / \nu_i \quad (1)$$

ここで、 L は平均データパケット長である。

隠れ端末台数はAPで受信でき、かつVoIP端末で受信できない端末数であることから、 $(N_{\nu_i} - N_{\nu_{hi}})$ は隠れ端末台数の推定値となる。また、 L / ν_i はデータ送信に要する時間指標となる。

通信の品質は、自端末の送信するパケットの使用するACと同一あるいはより優先度が高いACに属するパケットに影響されることから、式

(1)は全ACを考慮した場合、式(2)のとおり一般化される。

$$f_{mi} = \sum_{k=1}^m (N_{ki} - N_{khi}) \cdot L / \nu_i \quad (2)$$

ただし、ここでは k を1~4とし、 $k=1$ を最高優先度のAC（EDCAでは音声通信）と定義している。

ここまで提案方式をパッシブスキャン時へ適用した際の動作について説明したが、本方式はアクティブスキャン^{*11}を使用する場合にも、プローブ応答パケット^{*12}に N_{ν_i} 、 N_{bi} などの情報を挿入することにより適用することができる。

3.3 フレームフォーマット

従来の無線LAN標準規格であるIEEE 802.11eにて規定されているビーコンやプローブ応答のフレームフォーマットでは、ACごとのチャネル使用率などに関する情報を得ることができず、VoIP通信に最適なAPを選択することは困難である。そこで、本方式ではACごとの接続端末台数をVoIP端末へ通知するための新規IE（Information Element）^{*13}を定義する（図3）。本IEには新規に以下の情報が含まれる。

・ Station Count Bitmask :

APが検知した、BSS内で使用中のACを示す。ACとBitmaskのマッピングを表1に示す。

・ Station Count List :

各ACで使用されている端末数を示す。

なお、本提案のフレームフォーマットについては、IEEE 802.11v^{*14}ドラフトへ採用されている[8][9]。

3.4 特性評価

計算機シミュレーションにより、提案するAP選択方式におけるパケットロス率^{*15}およびアソシエーション^{*16}試行回数に関する評価を行った。シミュレーションではIEEE 802.11b^{*17}を用い、図4に示すように、異なる周波数チャネルを使用す

表1 Station Count Bitmask フィールド

ビット	AC
0	AC_BE
1	AC_BK
2	AC_VI
3	AC_VO
4~7	Reserved

AC_BE : データ
AC_BK : バックグラウンド
AC_VI : ビデオ通信
AC_VO : 音声通信

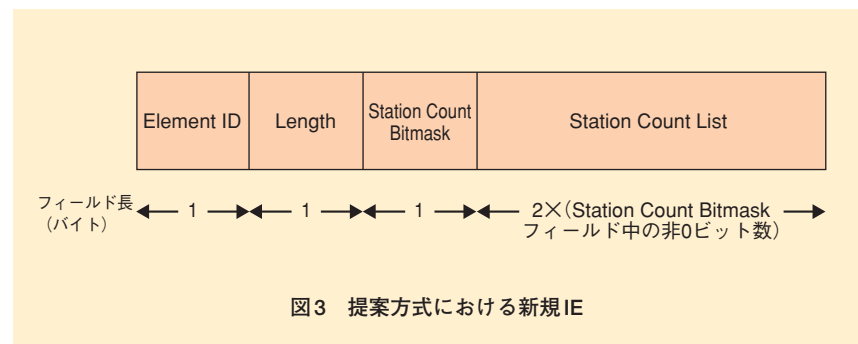


図3 提案方式における新規IE

*10 ビーコン：アクセスポイントから数十から数百msごとに周期的に送信される共通情報。

*11 アクティブスキャン：端末が「プローブ要求」パケットを送信することによるアクセスポイント発見方式。

*12 プローブ応答パケット：端末が送信する「プローブ要求」パケットに対してアクセスポイントから返信されるパケット。「プ

ローブ応答」パケットを受信することにより、端末はアクセスポイントの所在や利用可能な伝送レートを知ることができる。

る2つのBSSがあるエリアにて重なる状況を想定した。VoIP端末は80%をAP1のエリアに、20%をAP2のエリアにランダムに配置した。また、VoIP通信へ干渉となるデータ通信端末を4台配置した。物理層で使用される伝送レートはビーコンのSNRにより決定するものとした[10]。最大のSNRとなるAPを選択する方式 (Max. SNR)、最小端末接続台数を有するAPを選択する方式 (Min. Nmt) および提案方式の3種類の方式を比較した。なお、本シミュレーションでは音声品質の指標として、パケットロス率は0.1を基準値と設定した。

合計端末台数に対して、エリア内のVoIP端末台数に対する上りリンクのパケットロス率に関するシミュレーション結果を図5に示す。提案方式では、従来方式と比較し最大約40%程度同時通話台数を向上させることが可能であることが分かる。

エリア内のVoIP端末台数に対するアソシエーション再試行回数に関するシミュレーション結果を図6に示す。提案方式により、アソシエーションの回数を25~50%程度低減することが可能であることが分かる。このことから、提案方式ではパケットロス率を低減するのみならず、再スキャンのための消費電力を大幅に低減可能であることも分かる。

4. 自律分散スケジューリングMAC方式

4.1 目的

無線 LAN における QoS 制御方式

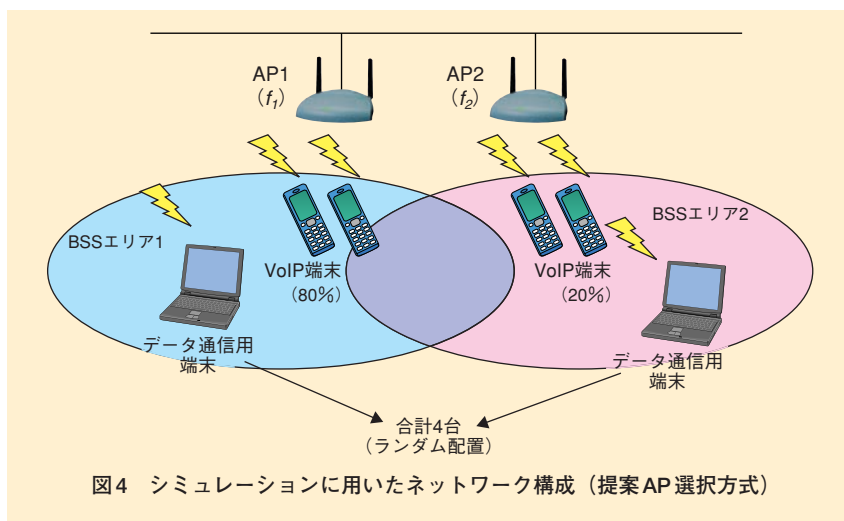


図4 シミュレーションに用いたネットワーク構成 (提案AP選択方式)

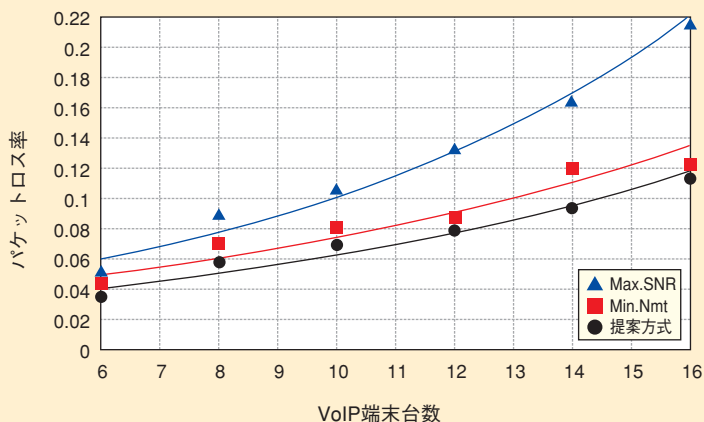


図5 パケットロス率のシミュレーション結果 (提案AP選択方式)

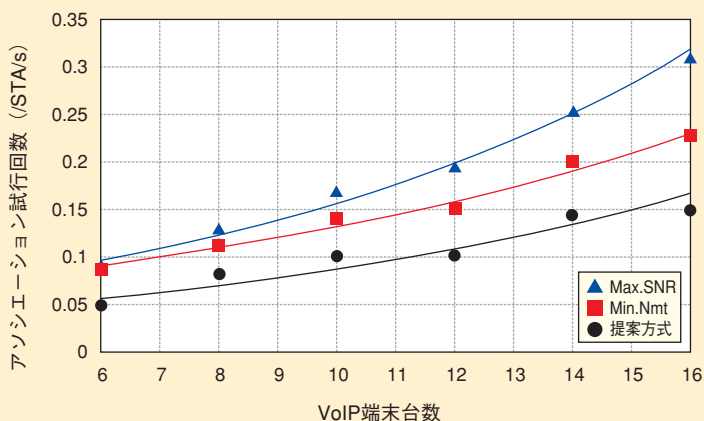


図6 アソシエーション試行回数のシミュレーション結果 (提案AP選択方式)

* 13 IE：ビーコンやプローブ要求／応答パケットなどを構成するパケット中に含まれる、接続中の端末台数や利用可能な伝送レートなどに関する情報要素。

* 14 IEEE 802.11v：無線LANの無線区間管理方式の拡張にかかわる国際標準規格。

* 15 パケットロス率：無線区間の干渉やパケット衝突などの影響により、正常に受信側に到達しないパケット数の全送信パケット数に対する割合。

* 16 アソシエーション：無線LAN端末とアクセスポイント間にて通信開始前や通信が中

断した際に行われる通信確立のための手順。
* 17 IEEE 802.11b：IEEEで規定された無線規格。2.4GHz帯の周波数を利用し、11Mbit/sの転送速度をサポートする。同じ54Mbit/sの802.11gと上位互換性を有する。

であるEDCAでは、アプリケーションを優先度に応じ4種類のACに分類し、ACごとにパケットの送信開始時刻に差を与えることにより、優先制御を実現する。EDCAによるアクセス方式の概要を図7に示す。優先度の高いACは優先度の低いACよりも送信待機時間が短くなり、結果としてより多くの送信機会を獲得することが可能となる。ここで、送信待機時間とは各ACの優先度に応じて付与されるパラメータであり、AIFS (Arbitration Inter Frame Space) やランダムバックオフ時間 (Backoff) のことである。一方、優先度の低いACは送信待機時間が相対的に長くなる。このように、アプリケーションの優先度に応じ送信待機時間に差を持たせることにより、VoIP端末とデータ通信端末とが同一無線帯域に混在する状況においても、VoIP端末へ優先的に送信権を付与することが可能となる。しかしながら、EDCAは異なるAC間のみ優先制御を適用できる方式であ

り、多数のVoIP端末が同一エリアに複数配置された状況では、優先制御を正常に動作させることはできない。

なお、IEEE 802.11eではEDCAのほかにもHCCA (Hybrid coordination function Controlled Channel Access) と呼ばれる集中制御によるQoS制御方式が規定されているが、セルオーバーラップ部におけるポーリング衝突などの多くの課題があることが知られている [2][11]。

これらの課題をかんがみ、本稿では、VoIP端末間で自律的に送信順序を決定することにより、無線LAN VoIP通信を高品質に行うMACプロトコルを提案する。なお、実装実現性を高めるための設計指針として以下の3点を考慮した。

- ・端末のみの変更により実現できること、すなわち既設APを利用可能とすることでユーザの利便性を確保すること
- ・ソフトウェアのみの変更により実現可能な方式とし、実装のた

めのハードウェアインパクトを抑制可能であること

- ・後方互換性を確保し、既存端末との、あるいは既存端末間での通信を確保可能であること

4.2 提案方式

提案方式におけるVoIP端末のフローチャートを図8に示す。まず、各VoIP端末は同一BSS内の他VoIP端末の通信有無を確認するために、APから送信される下りパケットを一定期間観測し、MACヘッダ内のあて先アドレスフィールドに記載されたMACアドレスを参照し、表2に示すようなセル内端末リストを作成する。同一BSSに存在するすべての端末あての下りパケットが受信可

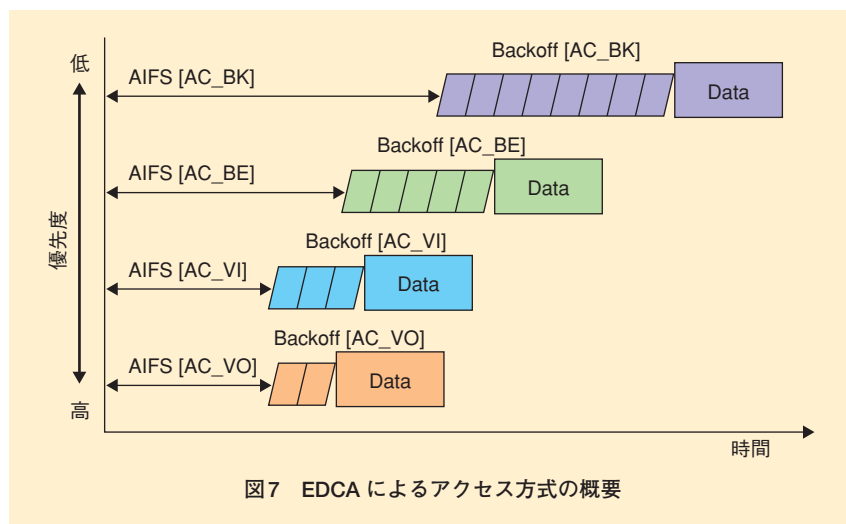


図7 EDCAによるアクセス方式の概要

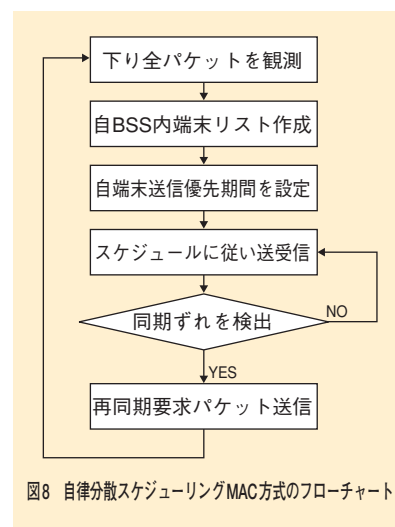


図8 自律分散スケジューリングMAC方式のフローチャート

表2 端末リストの例

番号	MAC アドレス
1	xx:xx:xx:01:01:03
2	xx:xx:xx:03:02:06
3	xx:xx:xx:07:09:02
...	...
...	...

能であるため、新たなシーケンスや制御パケットなどを定義することなく、セル内端末リストを共有することが実現可能である。ここでは一例として、端末リスト中で観測した MAC アドレスを昇順に並べる。例えば、表 2 において自端末の MAC アドレスが「xx:xx:xx:03:02:06」であれば、この端末は所定の周期内においてセル内すべての端末のうち、2 番目に送信すればよいと認識する。

各端末は以上の手順により確立した順序に従って、端末リスト中において自端末より上位のエントリにある VoIP 端末の送受信が完了した後に、音声パケット送受信を行う。また、スケジュール確立後、新規端末の加入などの理由により、送受信の失敗が相次ぐ場合には、VoIP 端末が再同期要求を送信する。再同期要求は、ブロードキャストで送信することにより AP にて中継され、BSS 内のすべての端末へ通知される。再同期要求を受信した端末は、再度下りパケット傍受を再開し、スケジュール確立を実施する。なお、スケジュール確立中の通信は、従来方式である EDCA による送受信が行われる。

各 VoIP 端末は、4.1 節の手順によるスケジュール決定後、設定されたスケジュールに従って、AIFSN (AIFS Number), CW_{min} ^{*18}, CW_{max} ^{*19} などの EDCA パラメータを適応制御し、送信優先期間を設定することにより、パケット衝突回避送受信を行う。提案方式と、従来方式である EDCA における送信権獲得優先度

を、それぞれ実線と破線で図 9 に示す。ここで送信権獲得優先度は、AIFSN もしくは CW_{min} の逆数に対応する。従来方式では常に、送信権獲得優先度すなわち EDCA パラメータは、静的に付与される。一方、提案方式では、VoIP 端末は所定の音声コーデック周期内において、自律分散パケットスケジューリングにより決定された送信時刻にて AIFSN, CW_{min} , CW_{max} を動的に変更し、特定の期間のみ他端末よりも待ち時間を短く設定する。この期間を送信優先期間と呼ぶ。送信優先期間の端末間シフト幅は、例えば上りと下りの送受信に必要な時間を設定すればよい。この値は、音声コーデックと伝送レートの情報を利用することにより、算出可能である。提案方式では図 9 のように、各端末がパケット送信を行うタイミングを分散させることが可能となり、パケット衝突が回避されることが期待できる。

本方式は、提案技術を実装した端末にのみ送信機会を割り当てるものではなく、あくまで CSMA/CA

(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) による自律分散的な送信権獲得を行うため、既存技術を実装した端末の送信を完全に妨げるものではない。特に、一連の送信優先期間を可能な限り隣接させ、提案技術を実装したどの端末にも、優先期間ではない期間を長く設定することにより、提案技術非実装端末の送信割込みによるスケジュール破綻をも抑制可能である。また、本方式は IEEE 802.11e にて規定されたパワーセーブ方式である U-APSD (Unscheduled-Automatic Power Save Delivery) との親和性が高く、高効率な間欠受信を実現することができる。

本方式は、新規シーケンスが不要であること、端末のソフトウェア変更のみで実装可能であり、また AP の変更が不要であることから 4.1 節にて述べた設計条件をすべて満たしている。

4.3 特性評価

計算機シミュレーションにより

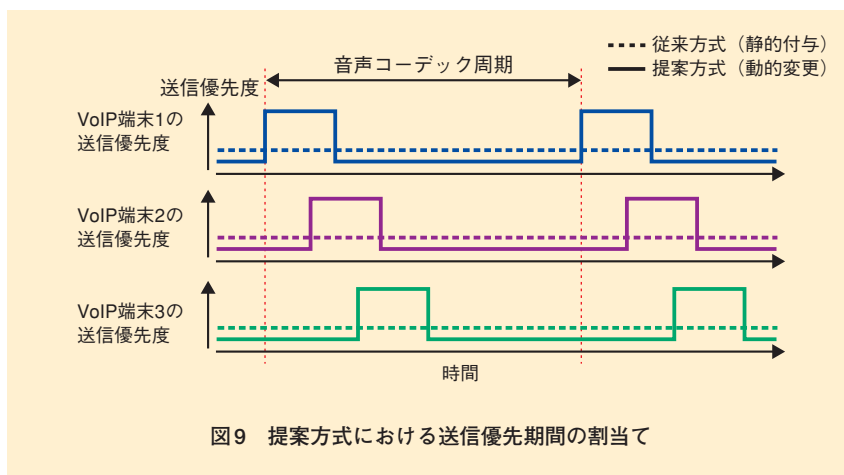


図9 提案方式における送信優先期間の割当て

* 18 CW_{min} : 無線 LAN パケットを初回に送信する時に待機するランダムバックオフ時間の最大値を決定するパラメータ。

* 19 CW_{max} : 無線 LAN パケットを再送する時に待機するランダムバックオフ時間の最大値を決定するパラメータ。

IEEE 802.11bを用いた場合の提案するMAC方式の評価を行った。

まず、スケジュール未確立の状態で、複数のVoIP端末が同時に通信を開始した場合の収束性能に関するシミュレーションを行った。パケットロス率の時間変化に関するシミュレーション結果を図10に示す。提案方式は100ms程度でパケットロス率がほぼ0に収束しているのが確認できる。これは、同時通信開始直後ではスケジュールが未確立であり、従来方式であるEDCAにより、各端末

が任意のタイミングでパケット送信を行うため、パケットロスが発生するが、その後端末間でスケジューリングを行うことにより、各端末が端末リストの順に送受信を行うためである。

端末台数増加時のパケットロス率とスループットに関するシミュレーション結果を図11に示す。EDCAでは、同時通信台数の増加に伴いパケットロス率が増大し、同時にスループットの低下が発生している。これは、従来方式では必ずしも理論値

どおりの最大通信台数を確保することはできないことを意味する[12]。一方、提案方式では、同時通話台数が50%程度増加しても、パケットロス率の増大やスループットの低下が発生していないことが確認できる。すなわち、提案方式によって、従来方式の問題点である同時通話台数の増加に伴うパケット衝突確率の増大を改善可能であることを示している。

なお、本提案方式は、同一周波数帯域上でセルがオーバーラップした場合や、複数の音声コーデック周期のパケットが混在した場合でも、動作することが可能である[13]。

5. あとがき

本稿では無線LAN VoIPにおける音声品質向上技術として、QoS制御を考慮した最適AP選択方式および自律分散スケジューリングMAC方式について述べた。今後の課題として、実機による動作検証や標準化への提案などが挙げられる。

文 献

- [1] IEEE 802.11e, 2005.
- [2] S. Mangold, S. Choi, G. Hiertz, O. Klein and B. Walke: "Analysis of IEEE 802.11e for QoS Support in Wireless LANs," IEEE Wireless Communications, Vol. 10, No. 6, pp. 40-50, Dec. 2003.
- [3] H.-w. Lee, S.-h. Kim and W. Ryu: "Performance of an efficient method for association admission control in public wireless LAN," VTC 2004 Fall.
- [4] S. Misra and A. Banerjee: "A Novel Load Sensitive Algorithm for AP selection in 4G Networks," CODEC 2003,

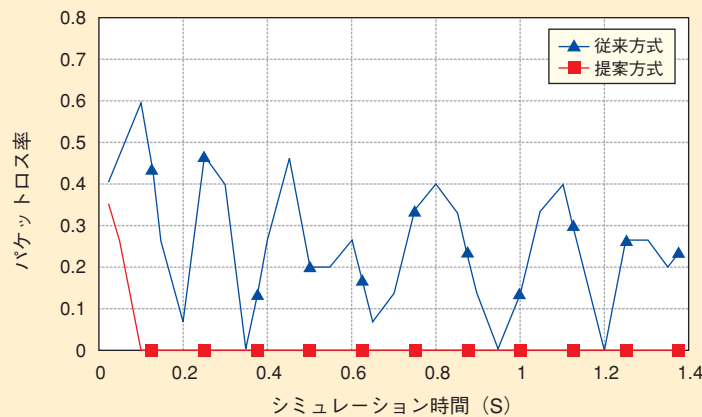


図10 スケジューリング収束時間のシミュレーション結果

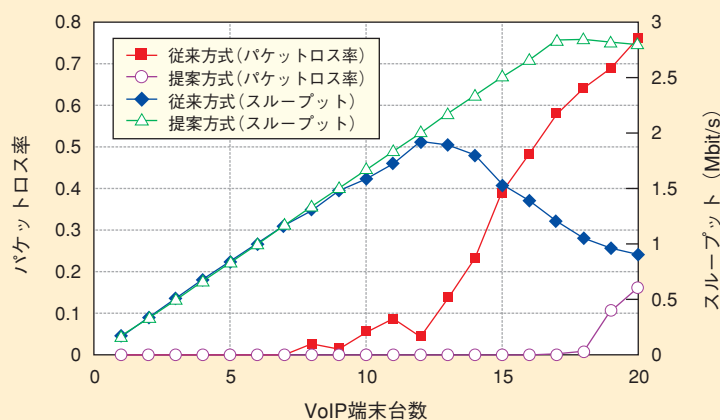


図11 VoIP端末台数増加時のパケットロス率のシミュレーション結果

- Calcutta, INDIA, 2003.
- [5] S. Vasudevan, K. Papagiannaki, C. Diot, J. Kurose and D. Towsley: "Facilitating access point selection in IEEE 802.11 wire-less networks," in ACM Internet Measurement Conf., New Orleans, LA, Oct. 2005.
 - [6] W. M. Moh, D. Yao and K. Makki: "Wireless LAN: study of hidden-terminal effect and multimedia support," Proc. Of 7th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 422-431, 12-15 Oct. 1998.
 - [7] L. Du, Y. Bai and L. Chen: "Access Point Selection Strategy for Large-Scale Wireless Local Area Networks," WCNC2007.
 - [8] IEEE P802.11v D0.12, May. 2007.
 - [9] L. Du, Y. Bai, L. Chen, D. Gu, S. Choi, S. Jin, F. Watanabe, M. Jeong and A. Yamada: "QoS-aware Load Balancing," IEEE802.11-07/0326, Mar. 2007.
 - [10] X. Ling and KL Yeung: "Joint access point placement and channel. assignment for 802.11 wireless lans," in IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) , Mar. 2005.
 - [11] G. Hiem, S. Mangold and L. Berlemann, "QoS Support as Utility for Coexisting Wireless LANs," In Proceedings of the International Workshop on IP Based Cellular Networks, IPCN, Paris, France, Apr. 2002.
 - [12] 五十嵐 圭, 山田 暁, 藤原 淳, 杉山 隆利: "端末間自律分散制御による無線 LAN VoIP の品質向上に関する検討," 信学技報RCS2006-12, Apr. 2006.
 - [13] 五十嵐 圭, 山田 暁, 杉山 隆利: "マルチセル環境における無線 LAN VoIP の通信品質向上に関する検討," 信学技報RCS2006-11, Nov. 2006.