

## 技術解説

## 無線 AV 伝送システムにおける QoS 制御技術

QoS Control Technology in Wireless AV Communication System

西川 徹\*1  
Akira Nishikawa藤井 秀和\*2  
Hidekazu Fujii東 人司\*3  
Hitoshi Azuma大谷 昌弘\*1  
Yoshihiro Ohtani浦野 直樹\*1  
Naoki Urano

## 要 旨

本稿では通信品質(Quality of ServiceまたはQoS)制御を可能とするIEEE 802.11eのドラフト仕様に基づいた無線 AV 伝送システムの実装について解説する。

802.11eでは各ストリームデータに対する専用時間の割り当て(スケジューリング)を行うことによりQoS制御を実現するためのしくみが規定されているが、具体的な実装方法については明記されていない。

本稿では、ソフトウェア処理による第1段階と、それをハードウェア処理により適時補正していく第2段階によるスケジューラの実装について述べる。本構成により無線通信路の変化に対して各局に対する時間割り当ての高速な変更が可能となった。

This paper describes implementation of the wireless AV transmission system in which Quality of Service (QoS) control based on IEEE 802.11e draft is provided.

In IEEE 802.11e, QoS is guaranteed by allocating exclusive transmission opportunity time for each stream. However, the document does not describe how to implement the scheduling.

Two steps of the scheduling mechanism, preprocess by software, and dynamically adjusting scheduler by hardware, are described. The scheduling algorithm enables fast time allocation for each station with a change of the wireless communication paths.

## まえがき

近年、ホームネットワーク分野が大きく注目されており、その構成要素である無線 LAN 技術が著しい成長を遂げている。無線 LAN は PC 間でのデータファイルの受け渡しや Web アクセス等のデータ転送の用途に適しており、ノート PC 用の無線 LAN Card 等の商品として広く販売されている。

しかし、従来の無線 LAN では各送信局に対して平等に送信の機会が与えられるため、これを用いてテレビ映像等のリアルタイム性が要求されるコンテンツを他のデータと同時に伝送することは一般に困難である。

このように性質の異なるデータを同時に伝送するためには、それらの性質に応じた伝送帯域の確保が必要であり、この伝送帯域制御技術 (QoS 制御技術) を規

定した IEEE 802.11e がまもなく標準規格として採択される予定である (2003年9月現在はドラフト段階)。これによりテレビ映像等の AV データを無線 LAN 上で品質良く伝送することが可能となる。

当社はこの無線 QoS 制御技術開発にいち早く取り組み、商品化と並行して IEEE 802.11e 標準案の策定にも多大な貢献を行ってきた。本稿では IEEE 802.11e での QoS 制御技術の概略を説明した上で、それを用いた無線 AV 伝送システムの実装について記述する。

## 1. 無線ホームネットワーク

当社では図1のような無線ホームネットワーク確立のための技術開発を行っている。例えば、リビングルームに設置されたホームサーバ経由でテレビ映像などの AV データと同時に、電子メールやインターネットの情報を各部屋に無線伝送することを想定してい

\*1 技術本部 システム技術開発センター 第5開発室 \*2 A1232 プロジェクトチーム

\*3 電子部品事業本部 電子部品開発センター ネットワーク推進プロジェクトチーム

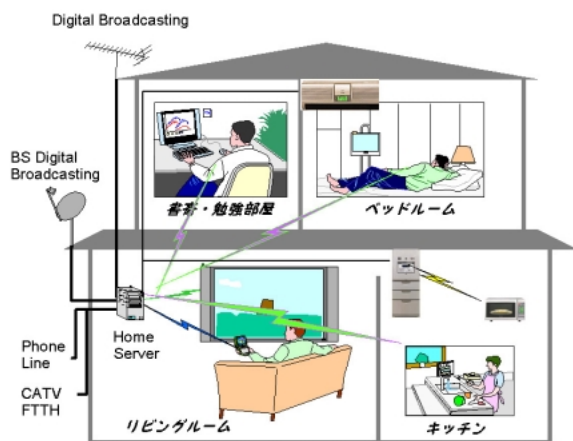


図1 無線ホームネットワーク  
Fig. 1 Wireless home network.

る。ただしここで取り扱う AV データとしては標準品質の SDTV (Standard Definition TV) および高品質の HDTV (High Definition TV) を主たるターゲットとしている。

これまで当社では物理層技術として IEEE 802.11b (2.4GHz 帯) を使用し、QoS 制御技術として独自の MAC 層技術を用いた AV 伝送システムであるスマートリンクの開発を行ってきた<sup>4)</sup>。このシステムでは 1 対 1 の端末同士で 6Mbps 程度のデータレートの SDTV 映像を高品質で無線伝送すると同時に、非同期データ (伝送遅延が大きくなって構わないデータ) を双方向で通信することが可能である。

しかし近年では、地上波デジタル放送の本格的なサービス開始等により HDTV 映像等のより解像度の高いデータを扱う頻度が高くなってきている。また、PC と AV 機器間や他社製品間の相互接続性が求められている。これらの要求を満たすためには、より高速な伝送速度と標準化された QoS 制御技術が必要となる。

802.11b よりも高速な伝送速度を実現するための物理層技術としては、802.11a や 802.11g を使用することができる。802.11a や 802.11g では HDTV 品質の映像なら 1 本、SDTV 品質の映像なら数本を同時に伝送可能な帯域を持つ。

また QoS 制御技術としては、現在標準化が行われている 802.11e が間もなく利用可能となる。これを用いることで、複数の機器間で AV データや非同期データの通信を同時に行うことができるようになる。なお 802.11e は 802.11 MAC 層の拡張機能であるため、802.11 系のすべての物理層技術に対して適応可能である。

## 2. QoS 制御

各データは様々な性質を持っているため、それらが伝送される際に満たされなければならない条件 (必要な帯域、伝送遅延時間やデータ誤り率など) はデータごとに異なっている。

例えば、エクセルやワードなどの文書データを伝送する場合は、受け取りに多少時間がかかってもかまわないが、絶対に誤りのないことが必要である。

これに対してテレビ放送を受信し視聴するときは、制限された遅延時間内に、一定量のデータを伝送し続けなければならないというリアルタイム性が要求される。また再生 (受け取り) までの遅延は少ない方がよい。伝送エラーは少ないことが望ましいが、完全にエラーフリーとなることが要求されるわけではない。

リアルタイム性が要求される AV データでも、別のデータが同時に送信されない場合には全ての通信帯域を自由に使用できるため、明示的な QoS 制御が行われなくても問題なく伝送を行うことができる。しかし、データファイルと AV データというような特徴や性質の異なるデータが LAN 上に同時に伝送される場合には、適切な QoS 制御が行われていなければリアルタイム性を必要とする AV データは正常に伝送されないことになる。

従って AV データ伝送に対しては一般に専用帯域の割り当て (時間多重化) が必要となる。文書データなどの非同期データは、余った時間で送信すればよい。このように各データを送信する時間をうまく配分することで、性質の異なるデータをそれらに適した方法で伝送することが可能となる。

## 3. 802.11e を用いた QoS 制御の概要

802.11e では QoS 制御のために EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) と HCCA (HCF Controlled Channel Access) という 2 つのアクセス制御方式を提供している。EDCA は分散制御型の方式であり、各局がチャンネルに対して確率的にアクセス可能であるのに対して、HCCA は中央制御型の方式であり、各局は中央制御局の指揮のもとに確定的にチャンネルにアクセス可能である。データレートが高く高品質が要求される AV 伝送に対しては HCCA を用いたチャンネルアクセスが適している。そこで本稿では HCCA を利用した AV 伝送について記述する。

HCCA 方式では各局に対する送信時間の割り当てを中央制御局である QAP (QoS Access Point) に存在する HC (Hybrid Coordinator) が一括管理する。端末局である QSTA (QoS STAtion) は送信したいデータ

表1 主な TSPEC パラメータ  
Table 1 Main TSPEC parameters.

パラメータ	備考
Nominal MSDU Size	フレームサイズの平均値
Maximum MSDU Size	フレームサイズの最大値
Inactivity Interval	リンクのタイムアウト値
Mean Data Rate	データレートの平均値
Minimum PHY Rate	物理レートの最小値
Delay Bound	許容遅延時間
Surplus Bandwidth Allowance	再送等考慮した標準帯域比

ごとに要求される伝送条件に関する情報を QAP に送信し、送信許容時間の割り当てを要求する。各データの性質やそれに要求される伝送条件は TSPEC (Traffic SPECification) というパラメータ群で定量的に表される。

表1 に代表的な TSPEC パラメータを示す。例えば SDTV 品質の AV データの場合は Mean Data Rate が 6Mbps, HDTV 品質の AV データの場合は 24Mbps といった設定となる。実際にはアプリケーションがこれら TSPEC の値を指定・変更することになる。

QAP は QSTA の送信時間割り当て要求を TSPEC の内容から受付判断 (Admission Control) する。その要求を受け入れる場合には TSPEC から必要な送信時間とその付与タイミングを計算し、そのタイミングに従って QoS CF-Poll と呼ばれるフレームを繰り返し送信することで送信局に送信権 (TXOP) を付与する。これらの各 QoS CF-Poll フレーム内には送信許可時間が記載されており、QoS CF-Poll フレームを受信した QSTA はその後許可された時間内でデータを送信することができる。

また、QSTA は次に付与してほしい TXOP 時間の要求を QAP にフィードバックすることが可能であり、QAP はこの情報をもとにその QSTA に対して付与すべき TXOP 時間を調整することができる。

なお、QAP が QSTA に対して与えた TXOP が長すぎて QSTA がデータを送信後に TXOP が余った場合、QSTA はその時間を QAP に返却することが規定されている。

例えば図2のようなネットワークトポロジーを考える。図2において、QSTA A から QAP への通信はアップリンクと呼ばれ、QSTA A は QAP から QoS CF-Poll フレームを受信する度にデータ (stream a) の送信を行うことができる。アップリンクの場合 QAP がデータの受信局であるため、送信局である QSTA A は次に付与してほしい TXOP 時間の情報をデータフレーム内に埋め込むことができる。一方、QAP から QSTA B

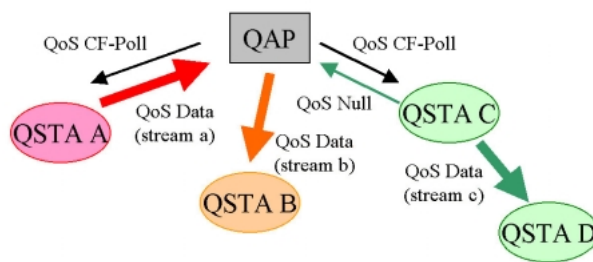


図2 ネットワークトポロジー  
Fig. 2 Network topology.

への通信はダウンリンクと呼ばれる。この場合は QAP が QSTA B に対して QoS CF-Poll フレームなしに直接データフレーム (stream b) を送信する。ダウンリンクの場合は QAP がデータの送信局であるため、そのダウンリンクに割り当てべき TXOP 時間の情報は自分自身で把握できる。また、QSTA C から QSTA D への通信はダイレクトリンクと呼ばれ、QSTA C は QAP から QoS CF-Poll フレームを受信する度に QSTA D に対してデータ (stream c) を送信することができる。ダイレクトリンクの場合送信局は QAP 宛てのフレームを送信しないので、次に付与してほしい TXOP 時間の情報は QoS Null フレームと呼ばれる QAP 宛てのフレームにより通知する。

QAP は次の要求を満たすように各送信局に対する送信許可時間のタイミングを計算 (スケジューリング) する。

- (1) 要求を受け入れた送信局に対しては、その TSPEC に記されたデータに必要とされる最低限の送信時間を保証すること。
- (2) ただし無線通信路の変化によりパケットエラー率が一時的に増加するような場合には (1) の時間割り当てでは不十分なので、そのような状況に置かれた送信局に対してはより多くの送信時間を割り与えるという救済措置を取ること。
- (3) 上記2つの要求を満たした上で、できるだけたくさんの QSTA の要求を受け入れること。

一般に上記3点の要求を満たすスケジューリング方法は無限に存在するため、その具体的なアルゴリズムは 802.11e の仕様では規定されておらず、メーカーの実装依存となっている。特に要求 (2) に関しては仕様書レベルでは具体的な規定が行われていない。しかし無線通信路は予期しないエラーが頻発する環境であるため、実際の実装においては要求 (2) を迅速に処理することが非常に重要となる。以下では、上記3点の要求を満たすスケジューラの具体的な実装方法について記述する。

## 4. スケジューラアルゴリズム

各 QSTA に対するスケジュールは具体的には、"この時間はこの QSTA に対して割り当てる" というリスト (ポーリングリスト) の形式で実装が可能であり、HC はそのリストに従って QoS CF-Poll フレームを送信することで各送信局に対する TXOP の付与を行うことができる。

当社ではスケジューラを実装するにあたって、そのポーリングリスト更新・作成機能をハードウェア処理とソフトウェア処理の2つに大きく分けた。これにより要求 (2) の処理を高速に実現するスケジューリングが可能となっている。

### 4.1 初期スケジューリング

QAP から送信局に対して最初に TXOP 時間を割り当てるときは、その送信局がビーコン周期あたりに必要とする TXOP 時間の平均値を TSPEC から算出し、それを「ポーリング周期」というより短い周期に対して等分割配置するようにした。

一例として、以下ではビーコン周期を 100TU とし、その中に 8TU のポーリング周期を 12 個配置した場合について説明する。ただし 1TU = 1024us である。なお、このときビーコン周期の最後に 4TU が残ることになるが、この時間は非同期データを送信するために使用する。

図 3 は図 2 における stream a, b, c の各送信局に対してポーリング周期ごとにそれぞれ 2TU, 1TU, 3TU の TXOP 時間を割り当てている場合の例を示している。図 3 にはまた、stream a, b, c の各送信局が次の TXOP としてそれぞれ 2TU, 1TU, 3TU の時間を要求している様子が描かれている。

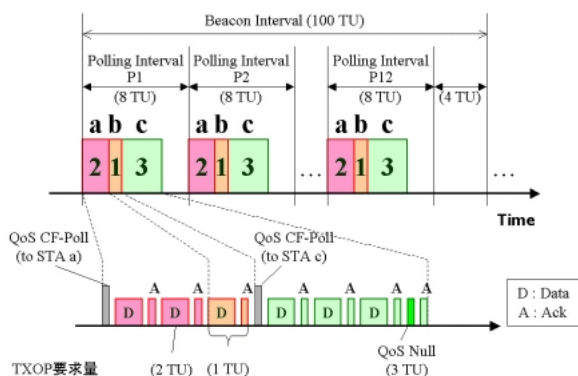


図 3 通信開始時の TXOP 割り当て

Fig. 3 Initial TXOP allocation.

### 4.2 無線通信路変化に応じた再スケジューリング

しかしながら、このまま変更・更新を行わず図 3 に示す TXOP 時間の付与を続け続けることは十分なスケジューリングとは言い難い。なぜなら無線通信路では予測できないエラーが発生しやすいからである。このエラーによる帯域の損失を QAP は即座に検出し、それを補うための TXOP 時間の再割り当てを行うことが望ましい。

当社で実装したスケジューラでは、各送信局からフィードバックされた TXOP 時間要求情報の 1 ビーコン周期における累積値をもとに各送信局に与えるべき TXOP 時間をソフトウェアが再計算し、ビーコン周期単位でポーリングリストを更新する。ただし各送信局に与える TXOP にはそれぞれ最小値と最大値を持たせることとした。ここで最小値とは TSPEC パラメータから計算した送信局がデータ伝送し得る最小の TXOP 時間であり、最大値とは無線通信環境が悪化した場合に救済措置として与える TXOP 時間の上限である。この上限を設けることで、過大な TXOP を特定の送信局のみに与えないようにしている。

しかし以上の説明で判る通り、ソフトウェアによるポーリングリストの更新はビーコン周期単位でしか行うことができないため、この例で考えると通信路が悪化してから救済措置が取られるまでに最大 100TU の遅延が発生することになる。送信される AV データの伝送遅延時間から考えるとこの遅延は許容できる大きさではない。そこで、ポーリングリスト更新による上記救済措置が取られるまではハードウェアによる応急措置を行うこととした。具体的にはハードウェアにおいて、各送信局からの TXOP 時間の要求量を監視し、ポーリング周期内で最も大きな時間を要求した送信局に対してポーリング周期内で残っている時間をハードウェア的に再割り当てする構成とした。

具体的な動作例を図 4 に示す。ポーリング開始当初は各通信リンクにおける無線通信環境は良好で、図 3 のポーリングリストに従ったスケジューリングにより各送信局に対して十分な時間割り当てが行われていたが、通信途中で QSTA A の無線通信環境が悪化した場合を想定する。ポーリング周期 P3 において QAP は各送信局からそれぞれ 4TU, 1TU, 3TU の TXOP 時間を要求されたため、図 3 の状態と比べて最も TXOP 要求時間が多い QSTA A に対してポーリング周期内の残りの 2TU 時間を再度割り当てている。次のポーリング周期 P4 では TXOP の要求時間がそれぞれ 5TU, 1TU, 3TU であるため再度 QSTA A に残りの 2TU 時間を与えている。以下同様である。

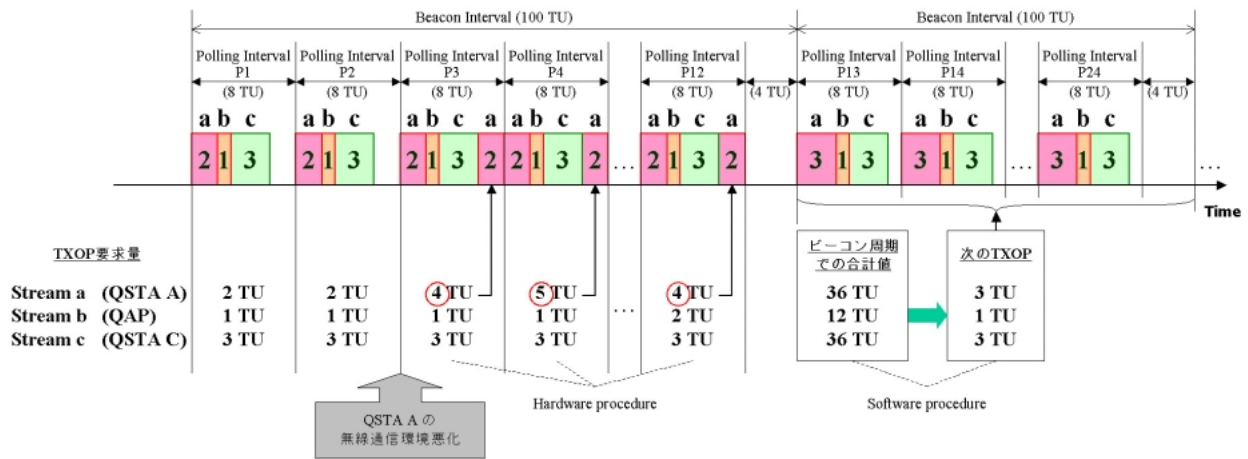


図4 各局に対するTXOP割り当ての動的な変更  
 Fig. 4 Dynamic TXOP re-allocation for each station.

前述のようにソフトウェア処理部ではビーコン周期ごとに各送信局から要求されるTXOP要求時間の合計値によって、次のビーコン周期で与えるべきTXOP時間を予測し計算し直す。図4の例ではビーコン周期内で各送信局からのTXOP要求時間の合計値がそれぞれ36TU、12TU、36TUであるために、次のビーコン周期ではポーリング周期ごとに各送信局に対して3TU、1TU、3TUの時間を割り当てるように変更している。なお、QSTA Aにおける無線通信環境が良好な状態に復帰した後は、各送信局に対するTXOP時間の割り当ても図3の状態に戻る。

以上のようにスケジューラを構成したことにより、無線通信路の変化に対して各局に対する時間割り当ての高速な変更が可能となった。

むすび

当社では無線LAN技術であるIEEE 802.11eを採用し、無線ホームネットワークの基幹を担う技術の開発を行っている。その特長は、既存の無線LAN機器との相互接続性を確保しつつ、ハイビジョン映像等の高品質・高画質の映像を提供することである。当社では

802.11eの上位層（ネットワーク層、トランスポート層など）についてもあわせて検討中である。全ての層について一貫して設計開発を行い、優れた性能を持つ商品開発を目指す。

謝辞

最後に本製品の開発にあたり、ご指導並びにご協力頂きました関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Std 802.11 - 1999 edition (1999).
- 2) "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)," IEEE 802.11e/Draft 5.0 (Aug. 2003).
- 3) 大谷, 浦野, 上田, "QoSを実現する無線LAN規格IEEE802.11e", 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.11 (2003).
- 4) 杉野 他, "スマートリンク-ANSS700-AVデジタルワイヤレス伝送システム", シャープ技報, No.81 (2001).

(2003年10月2日受理)