

ホームプラグ AV ホワイト・ペーパー

1. 概要

ホームプラグ AV (HPAV)は、ホームプラグ・電力線通信アライアンスの次世代技術です。宅内のすでにある電力線を使い、高品質かつマルチ・ストリーミングが可能なエンターテインメント・ネットワークの構築を目的としており、またホームプラグ 1.0 規格(HP1.0)との共存を目指しています。HPAV はビデオ、オーディオ、データ転送のために 200Mbps のレートで電力線通信を行なうことのできる物理層(PHY)および MAC 層を採用しています。物理層は 200Mbps のチャンネル・レートで、ノイズの多い電力線上でも頑強でかつ冗長度の小さい 150Mbps のデータ転送を可能にします。MAC 層は非常に効率的に設計されており、AC ライン周期に同期した TDMA と CSMA を実現します。TDMA では、バンド幅の予約、高信頼度で低レイテンシ・低ジッタを保証する QoS(Quality of Service)を実現します。CSMA には 4 段階のプライオリティ・レベルがあります。AC ライン周期に同期することで、ライン周期に同期したノイズにもすぐれた耐性を示します。セントラル・コーディネータ(CCo)はネットワーク通信の制御と CSMA の時間領域の割り当ておよび TDMA のスケジューリングを行います。

また HPAV は新しいネットワーキングへの要求仕様に対応する機能が盛り込まれてあります。高度なネットワーク・マネジメント機能により、プラグ&プレイやサービス・プロバイダのセットアップ、設定をサポートします。HPAV は 128-bit AES 暗号と動的(自動的)に更新する暗号鍵の採用、いくつかのセキュリティ設定方法や機器認証を採用することで、高いセキュリティを実現しています。1つのステーションは複数の HPAV ネットワークに加わることができます。HPAV は HP1.0 との後方互換性があります。またいくつかの必須ないし任意の共存モードにて、マルチ・ネットワーク動作、隠れノード対策、アクセス PLC(BPL)との共存等が可能になります。

HPAV は、宅内で HDTV、SDTV や高品質オーディオなど複数の AV ストリーミングやデータを通信することを目標としています。これらのアプリケーションのために最高度の QoS を確保した通信接続を行います。どの機器も電源コンセントにつないただけで、HPAV のネットワークにアクセス可能です。HPAV は他の競合するネットワーク技術にコストでも負けないように設計されています。

巻末にはこの論文で使用する用語の一覧があります。

2. システム・アーキテクチャ

図1に HPAV のシステム・アーキテクチャを示します。H1(ホスト)インタフェースの上に位置する上位レイヤ・エンティティ(Higher Layer Entities, HLE)は、ブリッジ、アプリケーションあるいはサーバーなどで、これらは HPAV ハードウェアに実装されていないサービスを、H1 インタフェースの下位にあるクライアントに提供します。データ・サービス・アクセス・ポイント(SAP)は、イーサネット・フォーマットの packets を受けつけ、IP ベースの全プロトコルに容易に対応します。

図1の通り、システム全体は 2 つのプレーンに分かれます。データ・プレーンはコンバージェンス層と MAC 層間の M1 インタフェース、MAC 層と物理層間の物理層(PHY)インタフェースを含めた一般的な階層構造となっています。コントロール・プレーンは MAC 層のみで層構造はありません。図1では MAC 層はその主な役目からコネクション・マネージャ(CM)と表示してあります。コントロール・プレーンは、より効率的なプロセッシングができるように、また実装により多くの柔軟性を持たせて改良しやすいように工夫されています。コントロール・プレーンの中で、セントラル・コーディネータ(CCo)機能は、各 HPAV ネットワークにつき1台のステーションでのみ動作します。その他の機能は各ステーション共通です。

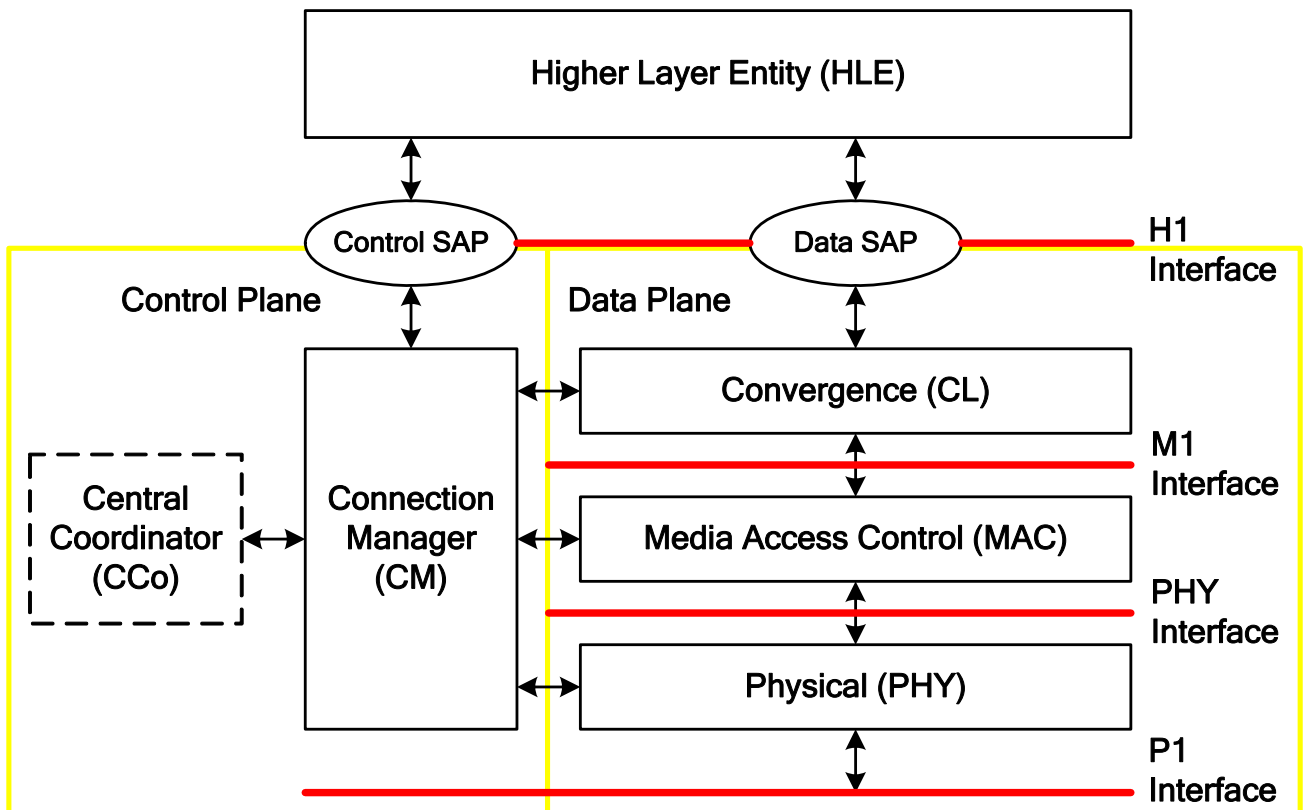


図1 HPAVアーキテクチャ

3. 物理層 (PHY 層)

物理層は 2-28MHz の周波数領域を使い、200Mbps の物理層チャンネル・レート、150Mbps の情報レートを達成しています。ウィンドウイング処理をした OFDM と、シャノン限界まで 0.5dB に迫る強力な畳み込みターボ符号 (Turbo Convolutional Code) を採用しています。ウィンドウイング処理をした OFDM は、自由にスペクトラムのノッチングができ、ノッチ周辺への影響を最小に抑えつつ 30dB 以上のノッチが実現可能です。OFDM シンボルは長く、917 本のキャリア (トーン) と設定可能なガード・インターバルを使用します。変調方式は BPSK (1bit/symbol) から 1024QAM (10 bits/symbol) まで、送受信機間のチャンネル状態に応じてキャリアごとに設定することができます。

図2に HPAV 送受信機器の物理層のブロック・ダイアグラムを示します。送信側では、物理層は MAC 層からデータを受け取ります。その入力には、HPAV データ、HPAV 制御情報、そして HP1.0 対応のための HP1.0 制御情報の3つがあります。HPAV 制御情報はフレーム制御ブロックにて処理されます。フレーム制御ブロックは、フレーム制御ターボ FEC ブロックとダイバーシティ・インタリーバから構成されています。一方、HPAV データ・ストリームは、スクランブラ、ターボ FEC エンコーダ、そしてインタリーバで処理されます。3つのストリームの出力は、マップ、逆 FFT プロセッサ、サイクリック・プリフィックス挿入、プリアンブル、そしてピーク・リミッタからなる OFDM 変調処理部へと入力されます。その出力は、電力線にカブリングされたアナログ・フロント・エンド (AFE) モジュールへと送られます。

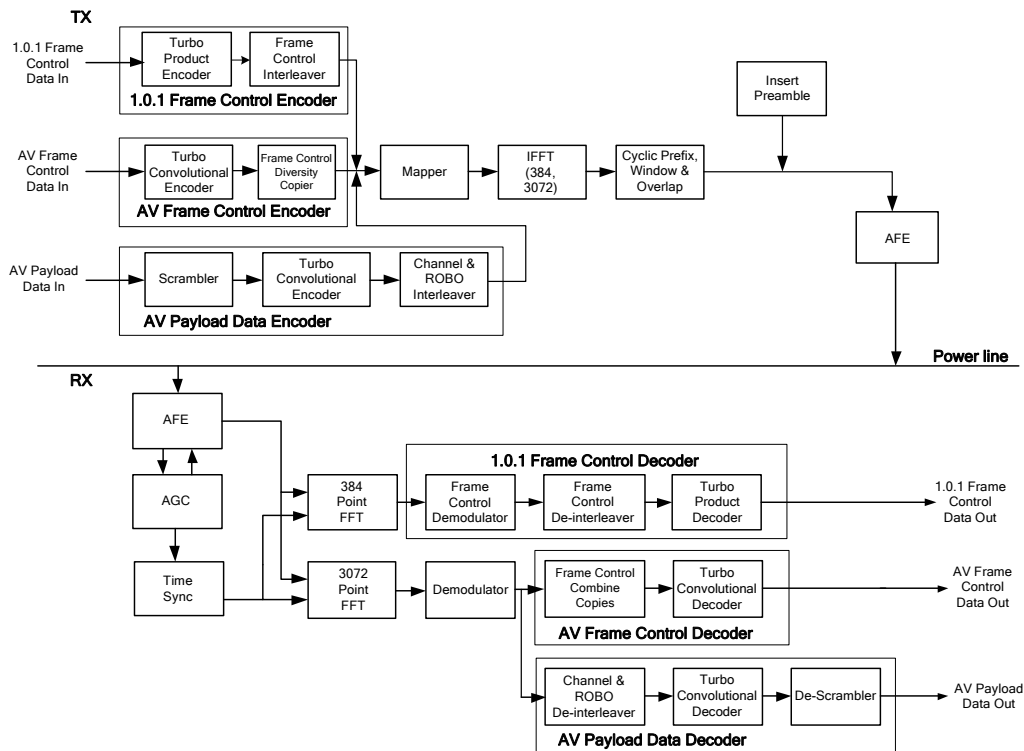


図2 HPAV OFDM 送受信装置

受信側では、受信信号は AFE につづいてオート・ゲイン・コントローラ (AGC) と同期モジュールに送られます。その出力は分離データ情報とデータリカバリの回路へと送られます。HPAV フレーム制御部では、受信信号は 3072-point FFT、フレーム制御復調器およびデコーダにて処理されます。HP1.0 のフレーム制御部では、384-point FFT が行なわれます。並行して HPAV データに対しては、3072-point FFT、SNR 評価と復調器、デマッパ、デインタリーバ、ターボ FEC デコーダ、デスクランブラを通してデータが復元されます。

HPAV の物理層は、各国の電力線の状況や規制に適応できるよう柔軟にスペクトラムの設定が可能です。周波数ノッチはすでに使用されている機器においても容易に設定・変更が可能です。ソフトウェアにより各国の規制に応じた使用禁止帯域を設定できます。トーン・マスクをソフトウェアから変更することで、自由に使用禁止帯域を設定できるのです。

4. MAC 層プロトコルとサービス

HPAV は、AV および IP アプリケーションに必要な QoS (送信バンド幅、レイテンシ、ジッタの保証) を満たすために、コネクション・オリエンティッドで無競合 (Contention Free) なアクセス手段を提供します。この無競合アクセスのために、周期的な TDMA を行ない QoS 要求を満たすに十分な時間領域を保証します。

さらに HPAV では、コネクションレスで優先順位付きの競合のあるアクセスも利用できます。ベスト・エフォート型および優先順位のついた QoS に基づくアプリケーションをサポートします。このアクセスは CSMA/CA メカニズムに基づいたものです。最初に短い優先順位判別期間があり、ここで優先順位の高いアクセスが低いものを抑えてアクセス権を得ます。

両タイプの通信を効率的に提供するため、HPAV は柔軟で中央集中型のアーキテクチャを採用しています。中央のマネージャはセントラル・コーディネータ (CCo) と呼ばれます。CCo はビーコンを周期的に送り、無競合および競合有りのトラフィックのスケジューリングを行いません。図3の通り、ビーコン周期は以下の3領域に分かれます。

1. ビーコン領域 (Beacon Region)
2. CSMA (競合) 領域 (CSMA Region)
3. 無競合領域 (Contention-Free Region)

CCo はビーコン領域の先頭でビーコンを各ステーションにブロードキャストします。ビーコンはビーコン周期内のスケジュールをやり取りするのに使われます。ビーコン送信には非常に頑強で信頼性がある通信方式を使います。ビーコン内に含まれるスケジュールは持続的 (persistent) で、いくつかのビーコン周期に渡って続くことを示します。これによりいくつかのビーコンを受信できない場合でも、送信機は確実に送信を続けられます。CSMA 領域も同様で、いくつかのビーコンを受信できない場合でも中断せずに送信を行なうことができます。

MAC 層は競合有り (CSMA) と無競合のアクセスをビーコン周期のそれぞれの領域において行ないます。CCo が制御する無競合領域を使った持続的な通信により、上位レイヤ・エンティティ (HLE) からの QoS 要求に応じることができます。HLE はコネクション仕様 (CSPEC) により QoS 要求詳細を規定します。各機器にあるコネクション・マネージャ (CM) は CSPEC を解釈し、その内容が適切であるなら、CCo に対し無競合領域の時間スロットを要求します。CSPEC が規定する QoS の内容は次の通りです。

- (1) 予約保証されるバンド幅
- (2) 準(quasi)エラー・フリー・サービス
- (3) 固定レイテンシ
- (4) ジッタ制御

CCo が接続要求に応えられる場合は、送受信機にチャンネル状態をチェックするように指示します。送受信機は最初のチャンネル状態の評価を行います。(例えば、トーン・マップにより各 OFDM キャリア (トーン) に最適な変調方式を割り当てます) トーン・マップは受信機から送信機へと送られます。チャンネル状態の評価結果は要約されて CCo にも送られます。CCo はこれにより割り当てべき時間スロットの長さを決定します。CSPEC とチャンネル状態の評価結果を基に、CCo は無競合領域アクセスのために1つないし複数の持続した時間スロット (Transmit Opportunities, TXOPs) を確保します。

無競合領域には、そのビーコン周期においてのみ有効な非持続アクセス領域があります。この領域は一時的に小さなバンド幅が必要な場合、例えば一過性のエラーやチャンネル状態の変化が生じて QoS が保てない場合に使用されます。ただし送信ステーションがビーコン周期先頭でビーコンを受信できる場合に限りです。もしこの領域が非持続無競合アクセスに使われない場合は、CSMA トラフィックのために使用できます。繰り返しますが、ステーションはその領域で CSMA が可能かどうか知るために、ビーコンを受信しなければなりません。

HPAV におけるメッセージはステーション間で直接行なわれますが、CCo はそれをモニタします。各メッセージのヘッダには、送信待機中のデータ量に関する情報が含まれます。そのデータ量が増えた場合、CCo は新たな非持続アクセス・スロットを無競合領域内に得る場合があります。

持続性 CSMA 領域では、優先順位づけされた競合アクセスが行なわれます。CSPEC がなく、かつ (あるいは) 通信が短い場合に使用されます。H.P.1.0 共存モードかハイブリッド・モードの場合は、HPAV は H.P.1.0 機器に対し CSMA 領域で通信するように設定を行ないます。

図3に示すように、ビーコン周期は AC ライン周期に同期しています。これにより、HPAV はライン周期に同期したアクセスを安定に行なうことができます。ライン周期に同期した妨害に対してより優れたチャンネル適応化ができ、スループットが向上します。ビーコンはいくつかの後続ビーコンの位置情報を提供します。これにより送受信ステーションがビーコンを一時的に受信できなくても継続して通信ができます。

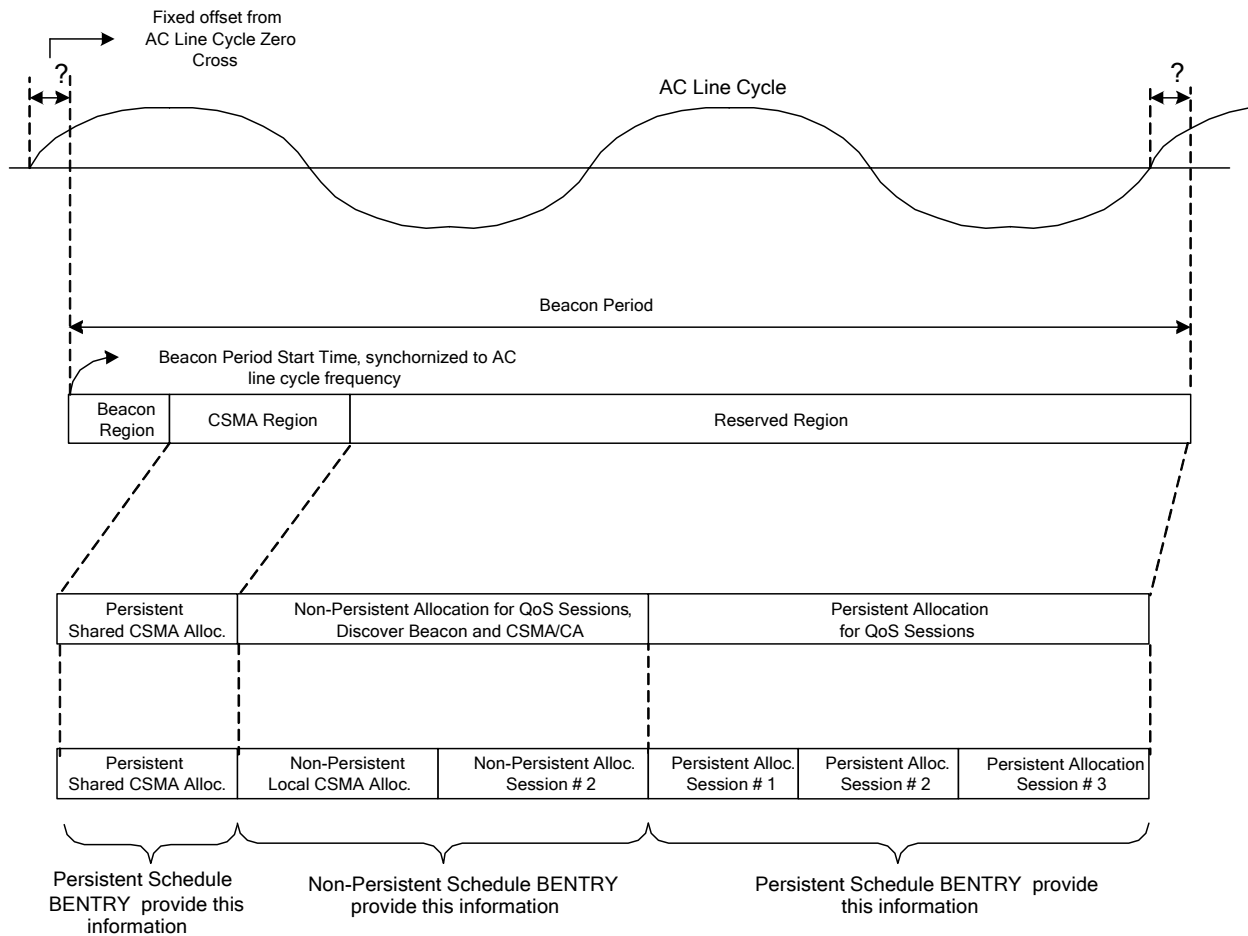


図3 ビーコン周期の一例

5. MAC コントロール・プレーン

MAC 層には統合されたコネクション・マネージャがあります。HLE はアプリケーション・データに対する QoS 仕様の詳細を指示する CSPEC を設定します。ブリッジの場合は、自動接続サービス(ACS)か、マルチ・ネットワークにまたがる QoS を制御する上位層の QoS マネージャによって CSPEC は動的に設定されます。さもないと優先づけされた CSMA トラフィックとして送られます。

コントロール・プレーンは、アプリケーション層への一体化されたインターフェースを提供します。アプリケーションからの命令は CSPEC 内の H1 コントロール SAP で受け付け、コネクション・マネージャにより解釈されます。コネクション・マネージャは CSPEC を解釈し、通信相手側のコネクション・マネージャおよび CCo とやりとりして適切な通信接続を確立します。アプリケーションに必要なバンド幅を保証するため、適切な AV メカニズムを確立するのはコネクション・マネージャの仕事です。またコネクション・マネージャは接続状態を監視し、QoS が満たされていない場合は調整を行いません。

MAC は CCo クロックに厳密に同期したクロックの管理も行います。(CCo はビーコンにタイムスタンプを打ちます) HPAV ネットワークの各ステーションはネットワーク・クロックを共有します。ネットワーク・クロックは、HLE によって厳密な同期が必要とされるアプリケーションのために利用されます。(例えば、サラウンド・スピーカー間の同期など)

6. MACデータ・プレーン

データ・プレーンでは、MAC はコンバージェンス層から降りて来た MSDU(例えばイーサネット・パケット)を受け付け、ヘッダ、アライバル・タイムスタンプ(任意)、およびチェック・サムを付加して MAC フレームを生成します。MAC フレームは、適切な MAC フレーム・ストリームのキューへと渡されます。MAC 層は、現在通信中のストリームの MSDU を、割り当てられ

たタイム・スロット内で通信できるように物理層に渡さなければなりません。このために、各接続データ、各 CSMA トラフィックの優先度、各制御メッセージの優先度のためのキューが独立して管理されます。

各 MAC フレーム・ストリームは、512 オクテットのセグメントに分けられ暗号化され、一連の物理ブロック(PB)が生成されます。図4の通り、いくつかの PB は MPDU にまとめられ物理層に送られます。送信側の物理層は、フォワード・エラー・コレクション(FEC)符号化を行ない、物理層の章で述べた通り PPDU として電力線に送り出します。

受信側では、MSDU を復元するために物理ブロックに対し選択アクノレッジを行ないません。正しくアクノレッジが返されなかった物理ブロックは、次の TXOP において再送信されます。選択アクノレッジ(SACK)は、TDMA において重要な機能です。1つの MSDU を構成しているすべての物理ブロックが正しく受信された場合、各セグメントに施されている暗号を解かれてコンバージェンス層に渡され、最終的に正しい HLE に受け渡されます。

制御メッセージも同様に処理されます。

FEC と選択アクノレッジは比較的小さなブロック単位に適用されるので、強力な誤り訂正ができ再送信を最小限にすることが可能です。この2つの機能のおかげで、HPAV はチャンネル・バンド幅の理論限界に近いレートで通信ができるのです。

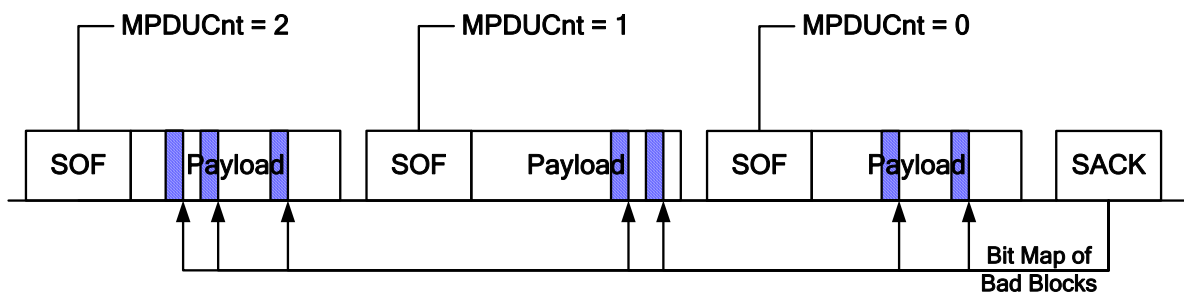


図4 MACセグメンテーションとMPDUの生成

7. セントラル・コーディネータ(CCo)

各 CCo はいくつかのステーションからなる HPAV 論理ネットワーク(AVLN)を制御します。これらのステーションはネットワーク・メンバーシップ・キー(NMK)を共有します。NMK とセキュリティ、暗号化の詳細は別の章で述べます。とりあえずここでは AVLN に排他的にアクセスするには NMK が必要であり、メンバーであるステーションはプライバシーとセキュリティを保證された通信が可能であることを理解していただければ十分です。

上述の通り CCo は AVLN のためにバンド幅のマネジメントを行います。これには新たな通信許可の制御(Admission Control)、つまり新たな通信が要請されたときに許可するかどうか決定することを含みます。もし新たな通信が認められれば、CCo は時間スロットを無競合領域に確保します。このスケジューリングはビーコンを通して行なわれ、情報として

(1) 現スケジュールとその通信が有効な最小ビーコン周期数
かつ(ないし)

(2) 新しいスケジュールとその通信が有効になるまでのビーコン周期数

が含まれます。(訳注: これは無競合アクセスの場合で、CSMA アクセスでは通信許可は不要です)

HPAV ステーションの電源が入れられると、まず電力線をモニタします。すでに AVLN が存在すればそれに加わろうとします。AVLN が見つからなければ自ら CCo となり、ビーコン送信を開始して新たな AVLN を立ち上げます。(これは相当に簡略化した説明で、実際はいろいろな場合に応じた動作が HPAV の仕様では決められています。例えば、複数の AVLN が存在する場合、HP1.0 ステーションが見つかった場合、異なる技術の電力線ネットワークが見つかった場合、あるいはそれらの組み合わせなどです)

CCo は自分と近隣ネットワークの AVLN のトポロジを得ようとしています。このために、各 AV ステーションはディスカバー・ビーコンを定期的にブロードキャストします。(ディスカバー・ビーコンのために CCo は無競合領域の非持続アクセス区間を割り当てます) ディスカバー・ビーコンには、そのステーションと属する AVLN の情報が含まれています。

各ステーションはディスカバー・ビーコンを受信し、その情報を自分のディスカバー・ステーション・リスト(DSL)に加えます。DSL を作成する間にディスカバー・ビーコンを別の AVLN に属するステーションから受け取った場合は、その AVLN 情報をディスカバー・ネットワーク・リスト(DNL)に追加します。CCo は各ステーションに対し周期的に DSL と DNL を要求し、それを基にトポロジ・マップを生成します。

CCo は収集した DSL と DNL から生成したトポロジ・マップを利用して、同じ AVLN 内に CCo としてより適切なステーションがないかどうかを判断します。この判断は次の優先順によって決められます。

- (1) ユーザによる CCo の指定
- (2) CCo として動作できる能力
- (3) DSL 上の発見されたステーションの数
- (4) DNL 上の発見された AVLN の数

現 CCo がより適切なステーションを見つけた場合、CCo 機能の移譲が行なわれます。その際、送信中の接続が中断するかどうかは新旧 CCo の能力によります。

万々に備えて、CCo は CCo になることのできる別ステーションをバックアップ役に選ぶこともできます。バックアップを受け取ったステーションは AVLN を監視します。もしビーコンが数ビーコン周期に渡って受信できない場合(訳注:例えば CCo の電源コードが突然引き抜かれた場合)、バックアップ役のステーションが CCo を引き継ぎ、通信中の接続が中断しないように制御します。

各ステーションは AVLN に加わり接続を確立するために CCo とやりとりする必要があります。CCo から見えない(通信不能の)隠れステーションをサポートするためにプロキシ機能があります。あるステーションがプロキシ・コーディネータ(PCo)となり、CCo からのビーコン情報をプロキシ・ビーコンとして送り、また隠れステーションと CCo の間で制御メッセージを中継します。中継されるのは制御メッセージのみです。(訳注:データ・ストリームは中継できません) ステーションは接続したい相手と直接に通信できなければなりません。PCo はプロキシ・ビーコンを各ビーコン周期間に送信し、スケジューリングその他の情報を隠れステーションに送ります。

すべてのステーションが休止状態にある場合、CCo は AVLN を節電モードに切り替えます。このモードでは、各ステーションが通信を始められるだけの短い CSMA 領域と、ディスカバーおよびプロキシ・ビーコンが送れるだけの短い無競合領域のみが設定されます。各ステーションは AVLN に加わるためには、受信機能をこの期間だけ動作させる必要があります。ビーコン周期の残りの領域では送受信機能はオフにできます。これによりエネルギー・スター(Energy Star)の要求仕様により容易に適合させることができます。

8. コンバージェンス層

コンバージェンス層(CL)は、データ・プレーンにおいて HLE と MAC 層の橋渡し役をします。H1 インタフェースにおいてサービス・アクセス・ポイント(SAP)を通してペイロード・データを受け取り、M1 インタフェースを通して MAC 層に渡せるように処理を行います。HPAV で規定されているデータ SAP はイーサネット II クラスのスタックのみです。このスタックは、IEEE 802.3、IEEE802.2(LLC)、IEEE 802.1H(SNAP)拡張、および VLAN タグ等のフォーマットをサポートします。イーサネットのフォーマットを利用することで AVLN と他の LAN とのインタフェースを容易にします。

送信側のコンバージェンス層が提供するサービスには、クラシフィケーションと自動接続があります。必要があればコンバージェンス層はペイロード・データにアライバル・タイムスタンプ(ATS)を打ちます。受信側では、コンバージェンス層は必要ならスムージングを行ない、また受信された MSDU を正しい H1 SAP に渡します。送受信両方において、コンバージェンス層は指示された QoS をコネクション・マネージャが監視できるよう十分な情報を提供します。

接続が確立されると、コネクション・マネージャはクラシファイアを設定して、やってくるパケットを当該の接続に割り振るためにルールを決めます。例えば、送受信 MAC アドレス、TCP ソース、受信側ポート番号などがルールとして定められます。

クラシファイアは、H1 インタフェースにおいて受け取った各パケットを調べ、与えられたクラシフィケーション・ルールに合うか確かめ、正しい通信接続を探します。もし見つければそのパケットに正しいコネクション ID (CID) を貼り付けます。見つからなければそのパケットに適当な優先順位をつけて CSMA 領域で送信します。

自動接続サービス (ACS) の利用は任意です。送信ステーションにこの機能があれば、クラシファイアによってどの接続とも関連づけられなかったパケットはすべて ACS によりチェックされます。ACS は与えられた送受信間のデータ・フローを評価し適切な接続のフローを特定します。これは次の事項の組み合わせにより行なわれます。

1. HLE ないし製造者によって定められたポリシー
2. 特定の用途に使われるポートに関連したトラフィックのようなテンプレート
3. 送信データ量や周期性のような特性

ACS が接続を特定するまでの間、パケットはチェックが終わり次第、CSMA 領域で送信されます。

ACS が特定のデータ・フローを適切な接続と判断した場合、ACS は HLE のようにふるまい、クラシファイア・ルール等を定めてコネクション・マネージャに接続を確立するよう要求します。コネクション・マネージャが接続を確立すると、クラシファイアはパケットと新しく確立された接続との関連づけを始めます。この場合、ACS はもはやパケットのチェックはしません。しかし ACS には HLE と同じく接続サービスに関する責任があります。

受信ステーションでは、コンバージェンス層は受け取ったパケットをデマルチプレクスします。スムージング (デジタリング) が要求されている場合は、コンバージェンス層はパケットを一定時間バッファに貯めて、送信側で H1 インタフェースに到着した時間間隔で HLE に送り出します。これはネットワーク・クロックに同期して、ATS のタイミングで行なわれます。

送受信両側で、コンバージェンス層はコネクション・マネージャに対し、指定された QoS が満足するレベルにあるかどうか監視するのに十分な情報を与えます。もし QoS が満足できない場合には、コネクション・マネージャは CSPEC で定められた調整方法を取ります。(訳注:例えばノイズによるバンド幅減少に対して、新たなバンド幅を割り当てるなど)

9. セキュリティ

通信許可制御により許可を受けたステーションのみが AVLN に参加できます。各ステーションは複数のセキュリティ・キーを入手、管理することで複数の AVLN に参加できます。

AVLN 上のすべてのデータ・トラフィック、および制御トラフィックの大半は、128-bit AES により暗号化され高いセキュリティが保証されます。暗号化されないのは制御メッセージのごく一部のみです。暗号化にはネットワーク・エンクリプション・キー (NEK) が使われ、MPSU が生成される際、各セグメントごとに適用されます。NEK は自動的にあるいは動的に更新されます。

AVLN に加わるには、ステーションはネットワーク・メンバーシップ・キー (NMK) を入手しなければなりません。すでに NMK を持っている場合は即ネットワークに参加できますが、そうでなければ入手する必要があります。NMK の入手方法はいくつかあります。

- (1) すべての HPAV ステーションに組み込まれているデフォルト NMK を使う。デフォルト NMK により機器を接続してすぐ使えるプラグ & プレイが実現しますが、デフォルト NMK は共通であるためプライバシーは保証されません。
- (2) ユーザがネットワーク・パスワード (NPW) を新ステーションに対して設定し入力する。この NPW はハッシュ関数に入力されて NMK (128-bit AES 暗号キー) が生成されます。ユーザーは最初に AVLN の NMK を設定するため、少なくとも1つのステーションに NPW を入力する必要があります。
- (3) すべての HPAV ステーションは、デバイス・アクセス・キー (DAK) が個別に割り当てられます。ユーザーはこの DAK をすでに AVLN 上にあるいずれかのステーションに入力します。そのステーションは DAK により NMK を暗号化しブロードキャストします。新たに加わるステーションのみがこの DAK を知っており、その暗号化されたメッセージを解いて NMK を入手することができます。

- (4) 非対称な公開/暗号鍵方式を使用します。新ステーションを加えるためにユーザがパスワードを覚えたり入力したりする必要はありません。例えば、すでに AVLN 上にあるステーションと新しいステーションのボタンを押すか画面のメニューから選ぶだけで AVLN に加えることができます。

ステーションが NMK を入手し AVLN に加わったら、現行のネットワーク・エンクリプション・キー (NEK) が与えられます。MAC 層でデータのセグメンテーションを行なう際、NEK でデータは暗号化されます。

また上位層におけるセキュリティ、認証の規格、例えば 802.1x や EAP などにより暗号キーのマネジメントを行なうこともできるように考慮されています。

10. マルチ・ネットワーク

HPAV は近隣ネットワークとの共存メカニズムを備えています。近隣ネットワークの CCo が見つければ、お互いに妨害を与えることなく通信スケジューリングを行ないます。マルチ・ネットワークの場合、各 CCo は近隣ネットワーク・リストを更新します。このリストは通信可能な近隣の CCo をすべて含みます。各 CCo はこのリストを他の CCo と交換します。CCo は検知可能なすべての近隣ネットワークを認識し、妨害を与えないようにしなければなりません。

CCo が別の CCo を見つけた場合、その CCo と交信します。ビーコン領域内に、必要なら拡張して、自分のビーコン・スロットを確保します。また無競争領域も確保します。この交渉が終わったら、2つの CCo は、両ネットワークが各々つつ無競争領域のスケジュール変更を同期して行ないます。自分の無競争領域は他のネットワークにとっては立入禁止領域 (Stayout Region) となります。すべての近隣ネットワークに共通の CSMA 領域があります。図 5 に例を示します。

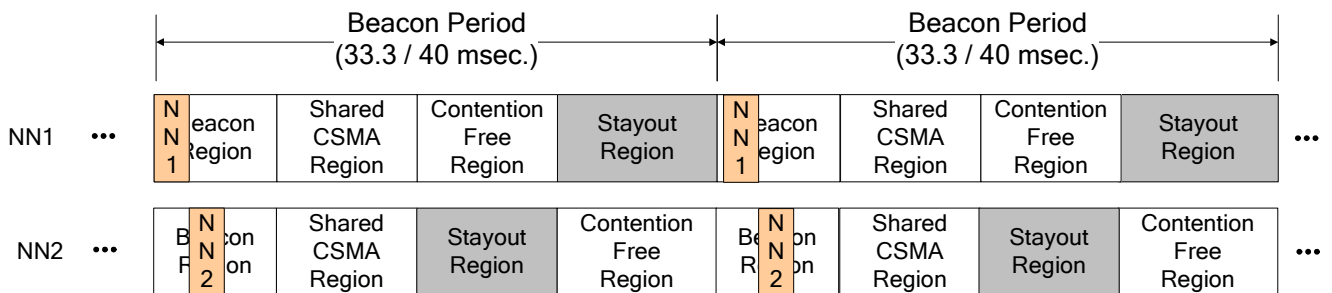


図 5 近隣ネットワークとの時間領域の割り当て

マルチ・ネットワークの場合、各々にバンド幅の割り当てがあり、例えばビーコン領域の一部がこれに使われます。割り当ては、各国の規制に適合するように決められます。デフォルトでは各ネットワークにバンド幅は均等に割り当てられます。

ビーコン領域やネットワーク間で共有される最小 CSMA 領域へのマージンが確保された後、CCo は残るバンド幅をすべて通信のために使用することが可能です。各ネットワークは、バンド幅がある限り割り当てを越えて使用することが可能です。ただし、近隣ネットワークがバンド幅を要求した場合は、通信中のストリームのレートを減らし、浮いたバンド幅を開放して割り当て量以下に使用バンド幅を抑えなければなりません。これは近隣ネットワークの数にもよります。浮いたバンド幅を近隣ネットワークに与えると割り当て量以上になる場合は、自分のネットワークのバンド幅を割り当て量以下に抑える必要はありません。

11. 共存

11.1 ホームプラグ 1.0 との共存

HPAV の物理層は H.P1.0 ステーションと共存かつ互換性を持つことが可能です。共存は必須ですが互換性は任意です。共存とは HPAV ステーションが下位レベルで HP1.0 ステーションとの通信を行ないネットワークを共有することで、ペイロ

ードの通信機能は必ずしも含まれません。互換性のあるステーションは、HP1.0 ステーションとのペイロードの通信ができます。

共存のために、すべてのステーションは HP1.0 ステーションのフレーム制御に加えて、同期のために行なうプリアンプルを利用します。この HP1.0 フレーム制御と HP1.0 共存のメカニズムは、1 つ以上の HP1.0 ステーションがネットワーク上で見つかった場合のみに実行されます。

11. 2 アクセス系(BPL)との共存

HPAV は、サービス共存ないし技術共存により BPL との共存を可能にします。サービス共存とは、効果的で統合されたサービスの展開です。一方、技術共存により異なる電力線通信技術を同じ電力線上で同時に使えるようになります。

サービス共存は、ビーコンとメッセージングによる時分割アクセスで宅内とアクセス系を共存させます。柔軟でバンド幅再利用が可能なアクセスができます。あるネットワークが使わない時間領域を別のネットワークが使うことで、バンド幅の効率的な利用と増大が可能です。さらに両方のネットワークは互いに交信し、プロバイダから宅内ステーションへのサービス・レベルでの統合を可能とします。

技術共存は、周波数分割アクセスにより異なる電力線通信技術を共存させます。異なる技術が電力線を共有する一方で、バンド幅の再利用はできません。

12. 結論

本論文ではホームプラグAVの概要を述べました。アーキテクチャと各機能ブロックの概要について解説しました。規格の全詳細について知りたい場合は、ホームプラグ・アライアンスに御参加下さい。参加方法については次のウェブ・サイトをご覧ください。<http://www.homeplug.org/en/join/index.asp>

13. 用語一覧

Acronym	Meaning
ACS	A uto C onnection S ervice
AES	A dvanced E ncryption S tandard
AFE	A nalog F ront E nd
AGC	A utomatic G ain C ontroller
ATS	A rrival T ime S tamp
AVLN	H ome P lug A V L ogical N etwork
BPL	B roadband over P owerline
BPSK	B inary P hase S hift K eying
CCo	C entral C oordinator
CF	C ontention F ree
CID	C onnection I D
CL	C onvergence L ayer
CM	C onnection M anager
CSMA/CA	C arrier S ense M ultiple A ccess/ C ollision A voidance
CSPEC	C onnection S pecification
DAK	D evice A ccess K ey
DNL	D iscovered N etworks L ist
DSL	D iscovered S tation L ist
EAP	E xtensible A uthentication P rotocol
FDM	F requency D ivision M ultiplexing
FEC	F orward E rror C ontrol
FFT	F ast F ourier T ransform
HDTV	H igh D efinition T elevision
HLE	H igher L ayer E ntity
HPAV	H ome P lug A V
IFFT	I nverse F ast F ourier T ransform
INL	I nterfering N etwork L ist

Acronym	Meaning
MAC	M edium A ccess C ontrol
MPDU	M AC P rotocol D ata U nit
MSDU	M AC S ervice D ata U nit
NEK	N etwork E ncryption K ey
NMK	N etwork M embership K ey
NN	N eighboring N etwork
NPW	N etwork P assword
OFDM	O rthogonal F requency D ivision M ultiplexing
PB	P HY B lock
PCF	P ersistent C ontention F ree
PCo	P roxy C oordinator
PHY	P hysical L ayer
PPDU	P HY P rotocol D ata U nit
QAM	Q uadrature A mplitude M odulation
QoS	Q uality of S ervice
SACK	S elective A cknowledge
SAP	S ervice A ccess P oint
SDTV	S tandard D efinition T elevision
SNR	S ignal-to- N oise R atio
SOF	S tart of F rame
STA	S tation
TCC	T urbo C onvolutional C ode
TDM	T ime D ivision M ultiplexing
TDMA	T ime D ivision M ultiple A ccess
TXOP	T ransmit O pportunity
VLAN	V irtual L AN